

000056



APRUEBA CONTRATO DENOMINADO  
"ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y  
EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA  
PARA REVISAR LA NORMA PRIMARIA  
DE CALIDAD DEL AIRE DE DIÓXIDO  
DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)", ID N°608897-40-  
LE14.

Santiago, 30 MAYO 2014

RESOLUCIÓN EXENTA N° 423

**VISTOS:**

Lo dispuesto en la Ley N°20.713, de Presupuestos del Sector Público para el año 2014; la Resolución N°1.600 de 2008, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón; la Ley N°18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el D.F.L. N°1/19.653, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; la Ley N°19.886, de Bases sobre contratos administrativos de suministro y prestación de servicios y su Reglamento; el Decreto Supremo N°4, de 1° de octubre de 2010, del Ministerio del Medio Ambiente; el Decreto N°54, de 24 de marzo del 2014, del Ministerio del Medio Ambiente; el Memorandum N°7764/2014, de la División de Administración y Finanzas del Ministerio del Medio Ambiente; la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; y

**CONSIDERANDO:**

- 1.- Que, el Ministerio del Medio Ambiente - Subsecretaría del Medio Ambiente, requiere contratar los servicios de una persona natural o jurídica que realice una consultoría que aporte antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), contenida en el Decreto Supremo N°113, del año 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, junto a una evaluación social de los costos y beneficios de actualizar dicha norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios..
- 2.- Que, son objetivos específicos del contrato:
  - a) Contar con una recopilación, análisis y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
  - b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.

- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.
- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.

3.- Que, no se ha encontrado el servicio requerido en el Catálogo de Bienes y Servicios ofrecidos en el Sistema de Información Mercado Público en la modalidad Convenio Marco, acorde a lo dispuesto en el artículo 14 del Decreto N° 250, de 2004, del Ministerio de Hacienda.

4.- Que, mediante la Resolución Exenta N°257, de 10 de abril de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente, se aprobaron las Bases Administrativas, Técnicas y Documentos Anexos, para la licitación pública denominada "ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA PARA REVISAR LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)", ID N°608897-40-LE14, publicada en el Portal Mercado Público el 11 de abril de 2014, con fecha de cierre de recepción de ofertas el 21 de abril de 2014, y;

5.- Que, mediante Resolución Exenta N°352, de 6 de mayo de 2014, el Ministerio del Medio Ambiente, adjudicó la licitación referida precedentemente a la **Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente**, Rut N°73.050.400-4.

**RESUELVO:**

1.- Apruébase el contrato denominado "ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA PARA REVISAR LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)", ID N°608897-40-LE14, suscrito con fecha 28 de mayo de 2014, entre el **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE-SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE**, RUT N° 61.979.930-5, representada por el Jefe de Administración y Finanzas, don **Juan Flores Ferrando**, y la **FUNDACIÓN CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CENMA**, RUT N° 73.050.400-4, representada por su Director Ejecutivo, don **Ítalo Serey Estay**, cédula nacional de identidad N°5.501.305-5, cuyo texto es el siguiente:



## Contrato

**"Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dioxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)"**

En Santiago de Chile, a 28 de mayo de 2014, entre el **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE**, RUT N°61.979.930-5, representada por el Jefe de la División de Administración y Finanzas, don **Juan Flores Ferrando**, cédula nacional de identidad N° 9.499.720-8, ambos domiciliados en calle San Martín N°73, comuna y ciudad de Santiago, en adelante "la Subsecretaría", por una parte; y por la otra, la **FUNDACIÓN CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CENMA**, RUT N° 73.050.400-4, en adelante e indistintamente, "CENMA" o "la Fundación", representada por su Director Ejecutivo, don **Ítalo Serey Estay**, cédula nacional de identidad N°5.501.305-5, ambos domiciliados en Av. Larrain N° 9975, comuna de La Reina, ciudad de Santiago, se ha convenido el siguiente contrato:

**PRIMERO:** El Ministerio del Medio Ambiente - Subsecretaría del Medio Ambiente, requiere contratar los servicios de una persona natural o jurídica, que realice una consultoría que aporte antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), contenida en el Decreto Supremo N°113, del año 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, junto a una evaluación social de los costos y beneficios de actualizar dicha norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios..

Son objetivos específicos, de dicha Consultoría:

- a) Contar con una recopilación, análisis y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendadas a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.

- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.

**SEGUNDO:** Por el presente instrumento, la Subsecretaría contrata a la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, quien acepta, y se obliga a realizar el trabajo descrito precedentemente, con estricta sujeción a las condiciones acordadas en el presente contrato y en sus Bases Administrativas y Técnicas, especialmente a los objetivos, cronograma, resultados esperados y consideraciones generales, contenidos en ellos, los que forman parte integrante de este contrato.

**TERCERO:** El presente contrato tendrá una duración de ocho meses contados desde la total tramitación de la Resolución que apruebe el contrato.

**CUARTO:** Conformarán la Contraparte Técnica del estudio:

- a) Dos profesionales de la División de Calidad del Aire, uno de los cuales actuará como coordinador durante el desarrollo del estudio, y mantendrá una comunicación directa y oportuna con el CENMA.
- b) Un profesional de la Seremi del Medio Ambiente de Antofagasta y uno de la Seremi del Medio Ambiente de Valparaíso.
- c) Un profesional de la División de Información y Economía Ambiental.

Los profesionales señalados precedentemente deberán pertenecer a la planta o contrata, y entre sus funciones se encuentran las siguientes:

- Supervisar y controlar el desarrollo del contrato, velando por el cumplimiento de sus objetivos y plazos establecidos.
- Proporcionar a CENMA la información necesaria para la ejecución del servicio.
- Revisar y aprobar la entrega de los servicios en forma previa al pago.
- Solicitar a la autoridad competente la aplicación de multas en caso de incumplimiento.
- Enviar nombre de usuario y clave al contratado, para ingresar al catalogador del SINIA `catalogador.mma.gob.cl` y completar el Anexo METADATOS.
- Recepcionar información ingresada (escaneada) por CENMA en el catalogador y enviar al responsable en el Ministerio.
- Solicitar ampliación o disminución del servicio en caso de así requerirlo la Subsecretaría.

**QUINTO:** El CENMA deberá entregar los informes, cuyo número, contenido y plazo de entrega se detalla a continuación:

INFORME	CONTENIDO	PLAZO DE ENTREGA
Primer Informe de Avance	Desarrollo y productos que den cuenta de los objetivos específicos a), b), c) y d).	A los 70 días
Segundo Informe de Avance	Desarrollo y productos que den cuenta del objetivo específico e).	A los 150 días
Informe Final	Desarrollar en forma completa los resultados que dan respuesta a todos los objetivos y productos de este estudio; además de dar cuenta del desarrollo completo de los objetivos específicos f) y g).	A los 190 días

Los plazos señalados se contarán desde el inicio de la consultoría, esto es, desde la total tramitación de la Resolución que apruebe el contrato.

Junto al Informe Final, el CENMA deberá entregar en medio magnético y en forma sistematizada, toda información generada o recopilada por este estudio, planillas Excel y de base de datos; aplicación de fórmulas y cálculos, lo que permitirá contar con una base de datos útil para futuros estudios y/o análisis.

Los Informes referidos deberán ser entregados en la Oficina de Partes del Ministerio del Medio Ambiente, ubicado en calle San Martín 73, 2° piso, comuna de Santiago, en dos copias formato papel (anillados) junto a dos respaldos en formato digital, CD Room en formato Microsoft Word para los textos y Microsoft Excel para las planillas: ArcGis para figuras y mapas y otros, que, en conjunto, con la Contraparte Técnica sean consensuados.

Asimismo, dichos informes, deberán enviarse a la Contraparte Técnica, quien los revisará y determinará su aprobación, corrección o rechazo. El plazo de revisión por parte de la Contraparte Técnica, no será mayor a cinco días hábiles desde su recepción. En caso de necesitar correcciones, una vez informado, el CENMA dispondrá de un plazo no mayor a tres días hábiles para su nueva entrega y revisión.

**SEXTO:** La Subsecretaría pagará por los servicios encomendados la suma total y única de \$30.000.000 (treinta millones de pesos), impuesto incluido; monto que se pagará en una primera cuota de \$12.000.000 (doce millones de pesos), una vez aprobado el Primer Informe de Avance; una segunda cuota de \$10.500.000 (diez millones quinientos mil pesos), una vez aprobado el Segundo Informe de Avance; y una tercera cuota y final, de \$7.500.000 (siete millones quinientos mil pesos), una vez aprobado el Informe Final. Todos

los pagos requerirán, además, la entrega de las respectivas facturas.

Se deja constancia que la Subsecretaría no podrá efectuar pago alguno a CENMA mientras no se encuentre totalmente tramitado el acto administrativo que apruebe este contrato. Asimismo, los pagos quedarán sujetos a que la Ley de Presupuesto respectiva considere fondos para cubrir los pagos que se comprometen.

**SÉPTIMO:** Para garantizar el fiel cumplimiento de este contrato, CENMA hace entrega de la Boleta de Garantía del Banco Santander, N°0302758, pagadera a la vista e irrevocable, por la suma de \$3.000.000 (tres millones de pesos pesos), a nombre de la Subsecretaría del Medio Ambiente, con vigencia hasta el 11 de junio del 2015. Si eventualmente fuese necesario un aumento del plazo del contrato, la Garantía deberá ajustarse a dicho aumento, facultándose a la Subsecretaría para el cobro de la garantía original de no procederse a la prórroga según lo indicado.

**OCTAVO:** Tanto CENMA como los profesionales que ejecuten el trabajo, deberán guardar la debida confidencialidad respecto de los antecedentes que se sometán a su consideración.

**NOVENO:** Toda información y materiales que utilice el CENMA, tales como textos, tablas, planos, modelos, programas, aplicaciones computacionales, fotografías, medios audiovisuales u otros proporcionados por la Subsecretaría, se entenderán regidos bajo las disposiciones de propiedad intelectual o industrial, según y cuando corresponda. Por otro lado, los informes, antecedentes, datos y cualquier tipo de información generada durante la ejecución del trabajo, no podrán utilizarse por el CENMA, ni por sus profesionales, sin previa autorización expresa y por escrito de la Subsecretaría. Lo anterior, sin perjuicio de las normas vigentes asociadas al acceso a la información pública de la documentación que obre en poder de la Administración del Estado.

**DÉCIMO:** Bajo ninguna circunstancia el CENMA podrá traspasar, ceder o transferir, total o parcialmente, la responsabilidad de la ejecución de los servicios encomendados por el presente contrato, ni los derechos y obligaciones que emanen del mismo. Asimismo, no podrá subcontratar los servicios contratados.

**UNDÉCIMO:** Si el CENMA no cumple lo convenido en los plazos indicados, sin causa justificada, a consideración de la Subsecretaría, ésta quedará facultada para cobrar una multa equivalente al 0,5% del monto total del contrato, sin perjuicio de su derecho de poner término anticipado al contrato. Después de los 30 días indicados, la multa diaria corresponderá al 1% del monto total del contrato, sin perjuicio del derecho de poner término anticipado al contrato.

Estas multas se aplicarán siempre que el incumplimiento no haya sido calificado como consecuencia de caso fortuito o de fuerza mayor.

La multa se aplicará conforme al siguiente procedimiento: Corresponderá a la Contraparte Técnica calificar si corresponde aplicar la multa, lo cual se le notificará por carta certificada, o personalmente, para que dentro de quinto día hábil, formule sus descargos. Vencido el plazo, con o sin los descargos, resolverá la autoridad administrativa, por resolución fundada, previo informe

de la Contraparte Técnica. Una vez notificado de la resolución, CENMA, tendrá un plazo de 5 días para interponer un recurso de reposición ante la misma autoridad administrativa.

En caso de darse por acreditado el incumplimiento y optarse por sancionar a la CENMA con multa, la Subsecretaría, mediante resolución fundada, aplicará el porcentaje correspondiente a la multa haciéndola efectiva en el estado de pago más próximo a la fecha de detección de la infracción.

**DUODÉCIMO:** Las partes de común acuerdo podrán modificar la fecha de entrega de los informes y con ello la de los respectivos pagos, siempre y cuando los retrasos en la entrega de dichos informes no se deban a causas imputables al CENMA.

**DÉCIMO TERCERO:** El presente contrato podrá modificarse o terminarse anticipadamente por las siguientes causales:

- a) Resciliación o mutuo acuerdo.
- b) Incumplimiento grave de las obligaciones contraídas por el CENMA. Se considerarán situaciones de incumplimiento grave:
  - b.1) Si no destina recursos materiales o humanos suficientes para el normal desarrollo del contrato, en términos que se haga difícil o imposible la ejecución de lo pactado dentro del plazo estipulado.
  - b.2) Si la calidad del trabajo no satisface las exigencias mínimas para los objetivos tenidos en consideración al solicitar su realización.
  - b.3) Si no inicia el servicio oportunamente o lo paraliza sin causa justificada.
  - b.4) Si no acata las instrucciones que imparta la Subsecretaría, en conformidad con las facultades que le otorgan las Bases Técnicas y Administrativas.
  - b.5) Si las multas sobrepasan el 20% del monto total del contrato.
- c) Estado de notoria insolvencia, a menos que se mejoren las cauciones entregadas o las existentes sean suficientes para garantizar el cumplimiento del contrato.
- d) Por exigirlo el interés público o la seguridad nacional.
- e) Registrar saldos insolutos de remuneraciones o cotizaciones de seguridad social con sus actuales trabajadores o con trabajadores contratados en los últimos dos años, a la mitad del periodo de ejecución del contrato, con un máximo de seis meses.

De producirse la situación referida en la letra b precedente, el CENMA no tendrá derecho a indemnización y no se le cursará el respectivo pago, asimismo procederá el cobro de la garantía dada por ésta para garantizar el cumplimiento del contrato. Lo anterior, sin perjuicio de las acciones legales que procedan.

**DÉCIMO CUARTO:** Para todos los efectos legales derivados del presente contrato, las partes fijan su domicilio en la ciudad y comuna de Santiago y se someten a la jurisdicción de sus Tribunales Ordinarios de Justicia.

**DÉCIMO CUARTO:** El presente contrato se suscribe en cuatro ejemplares del mismo tenor y fecha, quedando dos en poder de cada parte.

**DÉCIMO QUINTO:** La personería de don Juan Flores Ferrando, Jefe de la División de Administración y Finanzas del Ministerio del Medio Ambiente, consta en Decreto N°54, de 24 de marzo del 2014, en relación al Decreto Supremo N°4, de 1 de octubre de 2010, ambos del Ministerio del Medio Ambiente. La personería de don Ítalo Serey Estay consta en el Acta de Sesión Extraordinaria del Consejo Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, de fecha 06 de octubre del año 2008, y que fuera reducida a escritura pública con fecha 12 de diciembre del mismo año, en la Notaría de Santiago de don Gastón Iván Santibáñez Soto, documentos todos que no se insertan por ser conocidos de las partes.

Firmas correspondientes

2.- **Impútese** el gasto que demande el cumplimiento del contrato a la Partida 25, Capítulo 01, Programa 1, Subtítulo 22, Ítem 11, Asignación 001, del Presupuesto vigente del Ministerio del Medio Ambiente.

**ANÓTESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.**

~~JUAN FLORES FERRANDO~~  
Jefe División de Administración y Finanzas  
Ministerio del Medio Ambiente

~~SYD/RM~~

**Según Distribución:**

- Gabinete Ministerial
- División de Calidad del Aire
- División de Administración y Finanzas
- División Jurídica
- División de Administración y Finanzas
- Oficina de Partes

LO QUE TRANSCRIBO A UD., PARA  
SU CONOCIMIENTO.  
SALUDAATTE. A UD.,

0000000

**Contrato**

**"Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dioxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)"**

En Santiago de Chile, a 28 de mayo de 2014, entre el **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE – SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE**, RUT N°61.979.930-5, representada por el Jefe de la División de Administración y Finanzas, don **Juan Flores Ferrando**, cédula nacional de identidad N° 9.499.720-8, ambos domiciliados en calle San Martín N°73, comuna y ciudad de Santiago, en adelante "la Subsecretaría", por una parte; y por la otra, la **FUNDACIÓN CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CENMA**, RUT N° 73.050.400-4, en adelante e indistintamente, "CENMA" o "la Fundación", representada por su Director Ejecutivo, don **Ítalo Serey Estay**, cédula nacional de identidad N°5.501.305-5, ambos domiciliados en Av. Larrain N° 9975, comuna de La Reina, ciudad de Santiago, se ha convenido el siguiente contrato:

**PRIMERO:** El Ministerio del Medio Ambiente – Subsecretaría del Medio Ambiente, requiere contratar los servicios de una persona natural o jurídica, que realice una consultoría que aporte antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), contenida en el Decreto Supremo N°113, del año 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, junto a una evaluación social de los costos y beneficios de actualizar dicha norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios.

Son objetivos específicos, de dicha Consultoría:

- a) Contar con una recopilación, análisis y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.



- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.

**SEGUNDO:** Por el presente instrumento, la Subsecretaría contrata a la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, quien acepta, y se obliga a realizar el trabajo descrito precedentemente, con estricta sujeción a las condiciones acordadas en el presente contrato y en sus Bases Administrativas y Técnicas, especialmente a los objetivos, cronograma, resultados esperados y consideraciones generales, contenidos en ellos, los que forman parte integrante de este contrato.

**TERCERO:** El presente contrato tendrá una duración de ocho meses contados desde la total tramitación de la Resolución que apruebe el contrato.

**CUARTO:** Conformarán la Contraparte Técnica del estudio:

- a) Dos profesionales de la División de Calidad del Aire, uno de los cuales actuará como coordinador durante el desarrollo del estudio, y mantendrá una comunicación directa y oportuna con el CENMA.
- b) Un profesional de la Seremi del Medio Ambiente de Antofagasta y uno de la Seremi del Medio Ambiente de Valparaíso.
- c) Un profesional de la División de Información y Economía Ambiental.

Los profesionales señalados precedentemente deberán pertenecer a la planta o contrata, y entre sus funciones se encuentran las siguientes:

- Supervisar y controlar el desarrollo del contrato, velando por el cumplimiento de sus objetivos y plazos establecidos.
- Proporcionar a CENMA la información necesaria para la ejecución del servicio.
- Revisar y aprobar la entrega de los servicios en forma previa al pago.
- Solicitar a la autoridad competente la aplicación de multas en caso de incumplimiento.
- Enviar nombre de usuario y clave al contratado, para ingresar al catalogador del SINIA [catalogador.mma.gob.cl](http://catalogador.mma.gob.cl) y completar el Anexo METADATOS.
- Recepcionar información ingresada (escaneada) por CENMA en el catalogador y enviar al responsable en el Ministerio.
- Solicitar ampliación o disminución del servicio en caso de así requerirlo la Subsecretaría.

**QUINTO:** El CENMA deberá entregar los informes, cuyo número, contenido y plazo de entrega se detalla a continuación:



INFORME	CONTENIDO	PLAZO DE ENTREGA
Primer Informe de Avance	Desarrollo y productos que den cuenta de los objetivos específicos a), b), c) y d).	A los 70 días
Segundo Informe de Avance	Desarrollo y productos que den cuenta del objetivo específico e).	A los 150 días
Informe Final	Desarrollar en forma completa los resultados que dan respuesta a todos los objetivos y productos de este estudio; además de dar cuenta del desarrollo completo de los objetivos específicos f) y g).	A los 190 días

Los plazos señalados se contarán desde el inicio de la consultoría, esto es, desde la total tramitación de la Resolución que apruebe el contrato.

Junto al Informe Final, el CENMA deberá entregar en medio magnético y en forma sistematizada, toda información generada o recopilada por este estudio, planillas Excel y de base de datos; aplicación de fórmulas y cálculos, lo que permitirá contar con una base de datos útil para futuros estudios y/o análisis.

Los Informes referidos deberán ser entregados en la Oficina de Partes del Ministerio del Medio Ambiente, ubicado en calle San Martín 73, 2° piso, comuna de Santiago, en dos copias formato papel (anillados) junto a dos respaldos en formato digital, CD Room en formato Microsoft Word para los textos y Microsoft Excel para las planillas; ArcGis para figuras y mapas y otros, que, en conjunto, con la Contraparte Técnica sean consensuados.

Asimismo, dichos informes, deberán enviarse a la Contraparte Técnica, quien los revisará y determinará su aprobación, corrección o rechazo. El plazo de revisión por parte de la Contraparte Técnica, no será mayor a cinco días hábiles desde su recepción. En caso de necesitar correcciones, una vez informado, el CENMA dispondrá de un plazo no mayor a tres días hábiles para su nueva entrega y revisión.

**SEXTO:** La Subsecretaría pagará por los servicios encomendados la suma total y única de \$30.000.000 (treinta millones de pesos), impuesto incluido; monto que se pagará en una primera cuota de \$12.000.000 (doce millones de pesos), una vez aprobado el Primer Informe de Avance; una segunda cuota de \$10.500.000 (diez millones quinientos mil pesos), una vez aprobado el Segundo informe de Avance; y una tercera cuota y final, de \$7.500.000 (siete millones quinientos mil pesos).

*[Handwritten signature]*



millones quinientos mil pesos), una vez aprobado el Informe Final. Todos los pagos requerirán, además, la entrega de las respectivas facturas.

Se deja constancia que la Subsecretaría no podrá efectuar pago alguno a CENMA mientras no se encuentre totalmente tramitado el acto administrativo que apruebe este contrato. Asimismo, los pagos quedarán sujetos a que la Ley de Presupuesto respectiva considere fondos para cubrir los pagos que se comprometen.

**SÉPTIMO:** Para garantizar el fiel cumplimiento de este contrato, CENMA hace entrega de la Boleta de Garantía del Banco Santander, N°0302758, pagadera a la vista e irrevocable, por la suma de \$3.000.000 (tres millones de pesos pesos), a nombre de la Subsecretaría del Medio Ambiente, con vigencia hasta el 11 de junio del 2015. Si eventualmente fuese necesario un aumento del plazo del contrato, la Garantía deberá ajustarse a dicho aumento, facultándose a la Subsecretaría para el cobro de la garantía original de no procederse a la prórroga según lo indicado.

**OCTAVO:** Tanto CENMA como los profesionales que ejecuten el trabajo, deberán guardar la debida confidencialidad respecto de los antecedentes que se sometan a su consideración.

**NOVENO:** Toda información y materiales que utilice el CENMA, tales como textos, tablas, planos, modelos, programas, aplicaciones computacionales, fotografías, medios audiovisuales u otros proporcionados por la Subsecretaría, se entenderán regidos bajo las disposiciones de propiedad intelectual o industrial, según y cuando corresponda. Por otro lado, los informes, antecedentes, datos y cualquier tipo de información generada durante la ejecución del trabajo, no podrán utilizarse por el CENMA, ni por sus profesionales, sin previa autorización expresa y por escrito de la Subsecretaría. Lo anterior, sin perjuicio de las normas vigentes asociadas al acceso a la información pública de la documentación que obre en poder de la Administración del Estado.

**DÉCIMO:** Bajo ninguna circunstancia el CENMA podrá traspasar, ceder o transferir, total o parcialmente, la responsabilidad de la ejecución de los servicios encomendados por el presente contrato, ni los derechos y obligaciones que emanen del mismo. Asimismo, no podrá subcontratar los servicios contratados.

**UNDÉCIMO:** Si el CENMA no cumple lo convenido en los plazos indicados, sin causa justificada, a consideración de la Subsecretaría, ésta quedará facultada para cobrar una multa equivalente al 0,5% del monto total del contrato, sin perjuicio de su derecho de poner término anticipado al contrato. Después de los 30 días indicados, la multa diaria corresponderá al 1% del monto total del contrato, sin perjuicio del derecho de poner término anticipado al contrato.

Estas multas se aplicarán siempre que el incumplimiento no haya sido calificado como consecuencia de caso fortuito o de fuerza mayor.

La multa se aplicará conforme al siguiente procedimiento: Corresponderá a la Contraparte Técnica calificar si corresponde aplicar la multa, lo cual se le notificará por carta certificada, o personalmente, para que dentro de quinto día hábil, formule sus descargos. Vencido el plazo, con o sin los descargos, resolverá la autoridad administrativa, por

resolución fundada, previo informe de la Contraparte Técnica. Una vez notificado de la resolución, CENMA, tendrá un plazo de 5 días para interponer un recurso de reposición ante la misma autoridad administrativa.

En caso de darse por acreditado el incumplimiento y optarse por sancionar a la CENMA con multa, la Subsecretaría, mediante resolución fundada, aplicará el porcentaje correspondiente a la multa haciéndola efectiva en el estado de pago más próximo a la fecha de detección de la infracción.

**DUODÉCIMO:** Las partes de común acuerdo podrán modificar la fecha de entrega de los informes y con ello la de los respectivos pagos, siempre y cuando los retrasos en la entrega de dichos informes no se deban a causas imputables al CENMA.

**DÉCIMO TERCERO:** El presente contrato podrá modificarse o terminarse anticipadamente por las siguientes causales:

- a) Resciliación o mutuo acuerdo.
- b) Incumplimiento grave de las obligaciones contraídas por el CENMA. Se considerarán situaciones de incumplimiento grave:
  - b.1) Si no destina recursos materiales o humanos suficientes para el normal desarrollo del contrato, en términos que se haga difícil o imposible la ejecución de lo pactado dentro del plazo estipulado.
  - b.2) Si la calidad del trabajo no satisface las exigencias mínimas para los objetivos tenidos en consideración al solicitar su realización.
  - b.3) Si no inicia el servicio oportunamente o lo paraliza sin causa justificada.
  - b.4) Si no acata las instrucciones que imparta la Subsecretaría, en conformidad con las facultades que le otorgan las Bases Técnicas y Administrativas.
  - b.5) Si las multas sobrepasan el 20% del monto total del contrato.
- c) Estado de notoria insolvencia, a menos que se mejoren las cauciones entregadas o las existentes sean suficientes para garantizar el cumplimiento del contrato.
- d) Por exigirlo el interés público o la seguridad nacional.
- e) Registrar saldos insolutos de remuneraciones o cotizaciones de seguridad social con sus actuales trabajadores o con trabajadores contratados en los últimos dos años, a la mitad del período de ejecución del contrato, con un máximo de seis meses.


De producirse la situación referida en la letra b precedente, el CENMA no tendrá derecho a indemnización y no se le cursará el respectivo pago, asimismo procederá el cobro de la garantía dada por ésta para garantizar el cumplimiento del contrato. Lo anterior, sin perjuicio de las acciones legales que procedan.

**DÉCIMO CUARTO:** Para todos los efectos legales derivados del presente contrato, las partes fijan su domicilio en la ciudad y comuna de Santiago y se someten a la jurisdicción de sus Tribunales Ordinarios de Justicia.

**DÉCIMO CUARTO:** El presente contrato se suscribe en cuatro ejemplares del mismo tenor y fecha, quedando dos en poder de cada parte.



**DÉCIMO QUINTO:** La personería de don Juan Flores Ferrando, Jefe de la División de Administración y Finanzas del Ministerio del Medio Ambiente, consta en Decreto N°54, de 24 de marzo del 2014, en relación al Decreto Supremo N°4, de 1 de octubre de 2010, ambos del Ministerio del Medio Ambiente. La personería de don Ítalo Serey Estay consta en el Acta de Sesión Extraordinaria del Consejo Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, de fecha 06 de octubre del año 2008, y que fuera reducida a escritura pública con fecha 12 de diciembre del mismo año, en la Notaría de Santiago de don Gastón Iván Santibáñez Soto, documentos todos que no se insertan por ser conocidos de las partes.

  
**JUAN FLORES FERRANDO**  
Jefe División de Administración y Finanzas  
Ministerio del Medio Ambiente

  
**ÍTALO SEREY ESTAY**  
Director Ejecutivo  
CENMA

USP

OF.ORD. MMA N° 141842,

ANT.: No hay.

MAT.: Solicita datos de monitoreo de  
calidad del aire SO<sub>2</sub>.

SANTIAGO, 16 MAYO 2014

DE: **MARCELO MENA CARRASCO**  
SUBSECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

A: **CRISTIAN FRANZ THORUD**  
SUPERINTENDENTE DEL MEDIO AMBIENTE

Junto con saludarle, se informa a usted que la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, está desarrollando el Estudio: "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)".

Los resultados del estudio servirán como antecedentes para apoyar el proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), cuyo plazo de elaboración de anteproyecto vence el 31 de diciembre de 2014, según Resolución N° 1109 de este Ministerio.

Es por lo anterior y de acuerdo a sus funciones, que se solicita a usted, nos apoye en gestionar los datos de monitoreo de calidad del aire de las concentraciones de SO<sub>2</sub>, junto a la medición de datos meteorológicos, este requerimiento se debe hacer al sector privado, que cuenta con las estaciones de calidad del aire.

Cabe destacar que es relevante focalizar el esfuerzo de recopilación de la información en periodos cortos de monitoreo, debido a que la revisión de la norma se focaliza en los impactos agudos sobre la salud de las personas. De esta forma, se requiere que la información esta con la menor resolución temporal disponible, tal como: 5 minutos, 1 hora y 24 horas, en formato electrónico Excel. Un mayor detalle de la información que se requiere, se muestra en el anexo.

Agradeceré en caso de consultas, dirigirlas a la Profesional Priscilla Ulloa Menares, [pulloa@mma.gob.cl](mailto:pulloa@mma.gob.cl), teléfono 25735787 o Sra. Carmen Gloria Contreras, [cgcontreras@mma.gob.cl](mailto:cgcontreras@mma.gob.cl) teléfono 25735772.

Sin otro particular, saluda atentamente usted,

  
STC/GCF/PUM/gqs

  
**MARCELO MENA CARRASCO**  
Subsecretario del Medio Ambiente  
SUBSECRETARIO

000063 VTA



Adj.:

- Anexo N° 1

C.c.:

- Gabinete Subsecretario
- Archivo División de Calidad del Aire
- Archivo Oficina de Parte



**Anexo 1: Estaciones de calidad del aire que monitorean SO2 en zonas industriales**

Se requiere para la información de calidad del aire y de meteorología:

- Nombre de la estación y coordenadas UTM en elipsoide WGS84
- Base de datos en Excel de variables meteorológica: velocidad y dirección del viento, de por lo menos 3 años o la que esté disponible.
- Base de datos en Excel de concentraciones de SO2, para el periodo comprendido desde el inicio de operación de la estación monitora hasta el 31 de diciembre del 2013.

La siguiente tabla lista las estaciones, localidad y propiedad:

<b>Localidades</b>	<b>Nombre de las estaciones y Propiedad</b>
a) Tocopilla	Escuela E-10 de E-CL; Gobernación de Norgener S.A.
b) Mejillones	Ferrocarriles, Subestación Eléctrica y Juan José Latorre de E-CL.
c) Antofagasta	COVIEFI, La Negra y Sur de Fundición Altonorte , XSTRATA, e Inacesa de Industrial Nacional del Cemento S.A.
d) Calama	Hospital del Cobre y Servicio Médico Legal, de División Chuquicamata, CODELCO.
e) Freirina y Huasco	SM6 Parcela Buena Esperanza, SM7 Los Loros, SM8 Freirina, EME F, EME M, EME ME, SM1 Vertedero, SM2 Quinta La Rosa, SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, SM4 Carretera km 40, SM5 Parcela 5 El Pino, de Empresa Eléctrica Guacolda S.A.
f) Diego de Almagro	Doña Inés y CAP, de División El Salvador, CODELCO.
g) Tierra Amarilla y Copiapó	Copiapó, Los Volcanes, Paipote, San Fernando, Tierra Amarilla y Pabellón, de Fundición Paipote, ENAMI.
h) Quintero y Puchuncaví	La Greda, Los Maitenes, Valle Alegre, Puchuncaví, Sur, , Quintero, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener , estación Centro-Quintero, de Quintero.
i) Catemu	Catemu, Lo Campo, Romeral y Santa Margarita, de Fundición Chagres, ANGLOAMERICAN.
j) Machalí- Coya	Cauquenes, Cipreses, Coya Club y Coya Población, de Fundición Caletones, División El Teniente, CODELCO.
k) Coronel, Huálpén y Talcahuano	Lagunillas, Lota urbana y Lota rural, de Endesa Chile. Indura, Inpesca, ENAP Price y JUNJI de ENAP. Nueva Libertad, de Siderúrgica Huachipato.



ORD. N° 961

ANT.: No tiene.

MAT.: Requiere datos de monitoreo de  
calidad de aire, contaminante SO<sub>2</sub>.

SANTIAGO,  
19 JUN 2014

DE: CRISTIAN FRANZ THORUD  
SUPERINTENDENTE (TP)  
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

A: SEGÚN DISTRIBUCIÓN

Junto con saludar y en el marco de las facultades de fiscalización de esta Superintendencia, solicito a Ud. la información de las estaciones de meteorología y de monitoreo de la calidad de aire, de su propiedad, que miden dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), atendiendo a la información que a continuación se detalla:

1. Nombre de la estación de monitoreo y coordenadas UTM de su localización (Datum WGS84).
2. Resolución del organismo competente, otorgando representatividad poblacional para todos los contaminantes y parámetros medidos.
3. Base de datos en Excel de variables meteorológicas: velocidad y dirección del viento, de por lo menos los últimos 3 años consecutivos, o en su defecto lo que esté disponible, con resolución horaria.
4. Base de datos en Excel de concentraciones de SO<sub>2</sub> para el periodo comprendido desde el inicio de operación de la estación monitorea, hasta el 31 de diciembre del 2013. Los datos deben ser provistos con resolución de 5 ó 10 min (donde esté disponible), o en su defecto horario.

Los antecedentes deberán ser remitidos a la Subsecretaría del Medio Ambiente, ubicada en San Martín 73, Santiago, Región Metropolitana, en formato digital (CD), a más tardar el viernes 4 de julio de 2014.

Las estaciones requeridas son las siguientes:

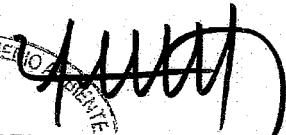
Localidades	Nombre de las estaciones, propietario u operador.
Tocopilla	<ul style="list-style-type: none"><li>▫ Escuela E-10, de E-CL S.A.</li><li>▫ Gobernación, de Norgener S.A.</li></ul>
Mejillones	<ul style="list-style-type: none"><li>▫ Ferrocarriles, de E-CL S.A.</li><li>▫ Subestación Eléctrica, de E-CL S.A.</li><li>▫ Juan José Latorre, de E-CL S.A.</li></ul>
Antofagasta	<ul style="list-style-type: none"><li>▫ COVIEFI, de Fundación Altonorte, XSTRATA.</li><li>▫ La Negra, de Fundación Altonorte, XSTRATA.</li><li>▫ Sur, de Fundación Altonorte, XSTRATA.</li><li>▫ Inacesa, de Industria Nacional del Cemento S.A.</li></ul>
Calama	<ul style="list-style-type: none"><li>▫ Hospital del Cobre, de División Chuquicamata, CODELCO.</li><li>▫ Servicio Médico Legal, de División Chuquicamata, CODELCO.</li></ul>
Freirina y Huasco	<ul style="list-style-type: none"><li>▫ SM6 Parcela Buena Esperanza, de Guacolda S.A.</li><li>▫ SM7 Los Loros, de Guacolda S.A.</li><li>▫ SM8 Freirina, de Guacolda S.A.</li><li>▫ EME F, de Guacolda S.A.</li><li>▫ EME M, de Guacolda S.A.</li><li>▫ EME ME, de Guacolda S.A.</li></ul>



000065 VTA

Localidades	Nombre de las estaciones, propietario u operador.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ SM1 Vertedero, de Guacolda S.A.</li> <li>▫ SM2 Quinta La Rosa, de Guacolda S.A.</li> <li>▫ SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, de Guacolda S.A.</li> <li>▫ SM4 Carretera km 40, de Guacolda S.A.</li> <li>▫ SM5 Parcela 5 El Pino, de Guacolda S.A.</li> </ul>
Diego de Almagro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Doña Inés, de División El Salvador, CODELCO.</li> <li>▫ CAP, de División El Salvador, CODELCO.</li> </ul>
Tierra Amarilla y Copiapó	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Copiapó, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> <li>▫ Los Volcanes, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> <li>▫ Paipote, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> <li>▫ San Fernando, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> <li>▫ Tierra Amarilla, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> <li>▫ Pabellón, de Fundación Hernán Videla Lira, ENAMI.</li> </ul>
Quintero y Puchuncaví	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ La Greda, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Los Maitenes, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Valle Alegre, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Puchuncaví, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Sur, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Quintero, de División Ventanas, CODELCO y Aes Gener.</li> <li>▫ Centro-Quintero, de GNL Quintero.</li> </ul>
Catemu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Catemu, de Fundación Chagres, ANGLOAMERICAN.</li> <li>▫ Lo Campo, de Fundación Chagres, ANGLOAMERICAN.</li> <li>▫ Romeral, de Fundación Chagres, ANGLOAMERICAN.</li> <li>▫ Santa Margarita, de Fundación Chagres, ANGLOAMERICAN.</li> </ul>
Machalí	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Cauquenes, de División El Teniente, CODELCO.</li> <li>▫ Cipreses, de División El Teniente, CODELCO.</li> <li>▫ Coya Club, de División El Teniente, CODELCO.</li> <li>▫ Coya Población, de División El Teniente, CODELCO.</li> </ul>
Coronel, Huálpén y Talcahuano	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Lagunillas, de Endesa S.A.</li> <li>▫ Lota urbana, de Endesa S.A.</li> <li>▫ Lota rural, de Endesa S.A.</li> <li>▫ Indura, de ENAP.</li> <li>▫ Inpesca, de ENAP.</li> <li>▫ ENAP Price, de ENAP.</li> <li>▫ JUNJI, de ENAP.</li> <li>▫ Nueva Libertad, de Siderúrgica Huachipato.</li> </ul>

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.

  
 SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE  
 \* SUPERINTENDENTE \*  
**CRISTIAN FRANZ THORUD**  
 Superintendente (TP)  
 Superintendencia del Medio Ambiente  
 GOBIERNO DE CHILE

  
 DHE/JHR/RVC/AMR/MHM

**DISTRIBUCIÓN:**

1. División de Fiscalización SMA.
2. GLENCORE CHILE S.A.  
Mariano Sánchez Fontecilla 310, piso 4, Las Condes, Santiago, Chile.
3. CODELCO CHILE  
Huérfanos 1270, Santiago, Santiago, Chile.
4. ENAMI  
Mac Iver 459, Santiago, Santiago, Chile.
5. ANGLO AMERICAN SUR S.A.  
Pedro De Valdivia 291, Providencia, Santiago, Chile.
6. E-CL S.A.  
El Bosque Norte 500, of. 902, Providencia, Santiago, Chile.

7. ENAP  
*Vitacura 2736 Piso 10, Las Condes, Santiago, Chile.*
8. ENDESA S.A.  
*Santa Rosa 76, Santiago, Santiago, Chile.*
9. EMPRESA ELÉCTRICA GUACOLDA S.A.  
*Apoquindo 3885, Piso 10, Las Condes, Santiago, Chile.*
10. COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S.A.  
*Gertrudis Echeñique 220, Las Condes, Santiago, Chile.*
11. AES GENER S.A.  
*Rosario Norte 532, Piso 19, Las Condes, Santiago, Chile*
12. GNL QUINTERO S.A.  
*Rosario Norte 532, Piso 16, Oficina 1604, Las Condes, Santiago, Chile.*

CC:

1. Fundación Altonorte.  
Sr. Carlos Henríquez, Superintendente de Medio Ambiente.  
*General Borgoño 934 Of. 201, Casilla 740, Antofagasta, Región de Antofagasta.*
2. Fundación Chuquicamata.  
Sr. Sergio Molina, Gerente de Sustentabilidad y Asuntos Externos.  
*11 Norte 1291, Villa Exótica, Edificio Institucional, Calama, Región de Antofagasta.*
3. Fundación Hernán Videla Lira.  
Sr. Juan Carlos Vargas, Superintendente de Operaciones, Fundación Hernán Videla Lira.  
*Camino Público s/n, Paipote, Copiapó, Región de Atacama.*
4. Fundación Potrerillos.  
Sra. Alejandra Acuña, Directora de Medio Ambiente y Territorio División Salvador.  
*Av. Bernardo O'Higgins 105, Edificio Cine Inca Primer Piso, Salvador, Región de Atacama.*
5. Fundación Ventanas.  
Sra. María Pía Tejos, Gerente de Sustentabilidad y Asuntos Externos, División Ventanas.  
*Carretera F-30-E N° 58270, Ventanas, Puchuncaví, Región de Valparaíso.*
6. Fundación Chagres.  
Sr. Pedro Reyes, Gerente General Fundación Chagres.  
*Avenida Pedro de Valdivia 291, Providencia, Santiago.*
7. Fundación Caletones.  
Sr. Claudio Carrasco, Superintendente Ingeniería, Gerencia Fundación. División El Teniente.  
*Millán 1020, Rancagua, Región del Libertador Bernardo O'Higgins.*
8. Termoeléctrica E-CL S.A.  
Sr. Daniel Horta, Subgerente Ambiental Operacional.  
*Av. El Bosque Norte 500, piso 9, Comuna de Providencia, Santiago.*
9. Termoeléctrica Guacolda, Empresa Eléctrica Guacolda S.A.  
René Opazo Rojo, Gerente de Operaciones.  
*Isla Guacolda s/n, Huasco, Región de Atacama.*
10. Termoeléctrica Bocamina, Endesa Chile.  
Sr. Mario Enero, Jefe de Central Bocamina.  
*Pedro Aguirre Cerda 1013, Coronel, Región del Biobío.*
11. Compañía Siderúrgica Huachipato, CAP Acero.  
Sra. Carolina López, Jefe de Desarrollo Sustentable y Coordinación Ambiental, Compañía Siderúrgica Huachipato.  
*Av. Gran Bretaña N° 2910 Talcahuano, Región del Biobío.*
12. Refinería Biobío, ENAP.  
Sr. Luis Vásquez, Jefe del Departamento de Gestión Medio Ambiente y Calidad de Refinería Biobío.  
*Camino a Lengua 2001, Hualpén, Región del Biobío.*

ST N° 10.880.

130000067



Chagres, 23 de Junio de 2014  
AAS-602-0614-0125

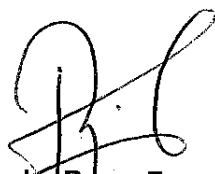
Señora  
**Priscilla Ulloa Menares**  
División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente  
**Presente**

De nuestra consideración:

Junto con saludarle cordialmente, adjunto envío a Usted CD con la información solicitada a Fundación Chagres a través de su correo electrónico de fecha 10 de junio de 2014. Los archivos contenidos en este CD son:

- Ficha con información de las estaciones que conforman la red de calidad de Aire SVACH (Datum WGS84)
- Base de datos de variables meteorológicas obtenidas de la estación Meteorológica de Chagres, con resolución horaria, del periodo comprendido entre enero de 2011 a mayo de 2014.
- Base de datos de concentraciones de SO2 en bloques de 5 minutos, para el periodo comprendido desde Enero de 2009 a Mayo de 2014.

Sin otro particular, le saluda atentamente



**Pedro Reyes F.**  
Gerente General  
Operación Chagres  
Anglo American Sur S. A.

Rancagua, 23 de Junio de 2014  
GSAE-138/2014

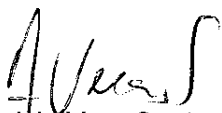


Señorita  
Priscilla Ulloa Menares  
División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente  
San Martín 73, Piso 3, Santiago.

De mi consideración:

Junto con saludarla y en respuesta a su solicitud, adjunto envío disco compacto con información histórica de las estaciones de monitoreo Cauquenes, Cipreses, Coya Club y Coya Población.

Sin otro particular, se despide,



Mauricio Vera Santander  
Jefe Unidad Normativa Ambiental  
Gerencia de Sustentabilidad y Asuntos Externos  
CODELCO División El Teniente

MVS/mac  
CC Archivo

FUNDICIÓN HERNÁN VIDE LA LIRA Nº 137

PAIPOTE, 25 JUN 2014

ST/11071

Señora:

**Priscilla Ulloa Menares**  
División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente  
San Martín 73  
Santiago



Ref.: Datos Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Fundación HVL

De mi consideración:

En relación, a la solicitud de datos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la FHVL, adjunto sírvase encontrar en formato digital:

- Información cada 5 minutos de la concentración de SO<sub>2</sub>, de los años 2010 al 2013.
- Información del mes de enero a mayo de 2014

Esperando una buena acogida a la presente se despide atentamente,

  
ORLANDO ROJAS DEVIA  
Gerente

Inc. : CD.



0000070

000000

**GETB N° 488/2014**  
Coronel, 30 de Junio 2014

Referencia: Respuesta Of. ORD N° 961, requiere datos de monitoreo de calidad del aire, contaminante SO<sub>2</sub>

Señor  
Subsecretaría del medio Ambiente  
San Martín N° 73  
Santiago - Chile  
**PRESENTE**

De nuestra consideración:

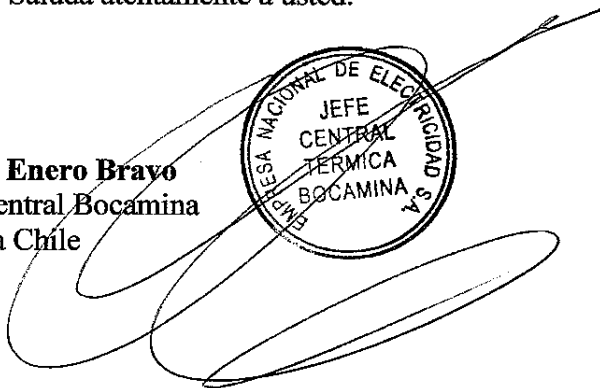
Junto con saludar, enviamos a ustedes la información de las estaciones de meteorología y de monitoreo de calidad del aire que miden SO<sub>2</sub>, atendiendo a la información requerida en el Of. Ordinario N° 961 del 19 de junio del 2014. La información es remitida en formato digital (CD) y contiene lo siguiente:

- Nombre de la estación de monitoreo y coordenadas UTM de localización.
- Resolución otorgando representatividad poblacional para todos los contaminantes y parámetros medidos.
- Base de datos en Excel de variables meteorológicas de los años 2011, 2012 y 2013.
- Base de datos en Excel de concentraciones de SO<sub>2</sub> para el periodo comprendido desde el inicio de operación hasta el 31 de diciembre del 2013, de las estaciones monitoras de Lota Rural, Lota Urbana y Lagunillas.

Sin otro particular y esperando una buena acogida de su parte.

Saluda atentamente a usted.

**Mario Enero Bravo**  
Jefe Central Bocamina  
Endesa Chile



Adj: Lo Indicado  
C.c: Archivo C. T. Bocamina.  
Medio Ambiente Explotación



000071

170000

ST

Nº 11. 433

**VICEPRESIDENCIA DE OPERACIONES**

Santiago, 01 de julio 2014

SGMA/2014/146

Señor  
**Cristián Franz Thorud**  
Superintendente de Medio Ambiente  
Superintendencia de Medio Ambiente  
Presente



Ref.: Información de las estaciones de meteorología y de calidad de aire, propiedad de ECL, en Tocopilla y Mejillones.

De nuestra consideración:

Adjunto a la presente, sírvase encontrar un CD con la documentación de acuerdo a lo establecido en ORD. N° 961 enviado por la Superintendencia del Medio Ambiente.

De acuerdo a lo anteriormente indicado, se adjuntan los siguientes antecedentes:

- Mejillones, Estación "Ferrocarril", con EMRP
- Mejillones, Estación "Juan José la Torre", sin EMRP
- Mejillones, Estación " Sub Estación Eléctrica", sin EMRP
- Tocopilla, Estación " Súper Site (E-10)", con EMRP



Sin otro particular, saludan atentamente a Usted,

**Daniel Horta V.**  
Subgerente Medioambiental  
Operacional

**Patricio Lillo P.**  
Jefe de Medio Ambiente

Incl.: CD con información solicitada.



Santiago, 3 de Julio de 2014  
GNLQ-HSSE-AMB-12-0117

Señor  
Cristián Franz Thorud  
Superintendente (TP)  
Superintendencia del Medio Ambiente  
PRESENTE

**Re.: Respuesta Ord. 961 de fecha 19 de Junio de 2014**

De nuestra consideración,

En respuesta al ordinario de la referencia, adjunto encontrará CD con la información solicitada, específicamente puntos 2 al 4 del citado documento.

Respecto del punto 1, la estación monitora se denomina "Centro Quintero" y sus coordenadas UTM son 262.847 E;6.369.410 N (Datum WGS-84, Huso 19).

Sin otro particular, le saluda atentamente,

Alfonso Salinas  
Gerente de Sustentabilidad



ST 961000073

Rancagua, 1 de julio de 2014  
CJDT-0326

Señor  
Cristian Franz Thorud  
Superintendente (TP)  
Superintendencia del Medio Ambiente  
Santiago



ST N° 11.620

**Ref.: Respuesta a Ordinario N° 961/2014**

De mi consideración:

En relación a su Ordinario N° 961 del 19 de junio 2014, referido a solicitud de datos de monitoreo de calidad del aire, a continuación cumplo con informarle lo siguiente:



- Las estaciones de monitoreo de calidad del aire de División El Teniente solicitadas, tienen los siguientes nombres y coordenadas UTM:

Nombre Estación	Coordenada UTM Norte	Coordenada UTM Este
Coya Población	6214212	359047
Coya Club	6214431	357944
Cauquenes	6209574	356722
Cipreses	6207829	365276

- De las 4 estaciones solicitadas e indicadas en el punto 1 anterior, solamente la estación Coya Población tiene Representatividad Poblacional, otorgada por SEREMI de Salud 6° Región para SO<sub>2</sub> y PM10. Estas resoluciones las encontrará en archivos electrónicos en CD adjunto.
- La información de dirección y velocidad del viento de las 4 estaciones, la encontrará en planillas electrónicas en CD adjunto.
- La información de concentraciones de SO<sub>2</sub> de las 4 estaciones, la encontrará en planillas electrónicas en CD adjunto.

Para mayor claridad, favor revisar archivo explicativo de los datos que también se encuentra en CD.

Atentamente,

**Diego Ruidiaz Gómez**  
Consejero Jurídico Divisional  
Representante Legal de Codelco-Chile, División El Teniente

cc.: DMA-GSAE  
SIF-GFUN  
Arch.



Corporación Nacional del Cobre de Chile  
Casa Matriz  
Huérfanos 1270  
Casilla 150-D  
Santiago, Chile

ST N° 11755

000074

Fax: 690 30 59  
www.codelco.com

Santiago, 4 de Julio de 2014  
VACS-039/2014



Señor  
Cristian Franz Thorud  
Superintendente del Medio Ambiente  
Miraflores 178, piso 7  
Santiago

Ref.: Ord. N°961; Requiere datos de monitoreo de Calidad del Aire,  
contaminante SO2.

De nuestra consideración:

Mediante la presente, Codelco viene a dar respuesta a la solicitud de información formulada por la Superintendencia de Medio Ambiente, mediante el Ord N° 961 de fecha 19 de Junio del 2014, referente a las estaciones de monitoreo de calidad del que miden dióxido de azufre (SO2) y los datos meteorológicos, de las divisiones Chuquicamata, División Salvador y división Ventanas.

Saluda atentamente a usted,

Jorge Sanhueza Urzúa  
Vicepresidente de Asuntos Corporativos  
y Sustentabilidad (i)

C.c.: Archivo

ST N° 11.751

000075



Subsecretaría de Medio Ambiente  
San Martín 73

Santiago

Con fecha 4 de julio de 2014, AES Gener S.A hace entrega a la Superintendencia de Medio Ambiente, de CD con la información requerida en el Ordinario N° 961 del 19 de junio de 2014, que contiene lo siguiente:

- Base de datos en Excel de variables meteorológicas
- Base de datos en Excel de concentraciones de SO<sub>2</sub> con resolución horaria
- Coordenadas UTM de las estaciones en datum WGS 84

Las estaciones de monitoreo cuentan con las siguientes resoluciones sectoriales:

Estación	Resoluciones
Estación Puchuncaví.	Resolución N°2040 del año 2000, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO <sub>2</sub> .  Resolución N° 1924 del año 2000, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Material Particulado 10.  Resolución N°305 de 2004, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Gases.
Estación La Greda.	Resolución N°2040 del año 2000, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO <sub>2</sub> .  Resolución N° 1924 del año 2000, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Material Particulado 10.  Resolución N°305 de 2004, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud,

000076

Estación	Resoluciones
	Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Gases.
Estación Los Maitenes	<p>Resolución N°2040 del año 2000, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO<sub>2</sub>.</p> <p>Resolución N° 1924 del año 2000, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Material Particulado 10.</p> <p>Resolución N°305 de 2004, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Gases.</p>
Estación Sur	Resolución N°2040 del año 2000, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO <sub>2</sub> .
Estación Valle Alegre	<p>Resolución N°2040 del año 2000, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO<sub>2</sub>.</p> <p>Resolución N° 1924 del año 2000, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Material Particulado 10.</p> <p>Resolución N°305 de 2004 otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Define Estaciones Representativas Poblacionales para Gases.</p>
Estación Quintero	<p>Resolución N°2170 del año 2012, otorgada por el Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Valparaíso. Modifica la Resolución 2040 de 2000. Determina estaciones de Monitoreo con representatividad de Recursos Naturales Renovables, para SO<sub>2</sub>.</p> <p>Resolución N° 1527 de 2012, otorgada por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso. Clasifica la Estación de Monitoreo de Calidad del Aire , como Estación con representatividad poblacional para Material Particulado Respirable (MP 10 )</p>

000077

Estación	Resoluciones
	y para Gases (SO <sub>2</sub> ),

AES Gener S.A

Hualpén, 04 de Julio de 2014.

Señores  
Subsecretaría de Medio Ambiente  
Ministerio de Medio Ambiente  
San Martín N° 73  
Santiago.



**Ref.: Adjunta información solicitada mediante Ordinario N° 961 de la Superintendencia de Medio Ambiente, de fecha 19 de Junio de 2014, que requiere datos de monitoreo de calidad de aire (contaminante SO2).**

De nuestra consideración:

En respuesta al Ordinario de la referencia y en relación a la información solicitada, adjuntamos –en formato digital (CD)- lo siguiente:

- 1.- Nombre de la estación de monitoreo y coordenadas UTM de su localización (Datum WGS84).
- 2.- Resolución del organismo competente, otorgando representatividad poblacional para todos los contaminantes y parámetros medidos.
- 3.- Base de datos en Excel de variables meteorológicas: velocidad y dirección del viento, de por lo menos los últimos 3 años consecutivos, o en su defecto lo que esté disponible, con resolución horaria.
- 4.- Base de datos en Excel de concentraciones de SO2 para el periodo comprendido desde el inicio de la operación de la estación monitora, hasta el 31 de diciembre de 2013. Los datos son provistos con resolución de 5 ó 10 min (donde está disponible), o en su defecto horario. ✓

Quedamos a vuestra disposición para cualquier información adicional que se requiera.

Saluda atentamente a Uds.,



**Marc Llambías Bernaus**  
Gerente General  
ENAP REFINERÍAS S.A.

W



Subsecretaría de Medio Ambiente  
San Martín 73

Santiago



Con fecha 4 de julio de 2014, la empresa Guacolda S.A hace entrega a la Superintendencia de Medio Ambiente, de CD con la información requerida en el Ordinario N° 961 del 19 de junio de 2014, que contiene lo siguiente.

- Base de datos en Excel de variables meteorológicas: velocidad y dirección del viento desde el año 2005 con resolución horaria
- Base de datos en Excel de concentraciones de SO<sub>2</sub> con resolución horaria
- Coordenadas UTM de las estaciones en datum WGS 84
- Resoluciones sectoriales:

Estación de Monitoreo	Resolución
SM6 Parcela Buena Esperanza	Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO <sub>2</sub>
SM7 Los Loros, de Guacolda S.A.	Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO <sub>2</sub>
SM8 Freirina,	Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO <sub>2</sub>
EME F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución Exenta N° 1179 de 2002, emitida por el Servicio de Salud Atacama. Otorga representatividad poblacional para Material Particulado 10</li> <li>• Resolución Exenta N° 2100 de 2006, emitida por el Servicio de Salud Atacama. Otorga representatividad poblacional para NO<sub>2</sub></li> </ul>
EME M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución Exenta N° 1179 de 2002, emitida por el Servicio de Salud Atacama.</li> </ul>

Estación de Monitoreo	Resolución
	Otorga representatividad poblacional para Material Particulado 10 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución Exenta N° 2100 de 2006, emitida por el Servicio de Salud Atacama.</li> </ul> Otorga representatividad poblacional para NO <sub>2</sub>
EME ME	
SM 1 Ver tedero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO<sub>2</sub></li> </ul>
SM2 Quinta La Rosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO<sub>2</sub></li> </ul>
SM3 Compañía de Bomberos Huasca Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO<sub>2</sub></li> </ul>
SM4 Carretera km 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO<sub>2</sub></li> </ul>
SM5 Parcela 5 El Pino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución 524 de 2011, emitida por el Servicio Agrícola y Ganadero. Otorga representatividad de Recursos Naturales en área circundante a la Central Termoeléctrica Guacolda, Huasco, para SO<sub>2</sub></li> </ul>



180000



**Subsecretaría de Medio Ambiente**  
**San Martín 73**

**Santiago**

Con fecha 4 de julio de 2014, la empresa Norgener S.A hace entrega a la Superintendencia de Medio Ambiente, de CD con la información requerida en el Ordinario N° 961 del 19 de junio de 2014, que contiene lo siguiente:

- Resolución N° 2467, del 23 de julio de 2010, otorgada por el Ministerio de Salud, que califica la Estación Gobernación como representativa poblacional, para los contaminantes Material Particulado fracción respirable (MPR) y Gas Dióxido de Azufre
- Base de datos en Excel de variables meteorológicas: velocidad y dirección del viento desde el año 2010 con resolución horaria.
- Base de datos en Excel de concentraciones de SO2 con resolución horaria, a contar del año 2010, fecha en que se obtuvo resolución de representatividad poblacional para la estación.
- Coordenadas UTM de las estaciones en datum WGS 84

Empresa NORGENER S.A

OF.ORD. MMA N° 142489 /

**MAT.:** Reactiva proceso de  
revisión de normas de calidad y  
solicita representante para Comité  
Operativo

SANTIAGO, 02 JUL. 2014

**DE: MARCELO MENA CARRASCO  
MINISTRO (S) DEL MEDIO AMBIENTE**

**A: SEGÚN DISTRIBUCION**

A través de la presente, informo a Ud. que, entre los procesos de elaboración de normas de calidad ambiental a cargo de este Ministerio, se encuentra pendiente el proceso de revisión de las normas primarias de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); y monóxido de carbono (CO).

El inicio oficial del proceso mencionado comenzó el día 22 de marzo del 2010, mediante la dictación de la Resolución Exenta N°78 de 28 de enero de 2010, que dio inicio al proceso mencionado. A su vez creó el Comité Operativo respectivo, integrado por representantes de los ministerios de Salud, Agricultura, Energía, Economía, Transportes y Telecomunicaciones, Vivienda y Urbanismo, Obras Públicas, de Minería.

Se ha considerado necesario priorizar, dentro del proceso de revisión mencionado, la elaboración del anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub>, para lo cual se está desarrollando el estudio: "Análisis de antecedentes y evaluación técnica-económica para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre", que ejecuta CENMA.

Para lo anterior, se requiere la reactivación del Comité Operativo aludido, por lo que solicito a usted proponer a un representante de su repartición, para integrar el mismo y colaborar como contraparte técnica del citado estudio; indicando la siguiente información: nombre completo, unidad a la que pertenece, número de teléfono y correo electrónico, con el fin de asegurar un contacto expedito.

000082 VTA

Desde ya extendiendo a Ud. la invitación para participar de la primera reunión de trabajo, que tiene por objetivo dar a conocer los resultados del primer informe de avance. La reunión se realizará el día **martes 12 de agosto de 11:00 a 13:00 horas**, en el piso 3, de la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, San Martín 73, Santiago.

Ante cualquier consulta, por favor contactar a la profesional Sra. Priscilla Ulloa, cuyo correo electrónico es: [pulloa@mma.gob.cl](mailto:pulloa@mma.gob.cl), fono: 25735787.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.



Marcelo Mena Carrasco  
Ministro (S) del Medio Ambiente

JOS/OBF/STC/IGC/PUM/gqs

Distribución:

- Sr. Claudio Ternicier, Subsecretario Agricultura
- Sr. Katia Trusich, Subsecretario de Economía, Fomento y Turismo
- Sr. Jimena Jara, Subsecretario de Energía
- Sr. Sergio Galilea, Subsecretario de Obras Públicas
- Sr. Ignacio Moreno, Subsecretario de Minería
- Sr. Jaime Burrows, Subsecretario de Salud
- Sr. Cristian Bowen, Subsecretario de Transportes y Telecomunicaciones
- Sr. Jaime Romero, Subsecretario de Vivienda y Urbanismo

cc.

- Archivo Oficina de Partes
- División de Calidad del Aire
- Expediente Revisión de las normas primarias de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).



000083

**MEMORANDUM N°0077/2014**

---

**DE :** SECRETARIO REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE  
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

**A :** SR. SEBASTIÁN TOLVETT  
JEFE DIVISIÓN DE CALIDAD DEL AIRE  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**MATERIA :** LO QUE INDICA

**FECHA :** 07 DE JULIO DE 2014

---

Junto con saludarlo, adjunto remito carta GG AN 48/2014 de la empresa Complejo Metalúrgico Altonorte y CD con información de SO<sub>2</sub>, registrada en las estaciones de monitoreo de calidad del aire La Negra, Coviefi y Sur.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**Ramón Aréstegui Gómez**  
**Secretario Regional Ministerial del Medio Ambiente**  
**Región de Antofagasta**

JTF/ASE/ase  
c.c.:

- Archivo SEREMI del Medio Ambiente, Región de Antofagasta.
- Archivo Sección Calidad del Aire, SEREMI del Medio Ambiente, Región de Antofagasta.

28 000084



Dirección Complejo Metalúrgico Altonorte  
Ruta 5 Norte Km 1348  
Sector La Negra Antofagasta, Chile  
Casilla 740

Tel +56 55 2 628 100



JUEVES 03 DE JULIO 2014  
GG AN 48 /2014

Sr. Ramón Aréstegui G.  
Seremi del Medio Ambiente  
II Región Antofagasta  
Presente

REGION DE ANTOFAGASTA  
OF. DE PARTES  
NÚMERO 774 FECHA 04/07  
DEMANDA S.T. HORA 12:22  
OBSERVACIONES An gant x

Ref.: Solicitud de datos de monitoreo  
de calidad de aire, contaminante SO2.

De mi consideración,

Junto con saludar, por medio de la presente, notifico a usted, el envío de información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de La Negra, Coviefi y Sur, en el marco de la referencia.

En caso de tener alguna duda o consulta al respecto, agradeceré a Ud. tomar contacto con el Sr. Carlos Henríquez, Superintendente de Medio Ambiente, al mail [carlos.henriquez@glencore.cl](mailto:carlos.henriquez@glencore.cl) o al Teléfono: (055)-2628148.

Sin otro particular.  
Saluda atentamente a Usted,

Marc Bedard  
Gerente General  
Complejo Metalúrgico Altonorte

Incl: Lo solicitado  
CC: SMA



Talcahuano, 10 de julio de 2014

Señores  
Subsecretaría de Medio Ambiente  
**REGIÓN METROPOLITANA**

**Ref.: Respuesta a Ordinario N° 961, año 2014**

Estimado Señor:

Por este medio adjuntamos la información solicitada para la estación de meteorología y de monitoreo de calidad de aire, de nuestra propiedad que mide dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

- 1. Nombre de la estación de monitoreo:** Estación Nueva Libertad.
- 2. Coordenadas UTM:** 667962 E 5932742N, huso 18S, Datum WGS84.
- 3. Resolución EMRP:** Se adjunta Resolución N° 192 de la SEREMI de Salud en el Anexo N°1.
- 4. Base de datos Excel para velocidad y dirección del viento:** Se adjunta en CD planilla Excel que contiene datos de velocidad (en m/s) y dirección del viento (en grados) con resolución de 10 minutos, desde Enero del 2009 a Diciembre del 2013.
- 5. Base de datos Excel para la concentración de SO<sub>2</sub>:** Se adjunta en CD planilla Excel que contiene datos de concentración de SO<sub>2</sub> (en ppbv) con resolución de 10 minutos, desde Enero del 2009 a Diciembre del 2013.

Sin otro particular, le saluda cordialmente,

p. **COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S.A.**

**Carolina López Venegas**  
Jefe

**Desarrollo Sustentable y Coordinación Ambiental**

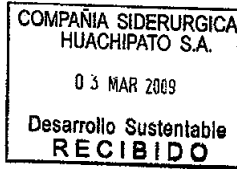
**Anexo N°1. Resolución N° 192 "Estación de monitoreo con representatividad Poblacional".**



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE SALUD

SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL  
REGIÓN DEL BÍO BÍO

AV/BIAVR/SPG/ACC/acc.



000087

Concepción, 1.9.ENE.2009

**VISTOS:**

Estos antecedentes referidos a problemas de contaminación atmosférica por las emisiones y generación de material particulado desde las industrias emplazadas en la comuna de Talcahuano, Región del Bío Bío. Lo establecido en la Constitución Política del Estado de Chile, en su Art. 19 N° 8°, el D.F.L. N° 725/67 Código Sanitario, Arts. 3°, 9°, letras a), b) y c) 67, 82, letra a) 83 y 89 letra a); Ley 19.300/94; el D.S. N° 144/61 del MINSAL; el D.S. 185/91 de Minería; D.S. N° 59/98 del MINSEGPRES, modificada por el D.S. N° 45/01 del MINSEGPRES; en la Resolución 1215/78 del Ministerio de Salud Arts. 3, 4 y 5, Modificada por el DS N°110/2003 del MINSEGPRES; DS 114/2003 del MINSEGPRES; DS 113/2003 del MINSEGPRES; DS 112/2003 del MINSEGPRES; DS 115/2002 del MINSEGPRES; y en virtud de las atribuciones que me confiere el Art. 20° letra j) del DL N° 2.763 modificado por la Ley N° 19.937 "Que establece una Nueva Concepción de la Autoridad Sanitaria"; Artículos 30 y siguientes del D.S. de Salud N° 136/2004; el DS N° 072/2007 del Ministerio de Salud y teniendo presente lo dispuesto en las Resoluciones N° 1600/2007 y 488/97, ambas de la Contraloría General de la República, y

**Considerando:**

- 1.- Que la Constitución Política de la República garantiza a los habitantes el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación y que es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado, por consiguiente, la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la Región del Bío Bío, en su rol de Autoridad Sanitaria, busca que este deber se logre cabalmente, utilizando para ello las atribuciones que en este sentido les otorga la legislación vigente.
- 2.- Que basado en algunas funciones conferidas a la Seremi de Salud de la Región del Bío Bío definidas en la normativa sectorial vigente señaladas en Vistos, se establece:
  - a.) Fiscalizar a los establecimientos regulados que estén en funcionamiento de modo que se cumpla las normas de calidad del aire que se apliquen en la zona.
  - b.) La Autoridad Sanitaria, mediante resolución fundada, deberá aprobar la clasificación de una estación monitorea de material particulado respirable como una Estación de Monitoreo Representativa Poblacionalmente (EMRP).
  - c.) Autorizar los sistemas de monitoreo de calidad del aire de los establecimientos regulados.
- 3.- Que en función del programa de seguimiento y monitoreo establecido por la Resol. Exenta 11/2008 que calificó ambientalmente el EIA del proyecto "Aumento de Capacidad de producción de Acero líquido de Compañía Soderúrgica Huachipato", en la comuna de Talcahuano de la Región del Bío Bío, y que la Oficina de Talcahuano de la Seremi de Salud ha auditado la ubicación, calibración y operación del monitor de medición de calidad de aire para el Material Particulado y de Gases, dicto la siguiente:

**RESOLUCION N° 192**

- 1º.- OTORGESE reconocimiento como instrumento idóneo, válido y poblacionalmente representativo de medición de calidad de aire para Material Particulado y de gases, a la estación de monitoreo de calidad de aire que se detalla a continuación, para ser parte de la red de vigilancia de la calidad del aire que administra Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. (Av. Gran Bretaña 2910, Comuna de Talcahuano, Región del Bío Bío).



**1.1 Ubicación y Características del Monitor :****Caseta N°1 de COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S.A. (Caseta Maritano):**

- Ubicación : Sector patios Empresa "Miguel Maritano Industria de Jabones S.A.", Comuna de Talcahuano, Región de Bío Bío. Coordenadas UTM (667979Este; 5932745 Sur; DATUM WGS 84, Uso 18 ).

- Monitor de MP10 (Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrones):

Marca : Thermo Electron Corporation.  
Modelo : FH62 C-14  
N° de serie : E-1190

- Monitor de MP2.5 (Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 2,5 micrones):

Marca : Thermo Electron Corporation.  
Modelo : FH62 C-14  
N° de serie : E-1202

- Monitor de NOx (Dióxido de Nitrógeno):

Marca : Thermo Instruments.  
Modelo : 42i  
N° de serie : 727125394

- Monitor de SO2 (Dióxido de Azufre):

Marca : Thermo Instruments.  
Modelo : 43i  
N° de serie : 721923075

- Monitor de CO (Monóxido de Carbono):

Marca : Thermo Electron Corporation.  
Modelo : 48i-BZAA  
N° de serie : 0715521918

- Monitor de O3 (Ozono):

Marca : Monitor Labs. Inc.  
Modelo : 8810  
N° de serie : 881-010002

- Monitor de HCT (Hidro Carburos Totales):

Marca : Horiba.  
Modelo : APHA-350E  
N° de serie : 205009

- Monitor de H2S (Ácido Sulhídrico):

Marca : Thermo Electron Corporation.  
Modelo : 450i-BNSAB  
N° de serie : 0729125253

**1.2 La validación de los datos de monitoreo de calidad del aire tendrá validez a partir del día 1 de Enero del 2009 hasta que la autoridad así lo amerite.**

2º.- EXIJASE a Compañía Siderúrgica Huachipato S.A., lo siguiente:

- 2.1 La remisión formal a la Oficina Talcahuano de la Seremi de Salud Región del Bio Bio, en los primeros 5 días hábiles de cada mes, de la información recogida por los monitores de medición de calidad del aire del mes precedente, que consigne al menos:
    - Los promedios horarios, promedios 8 horas, diarios, mensuales y anuales parciales de los parámetros medidos de gases y material particulado, de acuerdo a lo establecido en la normativa correspondiente.
    - Los datos de vientos, en términos de velocidad y dirección.
    - Información detallada de las causas de las mediciones fallidas.
    - Gráficas de los promedios diarios, mensuales y anuales parciales de los parámetros medidos de gases y material particulado.
 Debido al volumen de los datos que se generan, el informe deberá ser en formato del tipo digital, sin perjuicio de otros medios de envío de información que la Autoridad Sanitaria autorice.
  - 2.2 Llevar una Bitácora detallada para el registro de todas las novedades acaecidas en la estación de monitoreo de calidad de aire, incluyendo inspecciones, calibraciones, desperfectos, reparaciones y cualquier novedad relevante durante todo el periodo medido, en libro foliado timbrado por la Autoridad Sanitaria
  - 2.3 El administrador de la red de monitoreo deberá avisar a con 10 días de antelación a la autoridad sanitaria cada vez que se requiera realizar una calibración y/o mantención de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
  - 2.4 El administrador de la red de monitoreo deberá contar con los manuales de Operación y Mantenimiento del equipos de medición de calidad de aire los que deberán estar disponibles en las instalaciones de la empresa bajo requerimientos de la Autoridad Sanitaria.
- 3º **APERCIBASE** a Compañía Siderúrgica Huachipato S.A, con la aplicación de sanciones de acuerdo al Código Sanitario en su Art. 174 y Reglamentos Complementarios, en caso de no cumplir así la exigencia establecida en el número precedente de esta resolución.

ANÓTESE Y COMUNÍQUESE.



DISTRIBUCION:

- La Indicada.
- Of. de Partes Seremi.
- Of. de Partes Thno
- Expediente UGAM Thno.

**DRA. MARTA WERNER CANALES**  
**SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD**  
**REGION DEL BIO BIO**

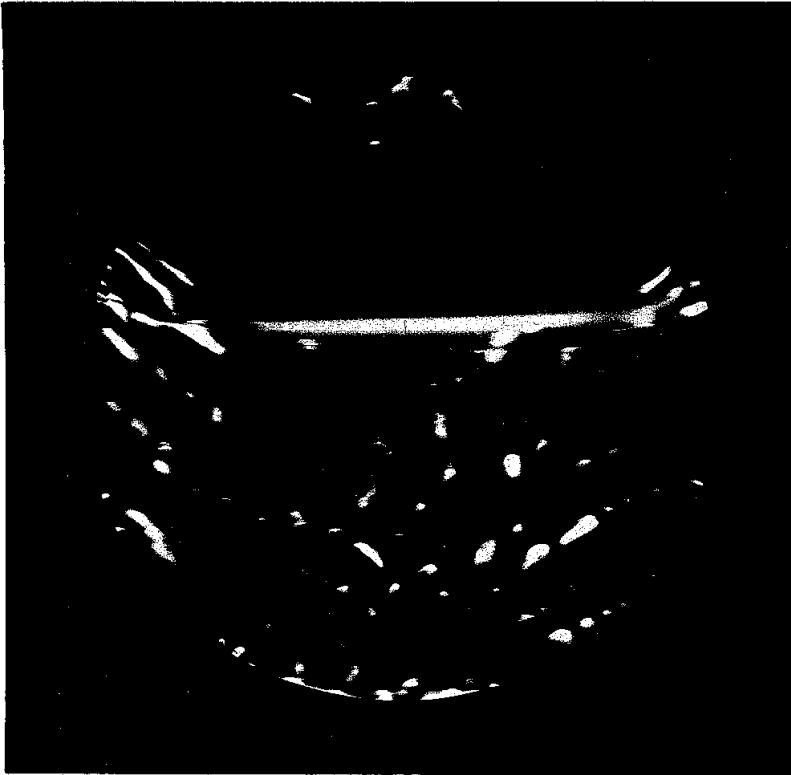


**COPIA FIEL DEL ORIGINAL**

Ministerio del Medio Ambiente

División Calidad de Aire

Departamento de Redes de Monitoreo Red MACAM (1997-2013)





000091

5365

ORD. N° \_\_\_\_\_/

ANT.: ORD. MMA N° 142489 del Ministerio del Medio Ambiente.

MAT: Reactiva Comité Operativo revisión normas de calidad primaria aire de SO2, O3, NO2 y CO y solicita nominar representante.

SANTIAGO, 17 JUL 2014

**A : MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE**

**DE : MINISTRO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES**

Mediante la presente cumpla con dar respuesta al oficio citado en el ANT., en el que se informa sobre la reactivación del proceso de revisión de normas primarias de calidad del aire para SO2, O3, NO2 y CO, y se solicita nominar a un representante para que integre el Comité Operativo del proceso, y colabore como contraparte técnica en un estudio asociado a la norma de dióxido de azufre.

Al respecto cumpla con señalar a usted, que el representante designado es el Sr. Pablo Salgado Poehlmann, División de Normas y Operaciones, Subsecretaría de Transportes (tel: 24213418; email: [psalgadop@mtt.gob.cl](mailto:psalgadop@mtt.gob.cl)).

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,

  
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES  
MINISTRO  
CHILE

**ANDRÉS GÓMEZ-LOBO ECHENIQUE**  
Ministro de Transportes y Telecomunicaciones



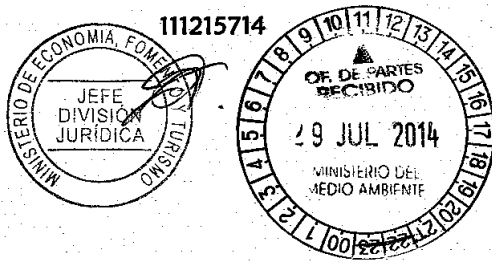
Distribución:

- Destinatario

C.c.:

- Gabinete Ministro de Transportes y Telecomunicaciones
- Gabinete Subsecretario de Transportes
- División de Normas y Operaciones
- Oficina de Partes

21627



ORD. N° 5566 \*28.07.2014

ANT.: Su Ord. MMA N° 142489, de 02.07.14.

MAT.: Designa funcionario en Comité Operativo que indica.

A : SR. PABLO BADENIER MARTÍNEZ  
MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE

DE: SUBSECRETARIA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

En relación a su oficio del antecedente, informo a usted, que este Ministerio ha designado a la Jefa de la División de Política Comercial e Industrial Sra. Pamela Arellano Pérez, para integrar el "Comité Operativo que revisará la norma primaria de calidad del aire para SO2".

A la Sra. Arellano se le puede contactar en el teléfono N° 2473.3578 y su correo electrónico es [parellano@economia.cl](mailto:parellano@economia.cl).

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

KATIA TRUSICH O.  
SUBSECRETARIA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS  
DE MENOR TAMAÑO

BRDAD/sga  
Distribución

- Sr. Ministro del Medio Ambiente
- Sra. Pamela Arellano P.
- Gabinete Subsecretaria de Economía
- Oficina de Partes



000093

OF. ORD. Nº 225 /

ANT.: Reactiva proceso de revisión de normas de calidad y solicita representante para Comité Operativo.

MAT.: Informa representante para el Comité Operativo que indica.


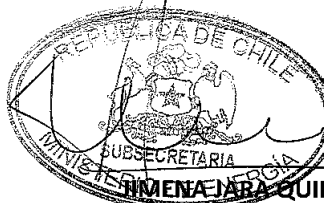
SANTIAGO, 30 JUL 2014

DE : SRA. JIMENA JARA QUILODRÁN  
Subsecretaria de Energía

A : SR. MARCELO MENA CARRASCO  
Subsecretario del Medio Ambiente

Junto con saludarlo, y en atención a lo solicitado en el Oficio Ordinario del Antecedente, se informa a usted que se ha designado como representante para el Comité Operativo de Revisión de las normas primarias de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) a la Sra. Carolina Gómez Agurto, Profesional de la División de Desarrollo Sustentable, e-mail: [cgomez@minenergia.cl](mailto:cgomez@minenergia.cl), teléfono 02-2365 68 76.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

  
  
JIMENA JARA QUILODRÁN  
Subsecretaria de Energía

  
MRA/AVC/VEGA/mnm  
Exp. N° 5410

**Distribución**

- Subsecretaría de Energía
- División de Desarrollo Sustentable, Ministerio de Energía
- Archivo





## "Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO2"

FECHA : Martes 12 de agosto de 2014 de 11:00 a 13:00 Hrs.  
 LUGAR : San Martín N° 73 Ministerio del Medio Ambiente

N°	NOMBRE	INSTITUCION	MAIL	FONO	FIRMA
1.	Samella Quellaud	Ministerio de Economía	parellano@economia.cl	24783578	
2.	Carmen G. Contreras F.	MMA	egcontreras@mma.gob.cl		
3.	Patricia Matos	CENMA (consultor)	pmatos@myma.cl	68246410	
4.	Carlos Mancilla	CENMA	cmancilla@cenma.cl	29275576	
5.	Julio A. Salinas	CENMA	jsalinas@maximapro.cl	9886-5346	
6.	Diego Campos D.	CENMA	dcompas@cenma.cl	82671032	
7.	Candina Gómez A	Ministerio de Energía	cgomez@minenergia.cl	23056876	
8.	Pablo Salgado P.	MINIRATEL	psalgado@mintel.cl	24213413	
9.	Nancy Sanhueza	CENMA	nancy.sd@gmail.com	6-2652131	

000094

10	Stable Lucy E. King	CEN MA	Stable Lucy E. King	---	L. King
11	Priscilla Wilbra	MMA	priscilla@mms.gob.cl	25372787	Priscilla
12	Ivonne Moreno Acosta	HMA	imoreno@mms.gob.cl	25375537	Ivonne Moreno
13	Sebastián Tolwett	MMA	stolwett@mms.gob.cl	25375007	Sebastián Tolwett
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

000096



Proceso de Revisión :

Normas primarias de calidad de aire para:  
dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO),  
ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

---

Reunión Comité Operativo  
12 de agosto de 2014

Sebastián Tolvett, Jefe División Calidad del Aire  
Carmen Gloria Contreras, Jefa Departamento de Normas  
Priscilla Ulloa, Departamento de Normas

## Agenda:

Resolución Exenta 35 del 18 de enero de **2010**, **inició el proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire**. Se publica en el Diario Oficial el día 19 de Marzo y en un periódico de circulación nacional el 21 de Marzo de 2010 (La Nación).  
Resolución Exenta 1.109 del 27 diciembre 2013, **Amplió plazo para elaborar anteproyecto hasta el 31 de diciembre de 2014**

---

- ✓ **2009:** estudio antecedentes para la Revisión de las normas primarias de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). KAS Ambiental S.A., Dic. 2009
- ✓ **20 de Abril de 2010**, 1° Reunión Comité Operativo:
- ✓ **Marzo 2014:** Reactivación del proceso de revisión
- ✓ **Prioridad Ministerial: 1) Revisión norma SO<sub>2</sub> 2) NO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> y CO**
- ✓ Estudio en desarrollo antecedentes complementarios (CENMA)
- ✓ **Ene-Feb-Mar 2015.** Análisis General del Impacto Económico y Social
- ✓ **Fines de Marzo, 2015.** Plazo entrega anteproyecto Ministro, Inicio Consulta Pública

0000960000

✓TA.

## Estudio en desarrollo antecedentes complementarios (CENMA)

- 1° informe de avance, 8 de agosto
- *Informe intermedio a acordar fecha entre las partes*
- *Entrega de observaciones, lunes 18 de agosto*
  
- 2° informe de avance, 28 de octubre
  
- Informe Final, 9 de diciembre

Plazo para revisar informes: 5 días hábiles

- Seminario presentación de resultados

### Comité Operativo

El Comité Operativo de esta revisión fue aprobado por el Consejo Directivo de la CONAMA, el día 26 de Enero de 2010, y esta constituido por:

Representantes:

- Ministerio de Salud
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción
- Ministerio de Minería
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- Ministerio de Energía

## Recordemos: Normas primarias de calidad

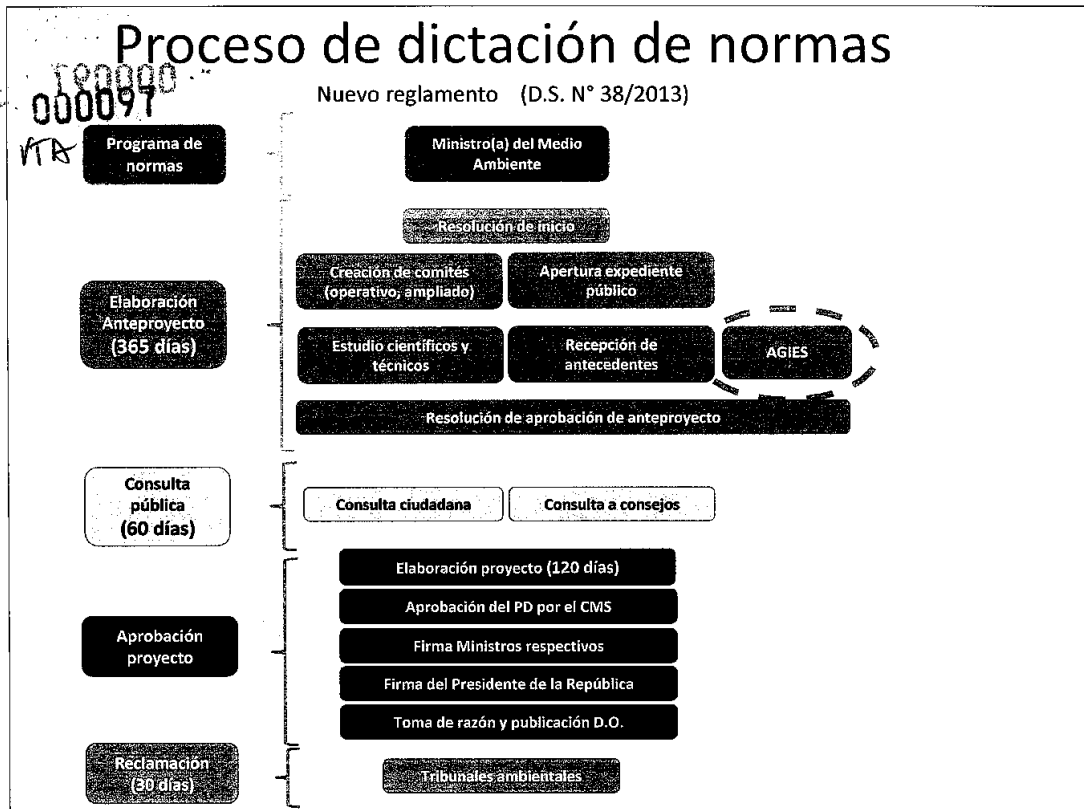
*“Son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.” (\*)*

*(\*) Ley 19.300, Artículo 2.*

## Evolución de las normas de calidad primarias de aire en Chile

- 1978** Resolución Nº1.215 del Ministerio de Salud (No publicada)  
(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PTS)
- 1991** Decreto Supremo Nº185 del Ministerio de Minería (Aún Vigente)  
(SO<sub>2</sub>, MP10)
- 1995** Decreto Supremo Nº93  
Reglamento de dictación y revisión normas calidad y emisión
- 1999** Revisión de Normas Primarias, dando como resultado:  
O<sub>3</sub> Decreto Supremo Nº112 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)  
SO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº113 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)  
NO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº114 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)  
CO Decreto Supremo Nº115 (Publicado en el Diario Oficial 10.09.2002)
- 2013** Decreto Supremo Nº 38 del Ministerio del Medio Ambiente  
Reglamento para la dictación de normas calidad ambiental y de emisión
-

# Proceso de dictación de normas



## Fundamentos para revisar la norma

1. Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión señala :

“Toda norma de calidad ambiental y de emisión será revisada, según los criterios establecidos en este párrafo, a lo menos cada 5 años”.

2. Nuevos antecedentes científicos a nivel internacional que indican la necesidad de readecuación de la norma de SO<sub>2</sub>, para que sea efectiva y eficiente en el objetivo de protección que persigue

- Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). *Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong*. Environ Health Perspect 109, 335-340.
- Hedley, A.J., Wong, C.M., Thach, T.Q., Ma, S., Lam, T.H., and Anderson, H.R. (2002). *Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study*. Lancet 360, 1646-1652.

3. Constatación de eventos de corta duración de SO<sub>2</sub> en localidades pobladas industriales => la norma no estaría protegiendo la salud de grupos vulnerables de la población.

# ¿Cuándo estarán activos otros instrumentos regulatorios que reducen las emisiones de SO<sub>2</sub>?

Activación del instrumento regulatorio	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Termoeléctricas Reducción de SO <sub>2</sub> (23 de junio 2016)													
Fundiciones Reducción de SO <sub>2</sub> (12 de diciembre del 2018)													
País Combustibles transporte S < 15 ppm													
RM Combustibles transporte S < 15 ppm													
País Combustibles industria diésel s < 50 ppm													
RM Combustibles industria diésel S < 50 ppm													
RM: Combustibles industria FUEL 5 - 6 1% de S													
País: Combustible industria FUEL 5 - 6 : de 5% paso a 3% de S													

## Lugares de Interés para Evaluar el Efecto de la Revisión de la Norma Ganancia Ambiental

Lugar	Situación actual	Fuentes emisoras de SO <sub>2</sub>
<b>Tocopilla</b>	Cuenta con Plan MP10	Termoeléctricas
<b>Calama</b>	Cuenta con Plan Chuquicamata Declaración de zona saturada por MP10	Fundición Chuquicamata Ministro Hales
<b>La Negra</b>	---	Fundición Alto Norte
<b>Mejillones</b>	--	Termoeléctricas Planta de acido Otras
<b>Huasco</b>	Declaración de zona latente por MP10	Termoeléctricas CAP pellets de Fe
<b>Copiapó - Paipote</b>	Plan de HVL	Fundición HVL
<b>Salvador-Protrerillos</b>	Plan de Potrerillos	Fundición de Potrerillos
<b>Quintero - Puchuncaví</b>	Plan de Ventanas Se declarará zona latente por SO <sub>2</sub> , MP10 y MP2,5 Revisión de plan	Fundición Ventanas Termoeléctrica AES Gener
<b>Catemú - Llay Llay</b>	Zona latente por SO <sub>2</sub> (D.S. 185) Estaría en latencia por SO <sub>2</sub> anual	Fundición Chagres
<b>Coya</b>	Plan de Caletones	Fundición Caletones
<b>Coronel - Talcahuano</b>	En elaboración Plan Gran Concepción Latencia MP10 – saturado MP2,5	Termoeléctricas Procesos calderas Siderurgia
<b>RM</b>	Revisión y actualización de Plan	Industrias Transporte

890000

000098

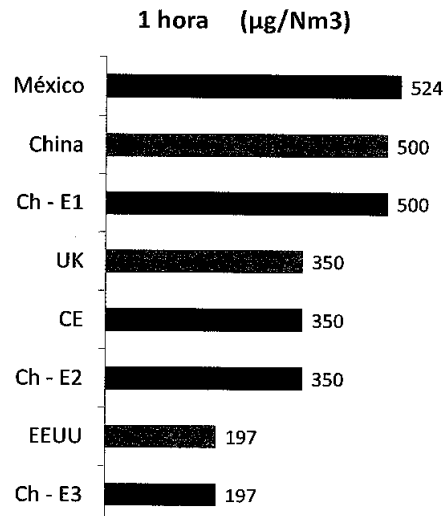
VTR

## Propuesta Escenarios Regulatorios

### Comparación de estándar de SO2 1 hora

Escenario 1 hora ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )
500
350
197

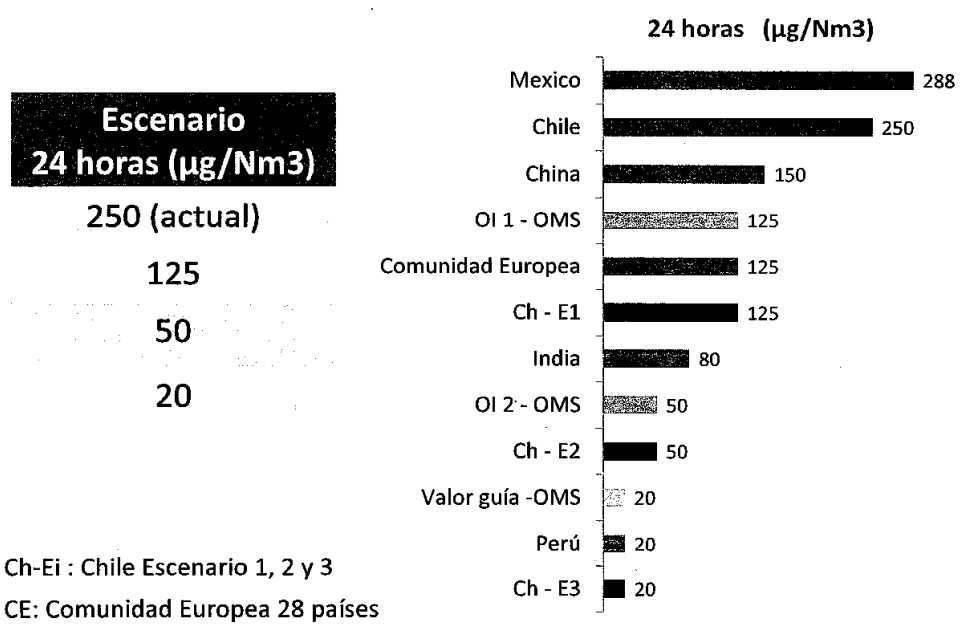
Ch-Ei : Chile Escenario 1, 2 y 3  
CE: Comunidad Europea 28 países



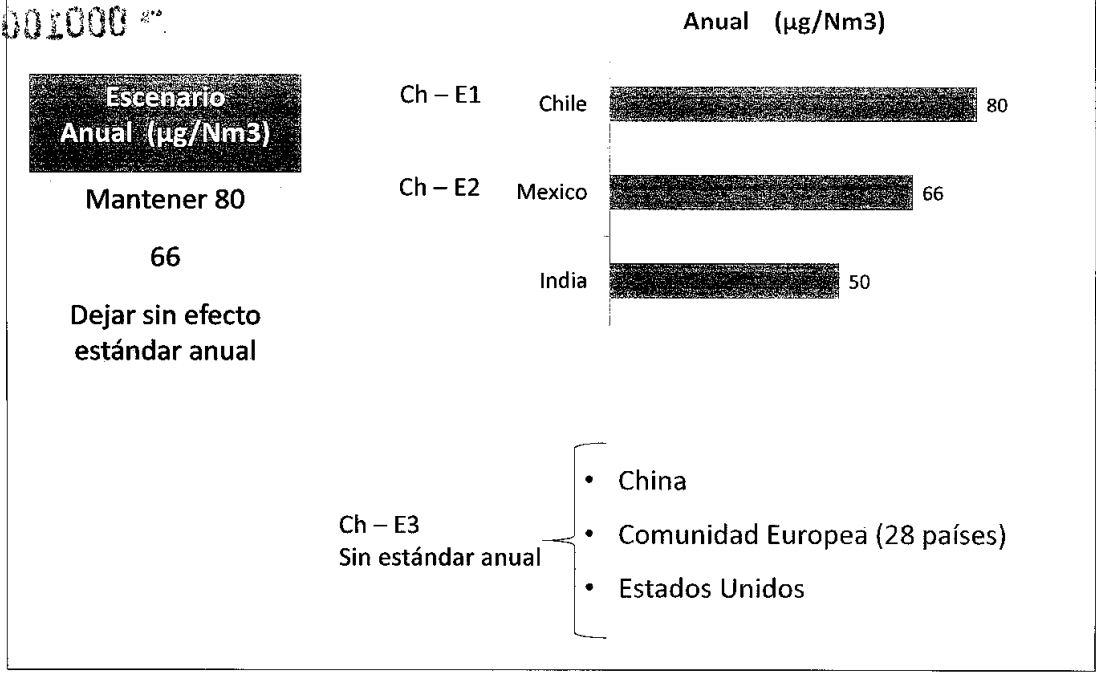
# CE: Comunidad Europea, 28 países.

1. Alemania (1952)
2. Austria (1995)
3. Bélgica (1952)
4. Bulgaria (2007)
5. Chipre (2004)
6. Croacia (2013)
7. Dinamarca (1973)
8. Eslovaquia (2004)
9. Eslovenia (2004)
10. España (1986)
11. Estonia (2004)
12. Finlandia (1995)
13. Francia (1952)
14. Grecia (1981)
15. Hungría (2004)
16. Irlanda (1973)
17. Italia (1952)
18. Letonia (2004)
19. Lituania (2004)
20. Luxemburgo (1952)
21. Malta (2004)
22. Países Bajos (1952)
23. Polonia (2004)
24. Portugal (1986)
25. Reino Unido (1973)
26. República Checa (2004)
27. Rumanía (2007)
28. Suecia (1995)

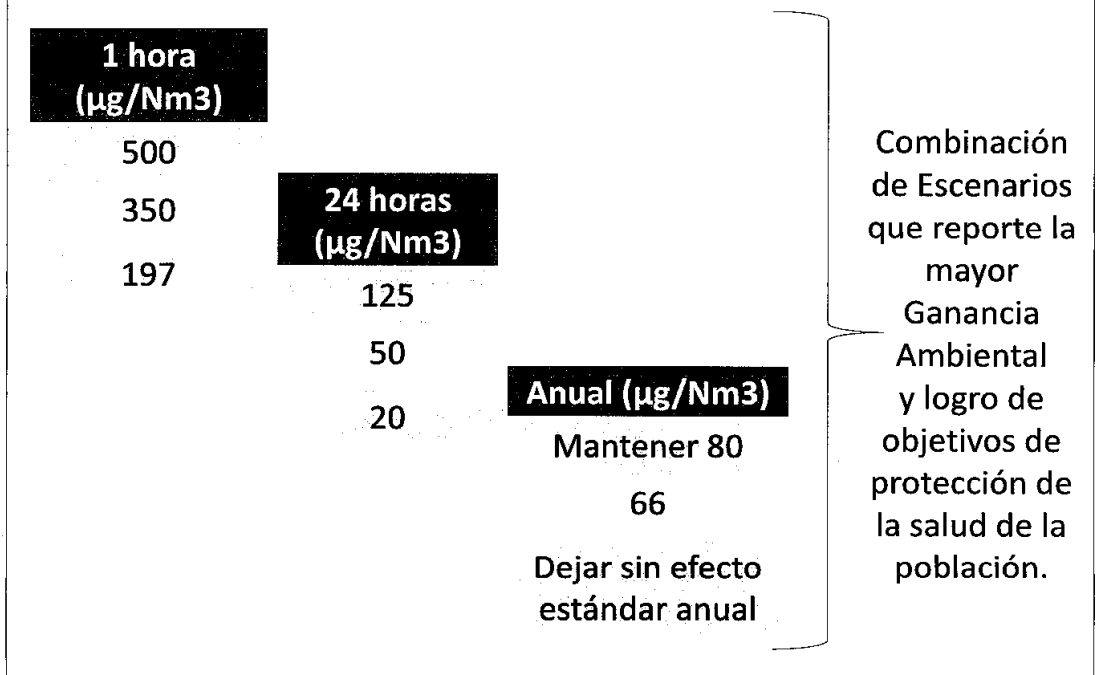
## Comparación de estándar SO2 24 horas



# Comparación de estándar anual de SO<sub>2</sub>

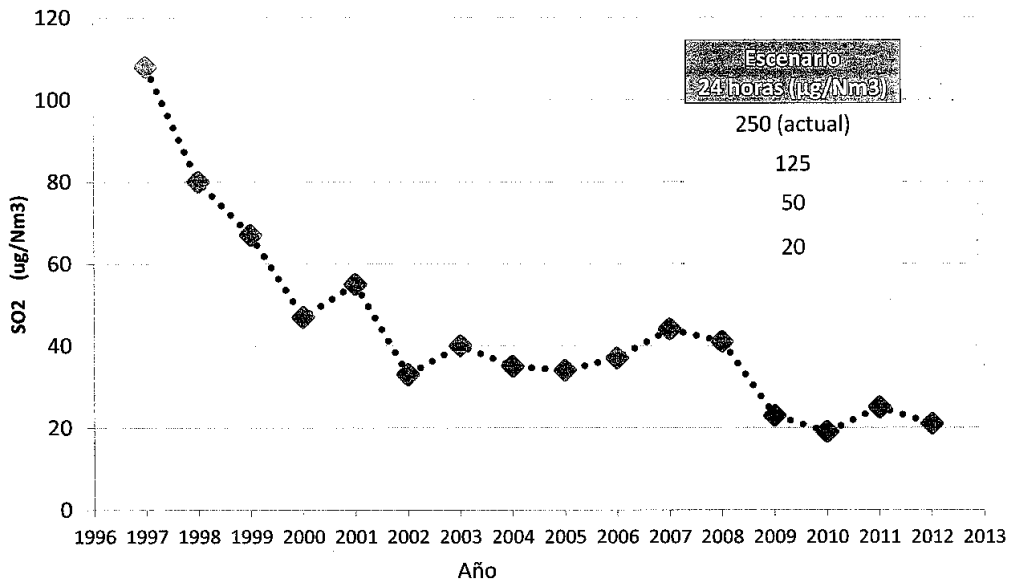


## Propuesta Escenarios Regulatorios





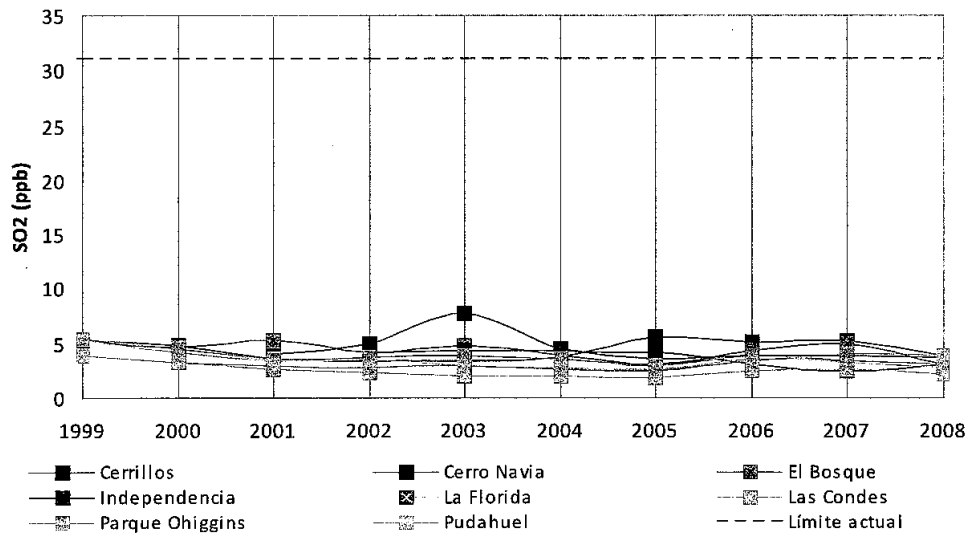
Concentración de 24 horas de SO<sub>2</sub> en la R.M., Percentil 99. D.S. N° 113



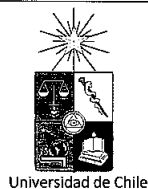
Fuente: Datos proporcionados por la Red MACAM (2013)

\*Considerando la estación que posee el valor más alto de concentración de SO<sub>2</sub>

Concentración Anual (SO<sub>2</sub>)



Fuente: KAS Ingeniería (2009), Antecedentes para la Revisión de las Normas Primarias de Calidad del Aire para SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>.



10000101

## Primer Informe de Avance

### Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

Elaborado para:



Ministerio del Medio Ambiente  
Subsecretaría del Medio Ambiente

Santiago  
Agosto, 2014

## Contenido

- Presentación del equipo Profesional
- Antecedentes
- Objetivos
- Metodología (objetivos a, b y c)
- Resultados (objetivos a, b y c)

10000101

VTR

# Presentación del Equipo Profesional

## Coordinador del Proyecto:

**Carlos Mancilla**  
Magister en Ciencias Químicas  
Químico Ambiental

## Expertos en Salud:

**Patricia Matus**  
Doctor en Salud Pública  
Magister en Epidemiología

**Julio Salinas**  
Ph. D. en Bioquímica y Metabolismo  
Nutricional en Mamíferos

# Presentación del Equipo Profesional

## Análisis de Calidad del Aire y Meteorología:

**Maureen Amin**  
Meteoróloga  
Mg. (e) Gestión y Planificación Ambiental

**Diego Campos**  
Meteorólogo

**Manuel Merino**  
Meteorólogo

# Presentación del Equipo Profesional

## Evaluación económica y social

**Claudio Huepe**  
Ing. Comercial  
Economista

**Nancy Sanhueza**  
Doctora en Ciencias Multidisciplinarias

## Antecedentes

- Las Normas primarias de calidad del aire son instrumentos preventivos orientados a proteger la salud de la población de aquellos efectos adversos generados por la exposición a los contaminantes.
- Estas Normas regulan las concentraciones de aquellos contaminantes identificados como los principales y más nocivos para la salud de la población y que corresponden a:
  - Material Particulado Respirable MP10
  - Material Particulado Fino MP2,5
  - Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
  - Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
  - Ozono troposférico (O<sub>3</sub>)
  - Monóxido de carbono (CO)
  - Plomo (Pb)

501000102

VTA

## Antecedentes

- D.S. 113/03 MINSEGPRES, Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):
  - Anual : 31 ppbv – 80 µg/m<sup>3</sup>N
  - 24 horas : 96 ppbv – 250 µg/m<sup>3</sup>N
- Niveles:
  - 1: 750 – 999 ppbv (1962 – 2615 µg/m<sup>3</sup>N)
  - 2: 1000 – 1499 ppv (2616 – 3923 µg/m<sup>3</sup>N)
  - 3: 1500 – superior (3924 µg/m<sup>3</sup>N o superior)

## Antecedentes

- Normativa Internacional:
- OMS:
  - 24 horas : 20 µg/m<sup>3</sup>
  - 10 minutos : 500 µg/m<sup>3</sup>
- Estados Unidos:
  - 1 hora : 196 µg/m<sup>3</sup>
- Comunidad Europea
  - 1 hora : 350 µg/m<sup>3</sup>

# Antecedentes

000103

- Tendencia:

Chile	OMS	Estados Unidos	Comunidad Europea
Anual, 24 horas	24 horas, 10 minutos	1 hora	1 hora

## Resolución Temporal

# Antecedentes

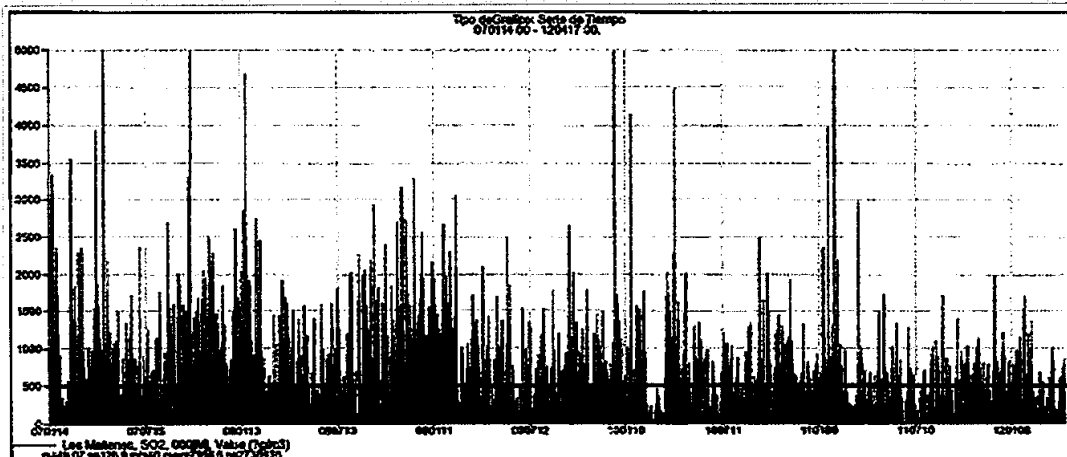


Figura 1. Comparación de las concentraciones de SO<sub>2</sub> con el valor de referencia de 500 µg/m<sup>3</sup>, como promedio móvil de 10 minutos. Años 2007 al 2012. Estación Los Maitenes, zona de Ventanas. Región de Valparaíso.

000103

V.T.A.

## Justificación

- a) Hay evidencia científica suficiente que indica que los estándares establecidos para el SO<sub>2</sub> de 24 horas y anual, presentan una amplia tolerancia, respecto a las recomendaciones y guías internacionales. En otras palabras, el objetivo preventivo del decreto supremo N°113, no se condice con los niveles que se establecen en los estándares.
- b) Los nuevos antecedentes disponibles desde el 2005, abunda en focalizar la vigilancia sobre los efectos agudos en salud del SO<sub>2</sub>.
- c) Hay evidencia en el país, en zonas industriales que comparten territorio con asentamientos humanos, que la norma de SO<sub>2</sub>, no protege a las poblaciones más vulnerables, correspondiente a grupos de asmáticos, infantes y niños.
- d) El decreto supremo N°113, mantiene un estándar anual del año 1978, cuenta con un estándar de 24 horas del año 2003; y no incluye un estándar para la protección de los efectos agudos para exposiciones de una hora o menos.
- e) Los niveles que se establecen para decretar emergencia y que tienen por objeto reducir la exposición de los grupos vulnerables de la población, presentan una amplia tolerancia respecto al riesgo al cual se expone la población.

- De acuerdo a los antecedentes presentados, el Ministerio del Medio Ambiente requiere una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> (D.S. 113 MINSEGPRES).

# Objetivo General

000104

Contar con antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), junto a una evaluación social de los costos y los beneficios de actualizar la norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios.

## Objetivos Específicos

- a) Contar con una recopilación, análisis, y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo, se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.
- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.



# Contenidos del Primer Informe de Avance

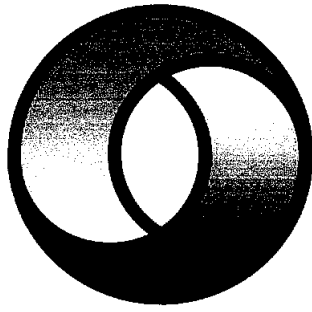
0801040

V.T.B

- a) Contar con una recopilación, análisis, y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo, se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.
- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.

## Resultados

000105



cenma

Centro Nacional del Medio Ambiente

000106

101900107

# **Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

## **EFFECTOS DEL SO<sub>2</sub> EN LA SALUD EFFECTS OF SO<sub>2</sub> ON HEALTH**

Preparado por CENMA para MMA  
Informe de Avance 1 - Agosto 2014

### **Propiedades físico-químicas del SO<sub>2</sub>**

- Gas altamente soluble en agua, más pesado que el aire, olor picante e irritante sobre 8.0 mg/m<sup>3</sup> (3 ppm).
- Umbral de olor es 0.8-8 mg/m<sup>3</sup> (0.3-3.0ppm)
- En presencia de humedad genera H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, un agente reductor e irritante y químicamente inestable.

## Metabolismo del SO<sub>2</sub>

- La mayoría se absorbe en el tracto respiratorio y pequeñas fracciones en la piel, tejido ocular, y saliva.
- La eficiencia de retención aumenta por respiración buconasal, como p.ej., en el ejercicio.
- SO<sub>2</sub> absorbido es convertido en sulfito, el que reacciona con proteínas séricas formando S-sulfonatos, y éste es distribuido por el organismo.
- El sulfito y S-sulfonato se descomponen y eliminan en la orina.

## Efectos del SO<sub>2</sub> en personas sanas

- Exposición a SO<sub>2</sub> causa una sensación de ardor en la nariz y garganta dificultad para respirar, incluyendo cambios en la habilidad del organismo para tomar un respiro, respirar profundamente, o respirar un mayor volumen de aire por bocanada.
- A dosis suficientemente altas (por sobre 1068 mg/m<sup>3</sup>), la toxicidad aguda puede ser fatal.

## Toxicidad de corto plazo (5 min a 24 h) al SO<sub>2</sub>

- A los 5-10 minutos de comienzo de la exposición hay una irritación del tracto respiratorio superior, y comienza el reflejo de bronco constricción temporal, con aumento de la resistencia de los pasajes aéreos. Hay sensación de ardor en la nariz y garganta. Dificultad para respirar, sibilancia, respiración corta, sensación de sofoco.
- Reflejo laríngeo con espasmo y edema pueden causar obstrucción aguda de las vías aéreas.
- Exposición continua o repetida puede llevar a aclimatización, un ajuste fisiológico en hasta 80% de las personas expuestas.
- A [SO<sub>2</sub>] > 1068 mg/m<sup>3</sup> la constricción de la glotis y de los bronquios, puede llevar a la asfixia, lo que requiere protección inmediata.

## Efectos del SO<sub>2</sub> en asmáticos

- Exposición a SO<sub>2</sub> tan baja como 0.53-0.80 mg/m<sup>3</sup> por 5-10 min produce una broncoconstricción moderada o mayor, de FEV<sub>1</sub> ≥15% o aumento de la sRAW ≥ 100%.
- El porcentaje de individuos afectados y la severidad de la respuesta aumentan con el SO<sub>2</sub>. La concentración mediana para una respuesta de aumento del 100% fue 2.0 mg/m<sup>3</sup>
- Hay asociaciones positivas entre [SO<sub>2</sub>] ambiental, síntomas respiratorios, visitas a ER y hospitalizaciones por todas las causas.
- Otros contaminantes aéreos pueden potenciar los efectos irritantes del SO<sub>2</sub> en la función pulmonar.
- [SO<sub>2</sub>] = 5.34 mg/m<sup>3</sup> no afecta la función pulmonar en sujetos normales.
- Sulfitos y monosodio glutamato provocan reacciones alérgicas ; individuos asmáticos son altamente susceptibles al sulfito presente como preservativo en ciertos alimentos y vino.

001000  
000108  
VTR

## Toxicidad crónica al SO<sub>2</sub>

- En las cercanías de áreas con alta concentración de SO<sub>2</sub>, se ha observado un marcado aumento en la incidencia de asma, enfisema, bronquitis, y otras enfermedades respiratorias.
- Los niños pueden estar en mayor riesgo, debido a su mayor superficie pulmonar y aumento del volumen minuto.
- Asociada con aumento de morbilidad y mortalidad. Causa cambios en la función pulmonar y agravar enfermedades existente como cardíaca y respiratoria como bronquitis y asma. Efectos incluyen sibilancias, disnea leve, tos persistente y flema, hiper respuesta bronquial, y síntomas de enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
- Hay evidencia de daño testicular, aumento en anomalías de la esperma, disminución de la fecundidad, aumento de mortalidad neonatal, menor peso al nacer, y aumento en defectos de nacimiento con exposición >0.124 ppm SO<sub>2</sub>.

### - cont. - Efectos crónicos

- Aumento de la mortalidad asociada con niveles de SO<sub>2</sub>, debido a enfermedades cardiovasculares, cerebro vasculares, enfermedad coronaria y enfermedades isquémicas del corazón y ateroscleróticas.
- Actividad citotóxica. En la tráquea, altas concentraciones causan descamación epitelial, y el crecimiento en células cultivadas es inhibido por el SO<sub>2</sub>.
- El SO<sub>2</sub> inhibe la síntesis del ADN y es clastogénico, es decir, causa ruptura cromosómica. Hay disminución en el índice mitótico y un aumento en la frecuencia de micronúcleos.
- Débilmente mutagénico, con cofactores desconocidos. No hay evidencia de carcinogenicidad en humanos, aunque RTECS y IARC tienen diferentes opiniones.

## Enfermedad respiratoria preexistente

000109

- En asmáticos: a 0.53-8.0 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> hay disminución de la función respiratoria.
- Asmáticos en ejercicio: a 1.1- 1.6 mg/m<sup>3</sup> hay un aumento de síntomas respiratorios y disminución en función pulmonar
- Asociación positiva entre SO<sub>2</sub> ambiental y visitas a servicios de emergencia y hospitalizaciones por asma.
- Individuos con asma preexistente están a un riesgo mucho mayor que la población general de experimentar efectos en la salud debido al SO<sub>2</sub>.
- Enfermedad cardíaca crónica puede ser exacerbada por el SO<sub>2</sub> junto a otros contaminantes aéreos.

## Condiciones que predisponen la toxicidad del SO<sub>2</sub>

- Enfermedad respiratoria preexistente
- Factores genéticos, no son concluyentes
- Edad: mayor susceptibilidad en niños (<18 años) y adultos mayores (>65 años), reflejada en aumento de visitas a servicios de urgencia y hospitalizaciones.
- Tiempo ocupado al exterior de las viviendas
- Tasa de ventilación elevada, p.ej., sujetos en ejercicio, trabajando o jugando.
- Etnicidad, p.ej., afroamericanos, nativos americanos y de Alaska.
- Estatus socioeconómico.



## Normas OMS para calidad de aire con SO2

- La OMS (2005) recomienda no exceder un valor de 0.5 mg/m<sup>3</sup> para tiempo promedio de exposición de hasta 10 minutos, debido a cambios en la función pulmonar en asmáticos.
- Para una exacerbación de los síntomas respiratorios en individuos sensibles, OMS recomienda 0.125 mg/m<sup>3</sup> para tiempo promedio de exposición de 24 horas, y de 0.050 mg/m<sup>3</sup> para exposición promedio de 1 año.

Pais	Valor límite (µg/m <sup>3</sup> ) [a]	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Argentina	2620 [b] 780 [b] 70 [c]	1 hora 8 horas 1 mes	Ninguna
Belice [d,e]	30 (I) 80 (II) 120 (III)	--	Ninguna
Bolivia	365 80 [f]	24 horas	Ninguna
Brazil	365 80 [f]	24 horas 1 año	Solo una vez por año Ninguna
Chile	365 80 [f]	24 horas 1 año	Ninguna
Colombia	1500 400	3 horas 24 horas	Solo una vez por año
Costa Rica	1500 365 80 [f]	3 horas 24 horas 1 año	Solo una vez por año
Cuba	500 50	20 min 24 horas	Ninguna
Ecuador	1600 400 80 [f]	3 horas 24 horas 1 año	Solo una vez por año Ninguna
México	341 72 [f]	24 horas	Solo una vez por año Ninguna
Venezuela	80-365	24 horas	El valor 80 µg/m <sup>3</sup> no podrá superarse en más de 50% de las mediciones, el valor 200 µg/m <sup>3</sup> no podrá superarse en más de 5% de las mediciones, el valor 260 µg/m <sup>3</sup> no podrá superarse en más de 2% de las mediciones, y el valor 365 µg/m <sup>3</sup> no podrá superarse en más de 0.5% de las mediciones por año.
Canadá [g]	450 (deseable) 300 (aceptable) 150 (deseable) 300 (aceptable) 300 (tolerable) 30 [f] (deseable) 60 [f] (aceptable)	1 hora 24 horas 1 año	
China [d]	160 (I), 500 (II), 700 (III) 60(I), 160(II), 260(III) 20(I), 80(II), 100(III) [f]	1 hora 24 horas 1 año	Ninguna
Estados Unidos	365 80 [f]	24 horas 1 año	Solo una vez por año Ninguna
Japón	260 110	1 hora 24 horas	Ninguna
Unión Europea	360 126 20	1 hora 24 horas 1 año e Invierno (del 1/10 al 31/3)	Ninguna

## COMPARACIÓN DE VALORES LÍMITE PARA NORMAS DE SO<sub>2</sub>

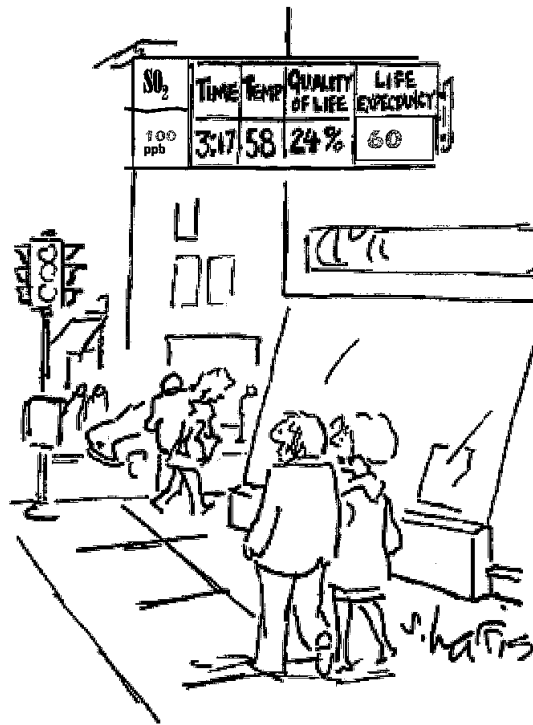
000110

- Mayoría de los países usan norma de **1 hora** de muestreo (*exposición*), con valores límite que van de **2620** (Argentina) a **150** µg/m<sup>3</sup> (China)
- Muchos países adhieren a la norma de **24 horas** con valores límite que van de **400-20** µg/m<sup>3</sup> (OMS). (Chile:365)
- Cada país establece una *frecuencia de excedencia permitida* para el valor límite, que va desde **ninguna** para tiempos de exposición (muestreo) de 20 min., a **solo una vez por año** para tiempos promedios de 24 horas (Brasil, México. EE.UU.)

### Relación [SO<sub>2</sub>] y efectos agudos

Concentración mg/m <sup>3</sup>	Efecto	Tiempo exposición	condición
134-267	Tolerable	30-60 min	adulto sano
26.7-53.4	Irritación ocular		adulto sano
13.4	Aumento resistencia en la respiración		adulto sano
5.34	No hay efectos		adulto sano
1.1 - 1.6	Bronco contricción moderada; ↓FEV <sub>1</sub> ≥15% ó ↑sRAW ≥100%.	5-10 min	asmáticos
0.8 - 8	umbral de olor		adulto sano
0.05	Exacerbación síntomas respiratorios en individuos sensibles	1 año	Ref.: OMS
0.13		24 horas	
0.5		10 min	

00000110  
VTA



000111

# ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA PRIMARIA CALIDAD DEL AIRE PARA SO<sub>2</sub>

---

Antecedentes Epidemiológicos para la toma  
de decisión

Dra. Patricia Matus

## Contenido

- Resultados de la revisión bibliográfica Internacional
- Resultados de la revisión bibliográfica Nacional
- Resultados de la Carga de Enfermedad en Chile

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## Revisión Bibliográfica Internacional

Tipos de Publicaciones	Periodo de la revisión	Nº Total	Nº Seleccionadas
Revisiones Sistemáticas	2004- 2014	37	32
Estudios Aislados	2004-2014	368	143

PALABRAS CLAVES: Health effects of so2 air pollution – 10 years - Human

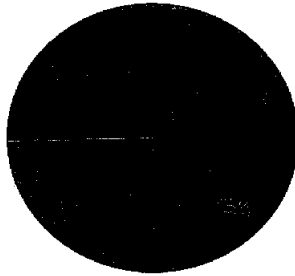
MAV.TA.

000112  
5/2000

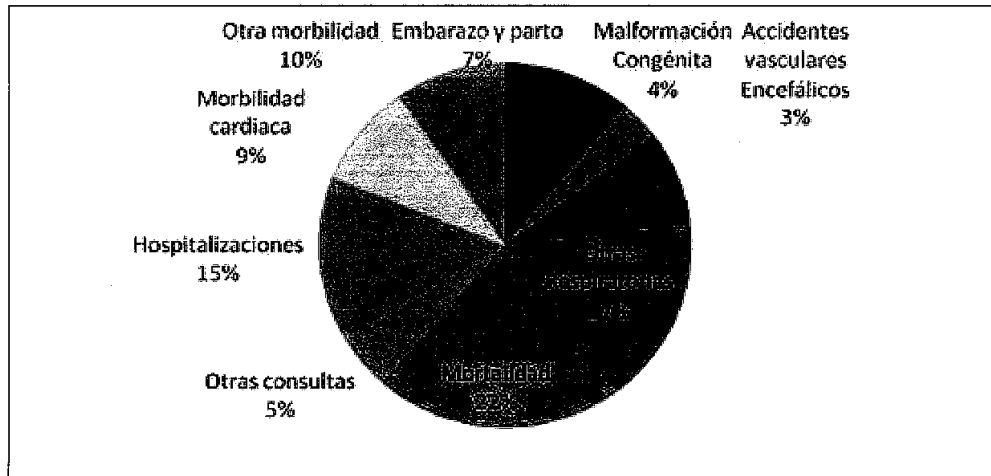
Porcentaje de resultados con asociación entre exposición a SO<sub>2</sub> y distintos efectos sobre la salud (Nº total de publicaciones 143)

Revisión Sistemática 2004-2014

■ Con asociación ■ Sin asociación

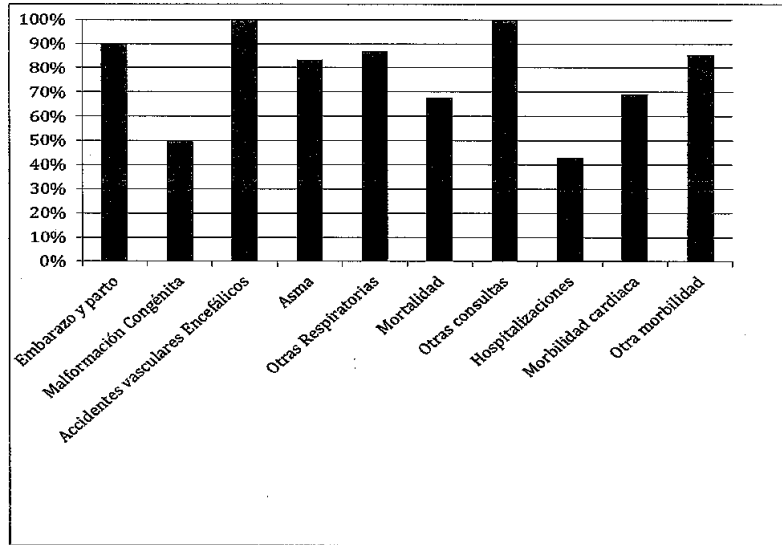


Tipo de efecto estudiado (Nº total de publicaciones 143)

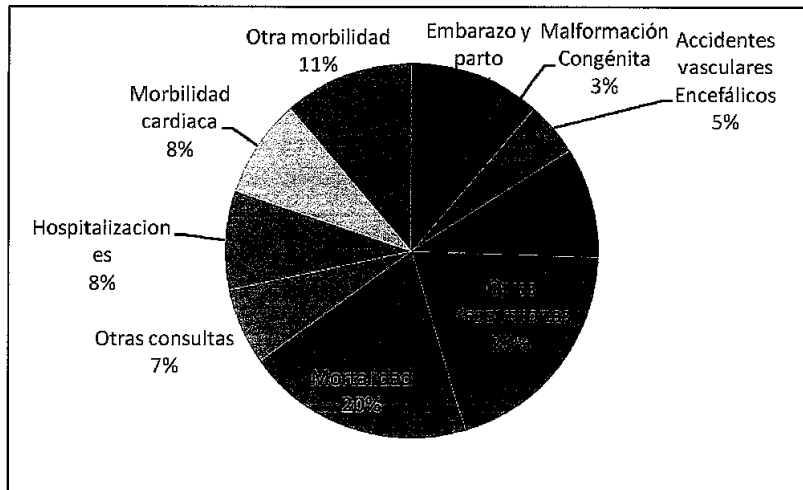


SC1000  
000112  
VTA

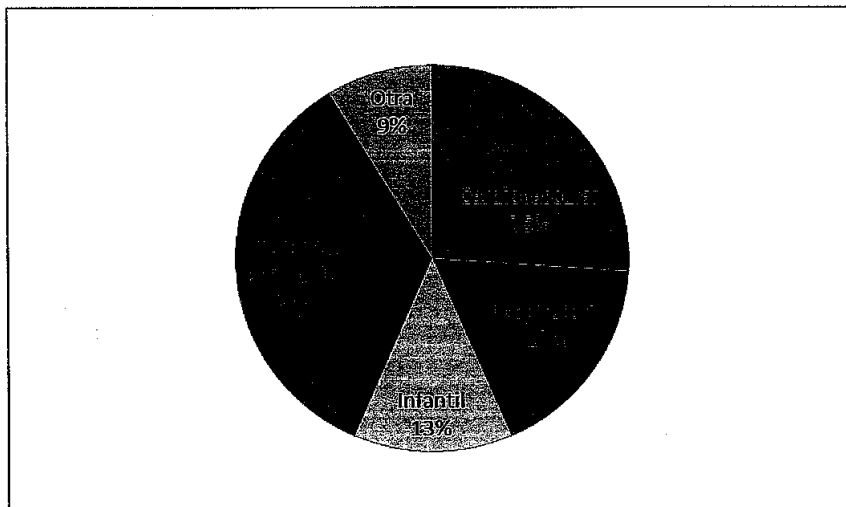
### Resultados de la concordancia en la asociación entre exposición a SO<sub>2</sub> y distintos tipos de efectos (%)



### Tipo de efecto significativo reportados por 106 publicaciones (2004-2014)



**Mortalidad asociada positivamente a la exposición a SO<sub>2</sub> (N= 21 estudios)**



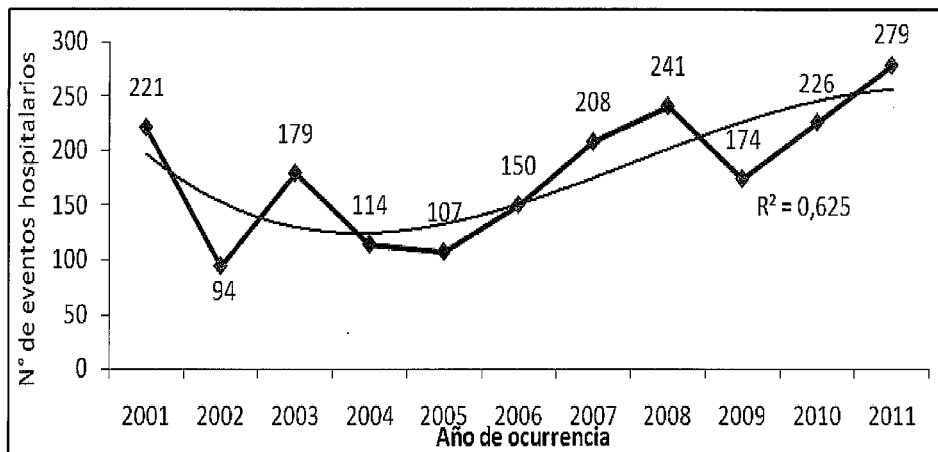
**meta-análisis, efectos sobre la salud de la exposición a SO<sub>2</sub> (2013-2004)**

ID	Título, autor, año	Resultados entregados
2	Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis, Shah, 2013	Este artículo estudia los efectos de la exposición aguda a contaminantes atmosféricos ((MP <sub>10</sub> , MP <sub>2.5</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono) sobre la insuficiencia cardiaca (hospitalizaciones y mortalidad).
9	Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis, Vrijheid, 2011	Entrega los resultados de la re- evaluación de 4 estudios sobre malformaciones congénitas y exposición a varios contaminantes atmosféricos ((MP <sub>10</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono). Encontraron evidencia de asociación para los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre, solamente.
11	Drug consumption and air pollution: an overview, Menichini, 2010	El artículo analiza los resultados de 31 publicaciones sobre los efectos de exposiciones agudas en el consumo de medicamentos de pacientes asmáticos y respiratorios.
13	Air pollution, aeroallergens, and emergency room visits for acute respiratory diseases and gastroenteric disorders among young children in six Italian cities, Orazio, 2009	Este artículo estudia exposiciones y efectos agudos. Se refiere a la asociación entre las consultas de niños a servicios de emergencia por causas respiratorias y digestivas en seis ciudades italianas. Evalúa el efecto de varios contaminantes (MP <sub>10</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono). Encontrando efecto para la presencia de sibilancias.
14	Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults, Forbes, 2009	Evalúa en qué medida la exposición crónica a contaminantes ambientales (MP <sub>10</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono) produce efecto sobre la función pulmonar. Se analizaron los resultados de 4 encuestas poblacionales (1995, 1996, 1997 y 2001).
142	Exposure-response functions for health effects of ambient air pollution applicable for China -- a meta-analysis, Anan, 2004	Este artículo propone funciones dosis/respuesta sobre la base de estudios epidemiológicos realizados en China. Deriva funciones para efectos agudos (hospitalizaciones respiratorias y cardiovasculares; y muertes totales, respiratorias y cardiovasculares) tanto para SO <sub>2</sub> , como material particulado. Deriva también una función para efectos crónicos, solamente para el material particulado.



# REVISIÓN DE ESTUDIOS EN CHILE

N° de eventos hospitalarios por Asma,  
Chile 2001-2011.

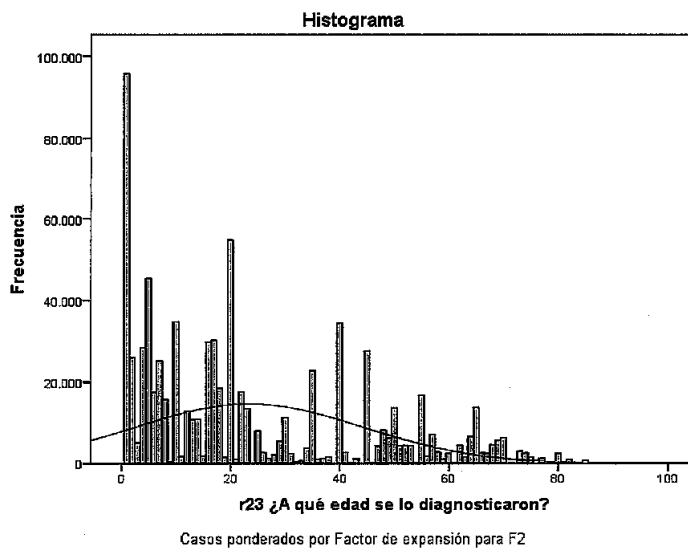


113 V.T.A.

### Prevalencia percibida de Asma, ENS (2009-2010)

Región	22. ¿Alguna vez un médico o doctor le ha dicho que tiene o que padece de asma?							
	Sí		No		No sabe/No responde		Total	
	N°	% Fila	N°	% Fila	N°	% Fila	N°	% Fila
I	7.641	4,4	163.104	94,6	1.726	1,0	172.471	100,0
II	26.764	6,9	362.778	93,1	0	0,0	389.542	100,0
III	16.419	7,0	217.706	92,8	523	,2	234.648	100,0
IV	37.983	6,6	535.920	93,0	2.383	,4	576.287	100,0
V	61.283	4,5	1.293.693	95,0	7.461	,5	1.362.437	100,0
VI	38.518	5,8	621.590	93,2	7.172	1,1	667.190	100,0
VII	38.035	4,8	755.187	94,7	4.074	,5	797.296	100,0
VIII	107.407	6,8	1.464.246	93,2	0	0,0	1.571.653	100,0
IX	44.758	5,8	720.821	93,7	3.950	,5	769.328	100,0
X	15.622	2,8	539.110	97,2	0	0,0	554.731	100,0
XI	5.155	6,7	71.310	93,3	0	0,0	76.465	100,0
XII	17.847	11,0	144.508	89,0	0	0,0	162.355	100,0
RM	362.932	6,9	4.882.853	92,5	34.194	,6	5.279.979	100,0
XIV	35.457	13,5	226.387	86,5	0	0,0	261.845	100,0
XV	11.661	7,1	152.954	92,6	477	,3	165.092	100,0
Total	827.482	6,3	12.151.877	93,2	61.961	,5	13.041.319	100,0

### Edad de diagnóstico del ASMA, Chile, ENS (2009-2010)



000014  
VTA

### Tratamiento del Asma, Encuesta Nacional de Salud (2009-2010)

	r24 ¿Alguna vez ha sido tratado por asma?							
	Sí		No		No sabe/No responde		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
I	6.467	3,7	166.004	96,3	0	0,0	172.471	100,0
II	24.314	6,2	365.228	93,8	0	0,0	389.542	100,0
III	12.813	5,5	221.312	94,3	523	,2	234.648	100,0
IV	35.343	6,1	538.561	93,5	2.383	,4	576.287	100,0
V	60.137	4,4	1.302.301	95,6	0	,0	1.362.437	100,0
VI	32.436	4,9	629.315	94,3	5.439	0,8	667.190	100,0
VII	38.792	4,9	755.207	94,7	3.297	,4	797.296	100,0
VIII	126.343	8,0	1.445.310	92,0	0	0,0	1.571.653	100,0
IX	43.649	5,7	721.730	93,8	3.950	,5	769.328	100,0
X	13.127	2,4	541.604	97,6	0	0,0	554.731	100,0
XI	4.596	6,0	71.870	94,0	0	0,0	76.465	100,0
XII	18.563	11,4	143.792	88,6	0	0,0	162.355	100,0
RM	346.619	6,6	4.925.475	93,3	7.886	,1	5.279.979	100,0
XIV	35.457	13,5	226.387	86,5	0	0,0	261.845	100,0
XV	12.491	7,6	152.124	92,1	477	,3	165.092	100,0
Total	811.146	6,2	12.206.218	93,6	23.955	,2	13.041.319	100,0

### Tratamiento del Asma, Encuesta Nacional de Salud (2009-2010).

	r25 ¿Ha estado tomando algún medicamento o haciendo algún tratamiento para el asma durante las últimas dos semanas?							
	Sí		No		No sabe/No responde		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
I	3.605	2,1	168.866	97,9	0	0,0	172.471	100,0
II	6.603	1,7	382.564	98,2	376	0,1	389.542	100,0
III	3.029	1,3	230.572	98,3	1.047	,4	234.648	100,0
IV	11.038	1,9	565.249	98,1	0	,0	576.287	100,0
V	11.425	0,8	1.351.012	99,2	0	,0	1.362.437	100,0
VI	9.840	1,5	657.350	98,5	0	0,0	667.190	100,0
VII	9.337	1,2	784.662	98,4	3.297	,4	797.296	100,0
VIII	44.238	2,8	1.527.415	97,2	0	0,0	1.571.653	100,0
IX	19.592	2,5	745.786	96,9	3.950	,5	769.328	100,0
X	4.080	0,7	550.652	99,3	0	0,0	554.731	100,0
XI	878	1,1	75.587	98,9	0	0,0	76.465	100,0
XII	2.696	1,7	159.658	98,3	0	0,0	162.355	100,0
RM	157.507	3,0	5.122.472	97,0	0	,0	5.279.979	100,0
XIV	9.735	3,7	252.109	96,3	0	0,0	261.845	100,0
XV	1.513	0,9	163.101	98,8	477	,3	165.092	100,0
Total	295.117	2,3	12.737.055	97,7	9.147	,1	13.041.319	100,0

**Publicaciones científicas sobre efectos  
del SO<sub>2</sub> en Chile**

Tipo de efecto estudiado, autor, año	Resultados
Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área Industrial de Puchuncaví, Chile. Sanchez, Rev Panam Salud 1999	por 50 microg/m <sup>3</sup> de SO <sub>2</sub> -1,42 L/min (-2,84 a -0,71) en FEM 5% (RP = 1,05: 1,00 a 1,10) expectoración
Air Pollution and Mortality in Chile: Suceptibility among the Elderly, Cakmack EHP 2007	14.08 ppb SO <sub>2</sub> <65 años 4.77% > 85 años 7.92%
Air Pollution and Hospitalization for Headache in Chile, Dales AJ Epid 2009	6.20-ppb en SO <sub>2</sub> 1.10 ( 1.04, 1.17)
Air Pollution and Hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile, Dales J Throm 2010	Para 5.85 p.p.b. de SO <sub>2</sub> 1.08 (1.03, 1.12)
Air Pollution and hospitalization for acute complications of diabetes in Chile, Dales Environ Int, 2012	(IQR=5.88) RR 1.14 (1.06, 1.22)

**CARGA DE ENFERMEDAD**

000015  
 ✓A

**Funciones de riesgo del SO<sub>2</sub> utilizadas para el cálculo de los AVISA**

Efecto, autor, año	Resultados
Asma, Pan G, Resp Med 2010	1.52(1.21-1.92)
Bajo peso de nacimiento, Dugandzic Env H 2006	RR: 1.36, (1.04 - 1.78)
Consultas por Depresión, Szyszkowicz 2007	1.5 (0.1% - 9.1%)
Malformaciones congénitas, Gilboa SM Am J epid 2005	OR = 2.16( 1.51- 3.09)
Atenciones de Urgencia Respiratoria, Tramuto, Env Health, 2011	OR= 1.068(1.014-1.126)

**Estimación de AVISA atribuible por enfermedades asociadas a la exposición a SO<sub>2</sub>**

Enfermedades	Total		IQR SO <sub>2</sub>	AVISA Atribuible
	AVISA(2007)	Función de riesgo		
ASMA	21168	1,52 (1,21-1,92)	69 g/m <sup>3</sup>	7242
Diabetes Mellitus	72230	1,14 (1,06-1,22)	5,88 ppb	8870
Migraña	34112	1,1 (1,04-1,17)	6,20 ppb	3101
Enfermedad Cerebrovascular	70811	1,08 (1,03-1,12)	5,85 ppb	5245
Bajo Peso Nacimiento	18354	1,36 (1,04 -1,78)	14 - 7 ppb	4858
Malf. Cong. Cardiaca	11270	2,16 (1,51-3,0)	2,7 -1,3 ppb	6052
Depresion	168929	1,045 (1,001-1,09)	1,9 ppb	7274

000116

**Carga global de Enfermedad atribuible a la exposición a SO<sub>2</sub>, estimación país**

Indicador	Valor observado, (año)	Valor Atribuido al SO <sub>2</sub>
AVISA	3.741.798 (2007)	42.644 (15.818- 65.467)
Asma	1.115.793 (2009)	381.719 (193.650 -534.651)
Mortalidad	94.985 (2011)	4.646 - 7715
Hospitalizaciones por Diabetes	20.372 (2011)	2.502(1.153-3.674)
Hospitalizaciones por Migraña	Por desarrollar	
Hospitalizaciones por Embolía Pulmonar	Por desarrollar	
Urgencias Respiratorias	202.402(2013)	12.887 (2.795 – 22649)

## Objetivo específico "c" 000117

- Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas

## Metodología

- Identificación de zonas industriales priorizadas
  - Zonas industriales
  - Estaciones de calidad del aire
- Recopilación y sistematización de la información
  - Elaboración de base de datos
  - Criterio del 75%
  - Orden en planillas Excel (.xlsx)

0000007  
VTA

## Metodología

- Estadística descriptiva -> datos medios horarios
  - n
  - Promedios
  - Mínimo
  - Máximos
  - Desviación estándar
  - Cuartiles
  - Deciles
  - Percentiles
- Ciclos medios -> datos medios horarios  
-> datos medios mensuales

## Metodología

- Tendencias -> datos medios mensuales
  - > Test Mann-Kendall
  - > Pendiente de Theil-Sen
- Correlaciones -> datos medios horarios
  - > correlación de Pearson



# Resultados

000118

- Mirada general a las zonas industriales
- Ejemplos: Copiapó, Puchuncaví, Talcahuano

## Resolución temporal de los datos

Zonas/Temporada	1 min	5 min	10 min	60 min
Tocopilla				2
Calama		2		
Mejillones				3
La Negra		3		
Copiapó - Paipote - T. Amarilla		6		
Huasco				10
Catemu- Llay-Llay		4		
Quintero - Puchuncaví	6			
Machalí - Coya		4		
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano			1	10

8.11008118

VTR

**Ciclo anual****Máximas concentraciones de SO<sub>2</sub> (número de estaciones)**

Zonas/Temporada	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Tocopilla	1	1		
Calama	SML		1 - SML	
Mejillones			3	
La Negra			1	2
Copiapó - Paipote - T. Amarilla		1	5	
Huasco		6 - Parcela 5	3	Parcela 5
Catemu- Llay-Llay	3		1	
Quintero - Puchuncaví		2	2	2
Machalí - Coya		3	1	
Coronel -Lota - Hualpén - Talcahuano	3	4	3	1

**Ciclo diario****Máximas concentraciones de SO<sub>2</sub> (número de estaciones)**

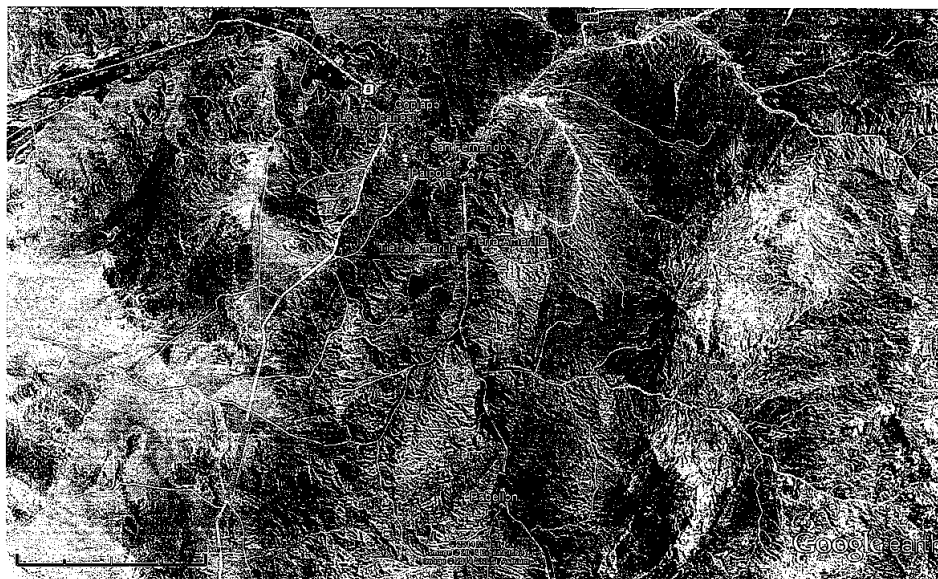
Zonas/Tiempo	Diurna	Nocturna
Tocopilla	2	
Calama	2	
Mejillones	3	
La Negra	3	
Copiapó - Paipote - T. Amarilla	6	
Huasco	10	
Catemu- Llay-Llay	3	1
Quintero - Puchuncaví	6	
Machalí - Coya	4	
Coronel -Lota - Hualpén - Talcahuano	10 - Urbana	Urbana

## Tendencia (número de estaciones)

Plano  
000119

Zonas/Tendencia	Ascenso	Descenso	Sin tendencia
Tocopilla	1		1
Calama			2
Mejillones	2		1
La Negra		1	2
Copiapó - Paipote - T. Amarilla	5		1
Huasco	6	1	3
Catemu- Llay-Llay	1	1	2
Quintero - Puchuncaví	6		
Machalí - Coya		4	
Coronel -Lota - Hualpén - Talcahuano		4	7

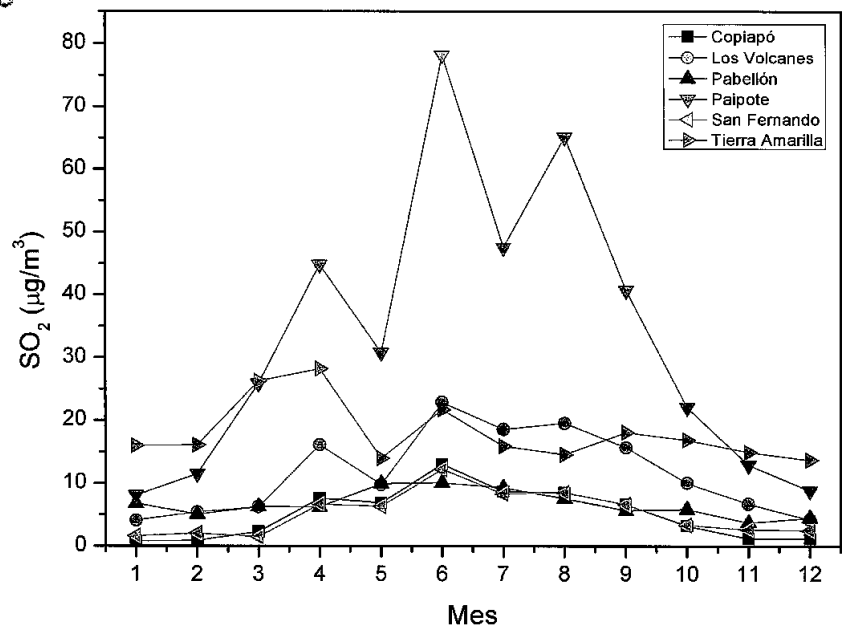
### Zona Industrial Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla



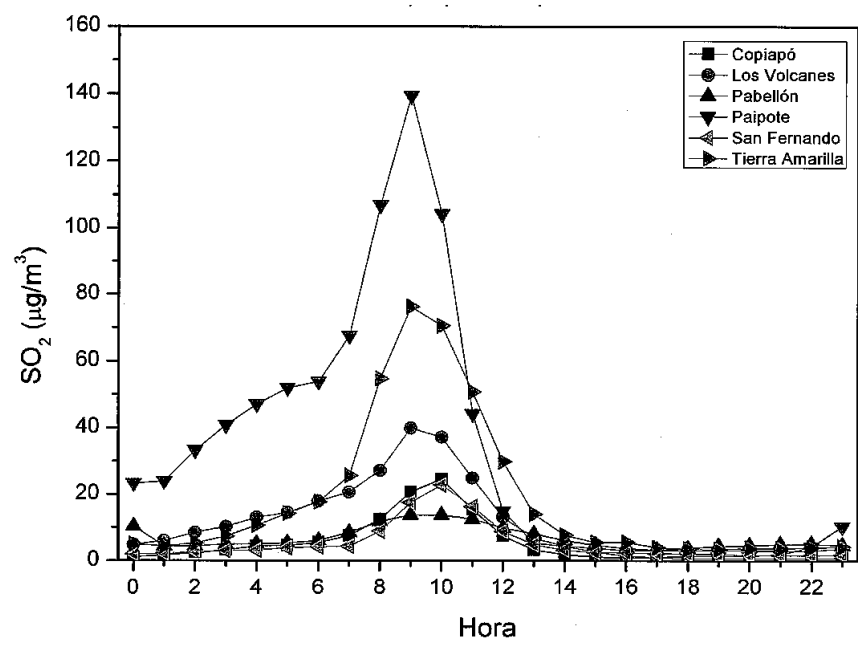
000119

VTA • Ciclo anual

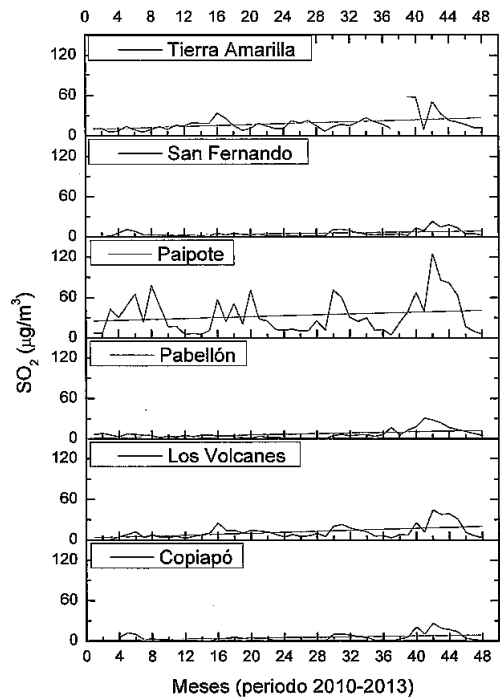
P.11000



• Ciclo diario



- Análisis de tendencias



- Análisis de tendencias

Estación	n	Pendiente ( $\mu\text{g}^*\text{m}^{-3}/\text{mes}$ )	IC 95% ( $\mu\text{g}^*\text{m}^{-3}/\text{mes}$ )	p	Año inicial	Año final
Copiapó	48	0,069	-0,006 a 0,190	~ 0,1	2010	2013
Los Volcanes	48	0,234	0,091 a 0,470	0,001	2010	2013
Pabellón	48	0,109	-0,003 a 0,231	~ 0,1	2010	2013
Paipote	48	0,168	-0,265 a 0,646		2010	2013
San Fernando	48	0,090	0,032 a 0,172	0,05	2010	2013
Tierra Amarilla	48	0,241	0,074 a 0,416	0,05	2010	2013

000120

VIA  
US\$1000

## • Análisis de correlaciones

2012						
	Copiapó	Los Volcanes	Pabellón	Paipote	San Fernando	Tierra Amarilla
Copiapó	1	0,76185	-7,49E-04	0,43812	0,63253	0,05306
Los Volcanes	0,76185	1	0,00605	0,39919	0,48363	0,13373
Pabellón	-7,49E-04	0,00605	1	-0,02145	0,01719	0,13188
Paipote	0,43812	0,39919	-0,02145	1	0,58562	0,08346
San Fernando	0,63253	0,48363	0,01719	0,58562	1	0,0551
Tierra Amarilla	0,05306	0,13373	0,13188	0,08346	0,0551	1
2013						
	Copiapó	Los Volcanes	Pabellón	Paipote	San Fernando	Tierra Amarilla
Copiapó	1	0,7919	0,00362	0,48206	0,54976	0,18715
Los Volcanes	0,7919	1	0,00402	0,47627	0,4652	0,15392
Pabellón	0,00362	0,00402	1	0,00447	0,00729	0,05829
Paipote	0,48206	0,47627	0,00447	1	0,50181	0,15407
San Fernando	0,54976	0,4652	0,00729	0,50181	1	0,16222
Tierra Amarilla	0,18715	0,15392	0,05829	0,15407	0,16222	1

## • Análisis estadístico

2012	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>Copiapó</i>	8685	3,9	20,7	0,0	0,0	0,0	0,7	584,67
<i>Los Volcanes</i>	8705	11,2	34,0	0,0	2,0	2,8	5,0	604,67
<i>Pabellón</i>	8579	3,3	10,7	0,0	0,0	0,0	1,0	175,67
<i>Paipote</i>	8621	25,6	113,9	0,0	0,0	0,0	0,3	3413,92
<i>San Fernando</i>	8657	4,8	22,3	0,0	0,9	1,0	1,4	713,67
<i>Tierra Amarilla</i>	8691	17,9	65,0	0,0	1,9	2,7	5,0	1634,75
2013	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
<i>Copiapó</i>	8624	10,1	42,4	0,0	0,0	0,0	0,8	881,58
<i>Los Volcanes</i>	8687	19,1	67,3	0,0	1,0	1,7	4,4	1504,25
<i>Pabellón</i>	8162	15,6	103,0	0,0	0,6	4,3	10,6	8386,28
<i>Paipote</i>	8699	46,6	176,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5597,58
<i>San Fernando</i>	8694	9,5	33,6	0,0	1,7	2,3	4,1	869,17
<i>Tierra Amarilla</i>	8003	27,4	93,5	0,0	0,5	1,0	7,4	2508,08

- Tablas de deciles

000121

2012	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>Copiapó</i>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,42	0,9	2,6	16,3	56,6	88,8
<i>Los Volcanes</i>	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,3	4,25	6,2	21,8	53,3	104,8	160,5
<i>Pabellón</i>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,42	2,2	9,4	22,0	36,3	50,0
<i>Paipote</i>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	1,9	48,2	149,3	327,3	498,4
<i>San Fernando</i>	0,75	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1	1,8	3,9	19,1	50,4	86,4
<i>Tierra Amarilla</i>	1	1,7	2,0	2,3	2,7	3,2	4,25	6,6	31,8	87,8	206,8	329,1

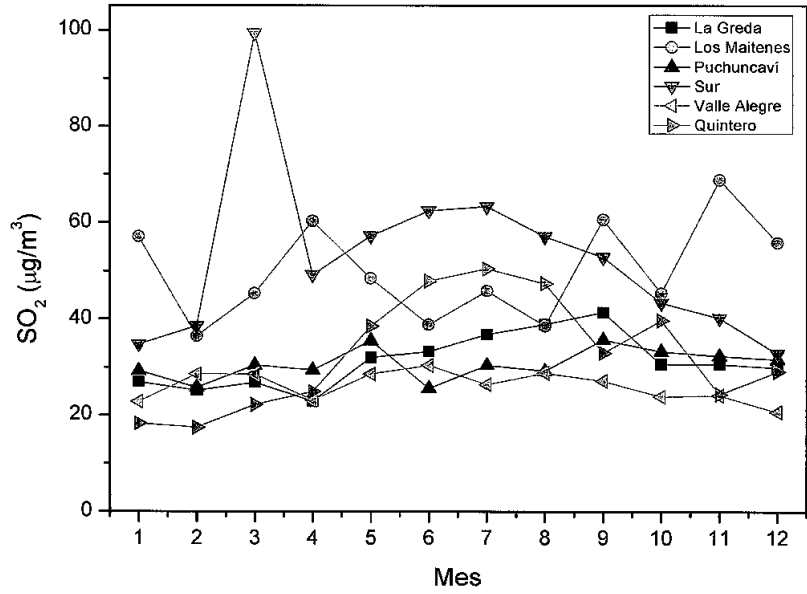
2013	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>Copiapó</i>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,42	1,4	18,4	58,5	126,8	205,8
<i>Los Volcanes</i>	0	0,8	1,1	1,3	1,7	2,3	3,33	6,8	44,3	104,8	207,1	316,9
<i>Pabellón</i>	0	0,1	1,6	3,0	4,3	5,8	8,67	13,7	29,4	55,9	118,3	196,7
<i>Paipote</i>	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	3,7	116,9	303,9	593,9	859,3
<i>San Fernando</i>	0,92	1,0	1,8	1,9	2,3	2,8	3,42	4,8	15,0	38,7	97,0	157,5
<i>Tierra Amarilla</i>	0,25	0,4	0,6	0,8	1,0	1,7	5,25	13,6	67,2	162,8	315,4	447,9

## Zona Industrial Quintero-Puchuncaví

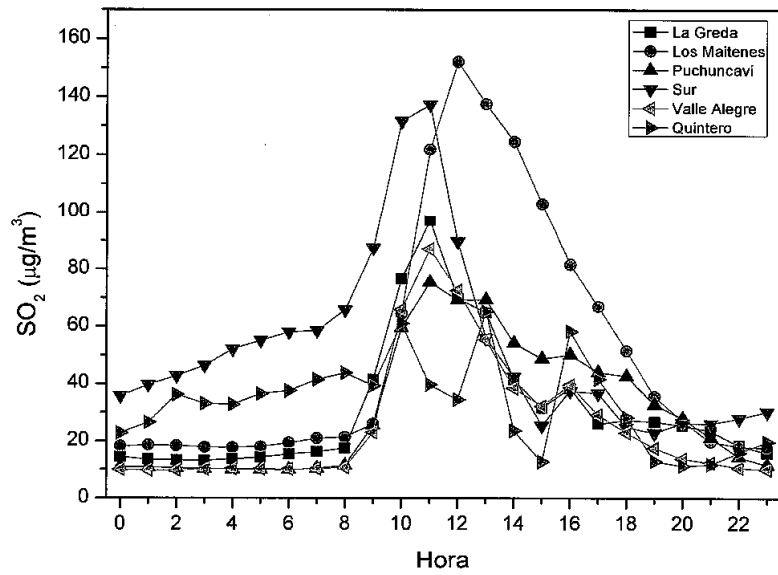


000121

# 194000 Ciclo anual



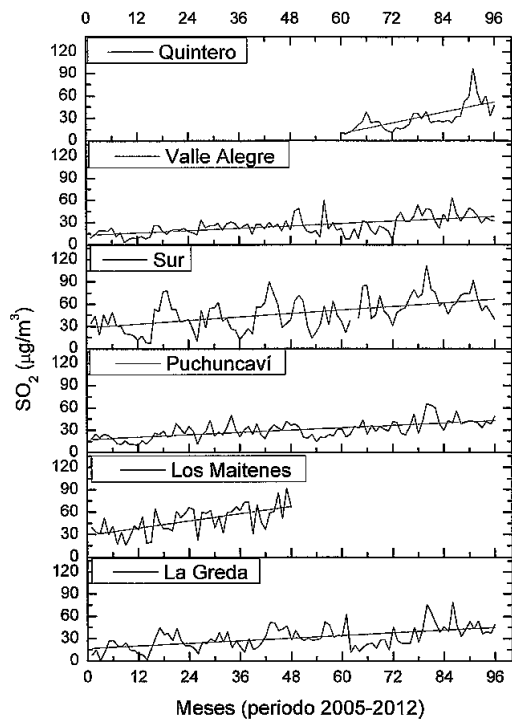
## • Ciclo diario





• Análisis de tendencias

000122



• Análisis de tendencias

Estación	n	Pendiente (µg*m-3/mes)	IC 95% (µg*m-3/mes)	p	Año inicial	Año final
La Greda	96	0,280	0,182 a 0,373	0,001	2005	2012
Los Maitenes	48	0,824	0,474 a 1,150	0,001	2005	2008
Puchuncaví	96	0,252	0,192 a 0,316	0,001	2005	2012
Sur	96	0,389	0,271 a 0,534	0,001	2005	2012
Valle Alegre	96	0,255	0,186 a 0,323	0,001	2005	2012
Quintero	37	0,956	0,671 a 1,365	0,001	2010	2012

000122  
 55/000

## Análisis de correlaciones

2011					
	La Greda	Puchuncaví	Sur	Valle Alegre	Quintero
La Greda	1	0,00133	0,0043	3,08E-04	0,00806
Puchuncaví	0,00133	1	0,00435	-0,0036	0,0035
Sur	0,0043	0,00435	1	0,00377	0,02801
Valle Alegre	3,08E-04	-0,0036	0,00377	1	0,01657
Quintero	0,00806	0,0035	0,02801	0,01657	1
2012					
	La Greda	Puchuncaví	Sur	Valle Alegre	Quintero
La Greda	1	-0,00251	-0,0027	-0,0014	-0,00978
Puchuncaví	-0,00251	1	-0,00155	-0,00387	-0,00874
Sur	-0,0027	-0,00155	1	0,00469	-0,00388
Valle Alegre	-0,0014	-0,00387	0,00469	1	-0,00425
Quintero	-0,00978	-0,00874	-0,00388	-0,00425	1

- Análisis estadístico

2011	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
La Greda	6517	40,6	365,8	0,1	1,8	3,4	7,9	9736,2
<i>Los Maitenes</i>								
Puchuncaví	6516	42,1	351,2	3,6	5,5	7,9	15,5	9589,7
Sur	6486	68,7	413,3	4,0	10,2	14,4	28,1	9796,7
Valle Alegre	6520	37,9	345,6	3,1	5,0	6,9	10,8	9409,7
Quintero	6498	26,3	83,2	0,0	7,9	12,7	20,6	1764,6

2012	n	Media	Desv. estándar	Mínimo	Cuartil 25%	Cuartil 50%	Cuartil 75%	Máximo
La Greda	7681	45,1	355,0	0,3	4,5	6,7	11,2	8800,2
<i>Los Maitenes</i>								
Puchuncaví	7708	42,2	308,8	3,9	8,1	9,2	13,8	6428,0
Sur	7642	61,4	395,1	0,7	5,2	12,5	25,2	8557,1
Valle Alegre	7663	38,7	324,4	3,1	6,6	8,2	9,6	7517,6
Quintero	7647	50,0	296,7	0,0	4,7	10,5	21,4	8059,5

• Tablas de deciles

000123

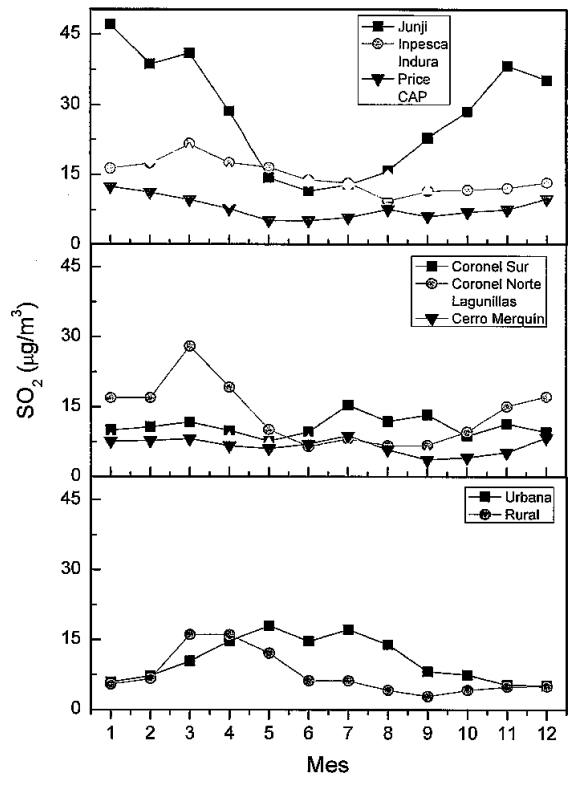
2011	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>La Greda</i>	0,7	1,5	2,2	2,7	3,4	4,1	5,8	11,3	28,9	62,5	148,3	292,5
<i>Los Maitenes</i>												
<i>Puchuncaví</i>	4,8	5,2	5,8	7,0	7,9	8,8	12,1	20,7	46,8	78,6	119,5	173,3
<i>Sur</i>	7,7	9,8	10,8	12,6	14,4	17,5	23,1	36,1	79,6	161,6	320,8	747,2
<i>Valle Alegre</i>	4,3	4,7	5,2	5,8	6,9	8,2	9,1	12,9	24,0	46,3	89,0	174,0
<i>Quintero</i>	3,9	6,7	9,0	10,8	12,7	15,7	19,2	22,4	41,1	73,0	140,5	267,2

2012	P10	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P95	P98	P99
<i>La Greda</i>	3,7	4,3	4,8	5,6	6,7	7,9	9,5	14,1	31,5	64,2	177,1	592,0
<i>Los Maitenes</i>												
<i>Puchuncaví</i>	7,0	7,8	8,4	8,8	9,2	9,9	11,8	16,8	40,6	72,0	118,8	186,8
<i>Sur</i>	1,9	3,7	6,3	9,8	12,5	15,6	20,3	32,8	68,0	131,3	252,8	512,3
<i>Valle Alegre</i>	4,4	5,4	7,1	7,9	8,2	8,4	8,8	11,7	21,7	41,1	85,5	193,2
<i>Quintero</i>	0,4	3,9	5,7	7,7	10,5	13,5	18,9	25,5	65,1	149,2	349,7	677,8

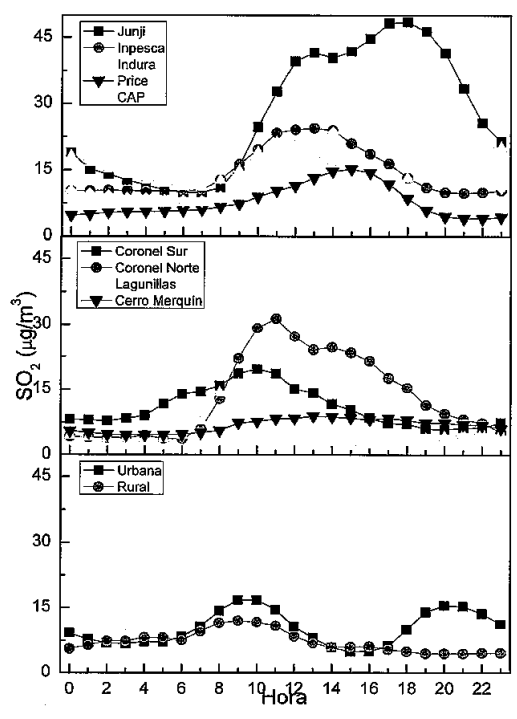
**Zona Industrial Coronel-Lota-Hualpén-Talcahuano**



000123  
 VTA  
 ES1000 • Ciclo anual

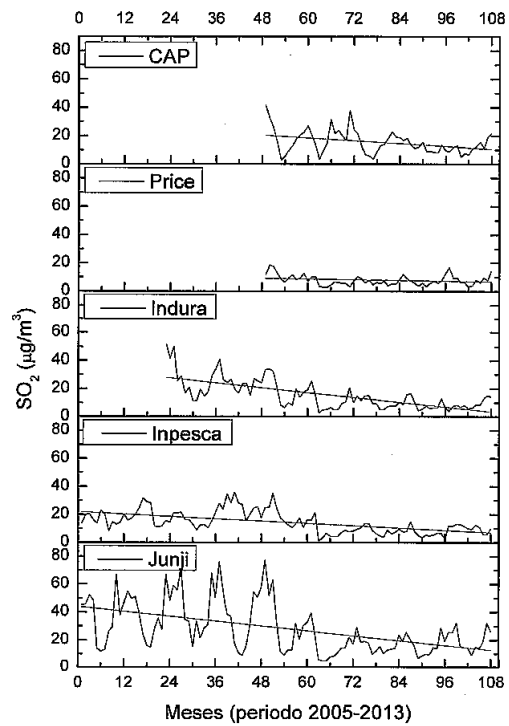
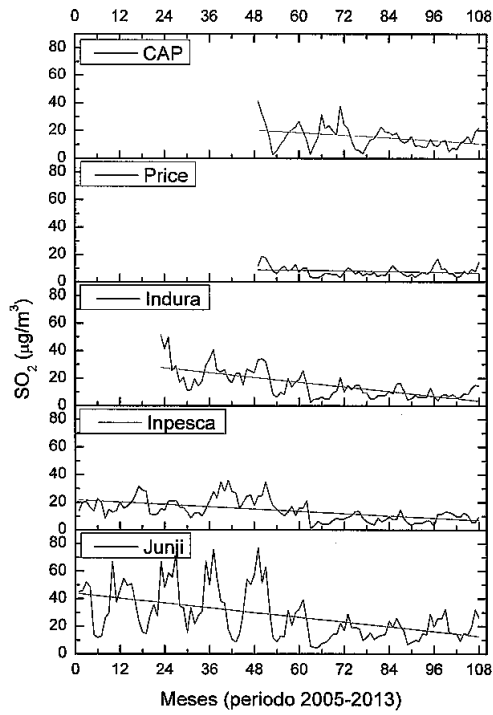


• Ciclo diario

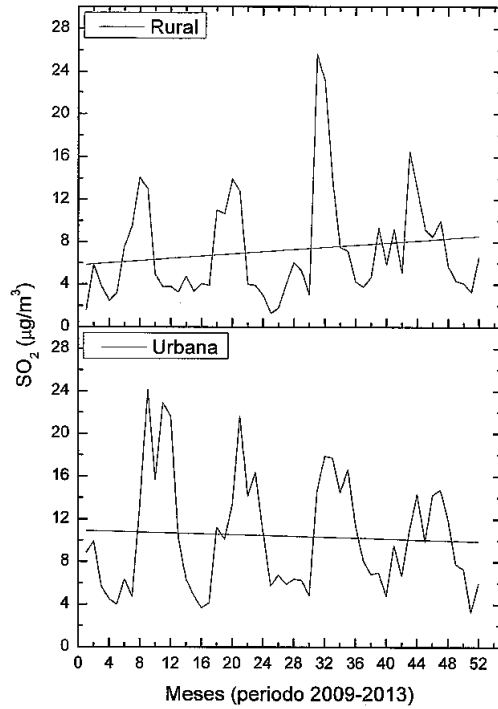


• Análisis de tendencias

000124



000124  
VTA



## Siguiente Informe

- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo, se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.

# Propuesta Escenarios Regulatorios

000125

1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
---	---

500	125
-----	-----

350	50
-----	----

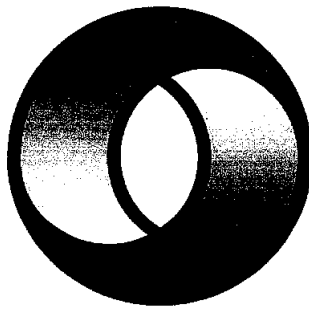
197	20
-----	----

**Anual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )**

Mantener 80

66

Dejar sin efecto estándar anual



**cenma**  
Centro Nacional del Medio Ambiente

MM14946.



000126



SUBSECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA  
DIVISIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS SALUDABLES Y PROMOCIÓN  
DEPARTAMENTO DE SALUD AMBIENTAL



ORD.: N° B32/ 2438 /

ANT.: Su oficio N° 142489, del 2 de julio de 2014.

MAT.: Informa sobre nominación de representante ante el Comité Operativo para la revisión de la norma de SO<sub>2</sub>

SANTIAGO, - 6 AGO. 2014

DE: SUBSECRETARIO DE SALUD PÚBLICA

A: SUBSECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

En relación a su oficio citado en antecedente, me permito informar a usted, que este Ministerio de Salud, ha nominado al Sr. Walter Folch como representante, ante el Comité Operativo que se abocará a la revisión de la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Dióxido de Azufre.

Aprovecho la ocasión para manifestar el más alto interés, por parte de esta Secretaría de Estado, de que en la revisión de la aludida norma se considere complementar la norma anual y diaria actualmente vigentes, con una norma primaria que considere los valores máximos para concentraciones promedio de una hora, toda vez que, el contaminante en comento produce efectos importantes en la salud de la población general y en particular en aquella más vulnerable, y que dados los valores aceptados hasta hoy por la norma anual y diaria, no son capaces de capturar el impacto generado ante eventos de contaminación aguda por anhídrido sulfuroso.

Saluda atentamente a usted,



*Jaime Burrows*  
DR. JAIME BURROWS OYARZÚN  
SUBSECRETARIO DE SALUD PÚBLICA

DISTRIBUCIÓN

- Subsecretario del Medio Ambiente
- Subsecretaría de Salud Pública
- División de Políticas Públicas Saludables y Promoción
- Departamento de Salud Ambiental
- Of. de Partes





MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

DECRETO ALCALDICIO N° 3437

QUINTERO, 26 ABO. 2014

000127

#### VISTOS

*La Constitución Política de la República de Chile en su artículo N°19, inciso N°8, que menciona el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.*

#### CONSIDERANDO:

- 1. Que la Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que la exposición a SO<sub>2</sub> puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas. En el caso de los efectos agudos, se ha reportado un amplio rango de efectos sobre la población asmática, la que probablemente constituye la población más sensible.*
- 2. Que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) reporta que la exposición a dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias, particularmente en individuos con enfermedades respiratorias preexistentes, tales como asma.*
- 3. Que la contaminación atmosférica se asocia a efectos nocivos en la salud humana que van desde efectos fisiopatológicos, aumentos de síntomas respiratorios, consultas diarias y hospitalizaciones a aumento de la mortalidad<sup>1</sup> y que la aparición de efectos sobre la salud de las personas debido a la contaminación atmosférica es una función compleja de variables dependientes de las características del huésped (susceptibilidad), de las características del medio y la interacción entre ellos que determina la exposición.*
- 4. Los efectos de la exposición a dióxido de azufre, aparecen a los pocos minutos de ocurrida la exposición e incluyen reducción del volumen espiratorio forzado en*

<sup>1</sup> Vega J. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana. Evidencias de estudios recientes. Abril 2000. CONAMA. Expediente público rol NOR 01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad del aire para anhídrido sulfuroso, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno.

000127  
VTA  
080151



LA MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

el primer segundo (VEF<sub>1</sub>), aumento de la resistencia de la vía aérea específica, y la aparición de síntomas como son disnea y sibilancias<sup>2</sup>.

5. *Que las normas primarias de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población y que el D.S 113/2002 de la SEGPRES tiene por objetivo la protección de la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire comprendiendo por lo cual existe norma diaria (24 hrs.) y norma anual (tres años).*
6. *Que la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> no regula los niveles de concentración horaria pero que en el Artículo 5° del D.S 113/2002 de la SEGPRES, se establece los niveles que originarán de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración 1 hora de acuerdo a los siguientes niveles*  
Nivel 1 : 1.962 - 2.615 µg/m<sup>3</sup>N  
Nivel 2 : 2.616 - 3.923 µg/m<sup>3</sup>N  
Nivel 3 : 3.924 µg/m<sup>3</sup>N ó superior.
7. *Que de acuerdo al informe de calidad del aire periodo 2012 de la SEREMI de Salud Región de Valparaíso, la comuna de Quintero registra condición de Latencia para la norma diaria en la estación Centro Quintero con 229 µg/m<sup>3</sup>N como concentración diaria.*
8. *Que el artículo 6° de la Ley N° 19.880 Establece Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, Modifica el artículo 25 del decreto con fuerza de ley N° 1, de 2006, del Ministerio del Interior, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N° 18.695, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, en los siguientes términos:*  
"d) *Proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados con medio ambiente;*  
e) *Aplicar las normas ambientales a ejecutarse en la comuna que sean de su competencia,*
9. *Que la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional del Ministerio del interior, establece en su artículo N° 4, letra b), que "Las municipalidades, en el ámbito de su territorio, podrán desarrollar, directamente o con otros órganos de la*

<sup>2</sup> CONAMA. Expediente público rol NOR 01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad del aire para anhídrido sulfuroso, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno.



L. MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

*Administración del Estado, funciones relacionadas con: La salud pública y la protección del medio ambiente;*

10. *Que la definición de los niveles de Alerta Ambiental permite establecer recomendaciones a la población de la zona de Quintero inserta en los límites geográficos definidos en el Plan de Descontaminación Ventanas fijado mediante D.S 252/92 del Ministerio de Minería, en base a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.*
11. *Que de acuerdo a los criterios indicados en el artículo anterior y que se encuentran señalados en el Protocolo de Alerta de la SEREMI de Salud en su página institucional.*

**DECRETO:**

**DEFÍNASE** el rango cualitativo de calidad del aire, que define cuatro estados de calidad del aire para SO<sub>2</sub> como Buena, moderada, Alto, Muy Alto, para efectos de establecer protocolos preventivos de protección de Salud de la población vulnerable de la comuna de Quintero.

**APRUÉBESE** en todas sus partes el protocolo sobre Medio Ambiente que regirá los Establecimientos Educativos Municipales de la Comuna de Quintero y Jardines Infantiles administrados por la Entidad Edilicia, estableciendo los siguientes criterios para 15 minutos:

- a) **Buena ó Nivel Bajo (rango cuantitativo entre 0- 265 µg/m<sup>3</sup>N):** Las concentraciones de SO<sub>2</sub> se encuentran dentro de rangos normales por lo que no existen restricciones de actividad física para ningún grupo de la población.
- b) **Moderado ó Nivel Moderado (rango cuantitativo entre 266-531 µg/m<sup>3</sup>N):** Establece niveles de concentración de cuidado para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se recomendará reducir la actividad física extenuante al aire libre.
- c) **Nivel Alto (rango cuantitativo entre 532-1.063 µg/m<sup>3</sup>N):** Establece niveles de concentración de crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Se deberá reducir el esfuerzo físico y la actividad física al aire libre. La población no

000128

VTA

851000



I. MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

*vulnerable que experimente molestias asociadas a ardor ocular, tos o dolor de garganta, debe considerar la reducción de esfuerzo físico al aire libre y asistir al centro asistencial.*

- d) **Nivel Muy Alto (rango cuantitativo entre 1.064  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ó más)**  
*Establece niveles de concentración de muy crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Toda la población debe evitar realizar actividad física al aire libre, en especial si presenta molestias como ardor ocular, tos o dolor de garganta. y asistir al centro asistencial.*

*Se sugiere el cierre de puertas y ventanas hasta que mejoren las condiciones de ventilación local.*

**DISTRIBÚYASE** el presente decreto alcaldicio en los Establecimientos Educativos y Jardines Infantiles con administración municipal y en cada una de las Unidades Municipales.

*Anótese, registrese, cúmplase y archívese.*



YESMINA GUERRA SANTIBAÑEZ  
SECRETARIA MUNICIPAL



ALCALDIA VICARIO CARRASCO PARDO  
ALCALDE

**DISTRIBUCIÓN:**

- 1.- Alcaldía
- 2.- Secretaria Municipal
- 3.- DAEM
- 4.- Administración (2)

MCP/YGS/RC/Chmg



000129

OF.ORD. MMA N° **143443** /

ANT.: No hay

MAT.: Reactiva proceso de revisión de normas de calidad y solicita representante para Comité Operativo.

SANTIAGO, 08 SET. 2014

DE: **SEBASTIÁN TOLVETT CARO**  
**JEFE DIVISIÓN DE CALIDAD DEL AIRE**  
**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**

A: **SERGIO HERNÁNDEZ NÚÑEZ**  
**VICEPRESIDENTE EJECUTIVO**  
**COMISIÓN CHILENA DEL COBRE**

A través de la presente, informo a Ud. que, entre los procesos de elaboración de normas de calidad ambiental a cargo de este Ministerio, se encuentra pendiente el proceso de revisión de las normas primarias de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), y monóxido de carbono (CO).

El inicio oficial del proceso mencionado comenzó el día 22 de marzo del 2010, mediante la dictación de la Resolución Exenta N° 35 del 18 de enero de 2010, que dio inicio al proceso mencionado. A su vez creó el Comité Operativo respectivo, integrado por representantes de los ministerios de Salud, Agricultura, Energía, Economía, Transportes y Telecomunicaciones, Vivienda y Urbanismo, Obras Públicas, de Minería.

Se ha considerado necesario priorizar, dentro del proceso de revisión mencionado, la elaboración del anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub>, para lo cual se está desarrollando el estudio: "Análisis de antecedentes y evaluación técnica-económica para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre", que ejecuta CENMA.

Para lo anterior, se ha reactivado el Comité Operativo, por lo que solicito a usted proponer a un representante de su repartición, preferentemente que haya participado en la elaboración de la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, para colaborar como contraparte técnica del citado estudio; indicando la siguiente información: nombre completo, unidad a la que pertenece, número de teléfono y correo electrónico con el fin de asegurar un contacto expedito.

Desde ya extendiendo la invitación a su representante para realizar una presentación sobre el "Programa de Inversión de las Fundiciones de Cobre en Chile", en el próximo Comité Operativo, que se realizará el día **jueves 25 de septiembre del presente de 11:00 a 13:00 horas**, en el piso 3, de la División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente, San Martín 73, Santiago.

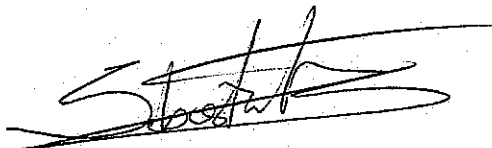
000129

VTA




Ante cualquier consulta, por favor contactarse con la Sra. Priscilla Ulloa, cuyo correo electrónico es: [pulloa@mma.gob.cl](mailto:pulloa@mma.gob.cl), fono 25735787 o con el Sr. Cristián Ibarra F. cuyo correo es: [cibarra@mma.gob.cl](mailto:cibarra@mma.gob.cl), fono 25735831.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

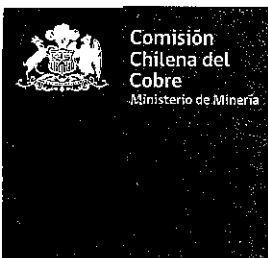


**SEBASTIÁN TOLVETT CARO**  
Jefe División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente

  
PUM/CIF/gqs

C.c.:

- Archivo División de Calidad del Aire
- Archivo Oficina de Partes



000130



V.P.E. N° 265,

OFICIO N° 281

D.E.G.E. N° 402/12

ANT.: Oficio Ordinario MMA N° 143443, de fecha 8 de septiembre de 2014.

MAT.: Designa contraparte que actuarán en representación de la Comisión Chilena del Cobre.

SANTIAGO, 15 SEP 2014

A : SR. SEBASTIÁN TOLVETT CARO  
JEFE DIVISIÓN DE CALIDAD DEL AIRE MINERÍA  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

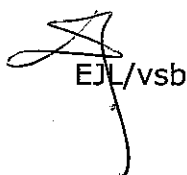
DE : VICEPRESIDENTE EJECUTIVO TyP  
COMISIÓN CHILENA DEL COBRE

Conforme lo solicitado en oficio citado en el antecedente, tengo el agrado de informar a usted, la designación del Sr. Pedro Santic Contreras, profesional de la Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica de Cochilco, teléfono 223828268, correo electrónico: [psantic@cochilco.cl](mailto:psantic@cochilco.cl) como titular, para representar a esta Institución en el Comité Operativo de la revisión de las normas primarias de calidad del aire para SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>2</sub>.

Asimismo como representante suplente para este Comité, se ha designado a la Sra. Camila Montes Prunes, ingeniero civil de la Dirección de Estudios de esta Institución, teléfono 223828278, correo electrónico: [cmontes@cochilco.cl](mailto:cmontes@cochilco.cl).

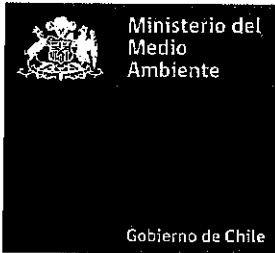
Le saluda atentamente a usted,

  
**SERGIO HERNÁNDEZ NUÑEZ**  
Vicepresidente Ejecutivo (TyP)

  
EJL/vsb

100000





000131

Carta MMA N° 142557 /

Santiago, 08 JUL. 2014

**Sr.  
Carlos Mancilla  
Jefe Proyecto  
Centro Nacional del Medio Ambiente  
Presente**

Junto con saludarlo, a través de la presente se da respuesta a su consulta sobre la evaluación económica de la norma primaria de calidad del aire dióxido de azufre. Adicionalmente, se indica un resumen de la información entregada a usted al 1° de julio del presente; y que da cuenta del avance del estudio: "Análisis de antecedentes y evaluación técnica- económica para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)":

1. Respecto a la consulta sobre la evaluación económica:

El objetivo de revisar la norma se justifica, por una parte, en evaluar la oportunidad de establecer un estándar horario, que proteja la salud de las personas con el fin de reducir la exposición a eventos de corta duración de SO<sub>2</sub>. Y por otra parte, revisar los estándares que se establecen para exposiciones de SO<sub>2</sub> de 24 horas y anual.

Para evaluar los costos y beneficios de cada escenario regulatorio se prevé a priori, las siguientes situaciones:

– *La evaluación de los escenarios en zonas industriales* tendría costos marginales, en aquellas áreas donde se localiza una fundición de cobre y/o una termoeléctrica, debido a que los costos de reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub>, están contemplados, cuando entren en plena aplicación, en la norma de emisión para centrales termoeléctricas, D.S. N°13 del 2011; y en la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, D.S. N° 28 del 2013, ambas del Ministerio del Medio Ambiente.

000131

VTA

000131

VTA

Las zonas industriales corresponden a las siguientes: Tocopilla, Huasco, Calama, La Negra, Mejillones, Copiapó – Paipote, Salvador- Potrerillos, Quintero – Puchuncaví, Catemu - Llay Llay, Coya, Coronel – Talcahuano.

Cabe destacar que en todas estas zonas existe información sobre monitoreo de calidad del aire de SO<sub>2</sub>. Se observa que en casi todas las estaciones se cumple el estándar anual, excepto en la estación Santa Margarita, que se localiza en la zona de Catemú (donde está la fundición Chagres). Se observa que el estándar de 24 horas, se cumple en la mayor parte de las zonas industriales, exceptuando Ventanas y Paipote, lugar donde se registra latencia en la estación centro Quintero y en la estación de Paipote (latencia). En estas áreas, además, se han registrado episodios de corta duración afectando la salud de la población de niños y adultos, debido a elevadas concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>.

Sostenemos a priori que para sustentar una decisión de política ambiental y de salud pública, respecto a los escenarios regulatorios, los beneficios en salud, deberían ser presentados por comuna, considerando el número de casos evitados, desagregados en lo posible en niños, adultos y adultos mayores.

- *La evaluación de la aplicación de la norma en centros urbanos, que poseen un importante parque vehicular, con combustibles (petróleo diésel y gasolina) con un contenido de azufre menor a 15 ppm, explica fuertemente el orden de magnitud de las concentraciones medidas de SO<sub>2</sub>, muy por debajo de los estándares establecidos. Por ejemplo, la concentración de 24 horas de SO<sub>2</sub>, en la Región Metropolitana, esta entorno a los 8 ppb (20 µg/m<sup>3</sup>N) desde el año 2009 al 2012.*

Expuesto lo anterior, se espera que el estudio de cuenta de lo que se indica en los términos de referencia; y en este caso, no se considerará la Guía de evaluación económica del Ministerio del Medio Ambiente.

Por otra parte, se adjuntan los siguientes cinco estudios en un CD, que se consideran útiles insumos para la evaluación económica:

- CONAMA (2000), "Análisis General del Impacto Económico y Social de las Normas de Calidad Primaria de Aire de Partículas Totales en Suspensión (PTS), Ozono (O3), Anhídrido Sulfuroso (SO2), Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Nitrógeno (NO2)"
- KAS y GEOAIRE (2009), "Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas"
- DICTUC (2009), "Antecedentes para el Análisis General de Impacto Económico y Social del Anteproyecto de la Norma de Calidad Primaria para PM 2,5 (AGIES)"
- COPRIM (2012), "Evaluación de Costos de Escenarios Regulatorios para una Norma de Emisión de Fundiciones de Cobre"
- Ministerio de Medio Ambiente, "Análisis General de Impacto Económico y Social de la Norma de Emisión del Anteproyecto Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico"

## 2. Sobre información entregada a la fecha:

A través de la plataforma electrónica DROPBOX, se ha entregado y recibido por usted, las siguientes bases de datos de concentración de SO<sub>2</sub> y de meteorología:

- Estaciones de la Fundación Ventanas: La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Valle Alegre, Ventanas, Sur y Quintero, Región de Valparaíso
- Estaciones de la Fundación Chagres: Lo Campo, Santa Margarita, Romeral y Catemú, Región de Valparaíso.
- Estaciones de la Fundación Caletones: Coya Club, Coya Población, Cauquenes y Cipreses, Región del Libertador Bernardo O'Higgins
- Estaciones de la Fundación Paipote o HVL: Copiapó, Los Volcanes, Pabellón, Paipote, Principal, San Fernando, Tierra Amarilla, Región de Atacama.



000132

VTA .

- Estaciones de la Red MACAM de la Región Metropolitana
- Estaciones de Huasco: SM1, SM2, SM3, SM4, SM5, SM6, SM7, SM8, SM9, SM10, Región de Atacama.
- Estación de Talcahuano: Nueva Libertad, Región del Bío Bío
- Estaciones de Coronel: Coronel Sur, Coronel, Norte y Cerro Merquín, Región del Bío Bío
- Estaciones de Calama: Hospital del Cobre y Servicio Médico Legal.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

**SEBASTIÁN TOLVETT CARO**  
Jefe División de Calidad del Aire  
Ministerio del Medio Ambiente

CCF/PUM/gqs  
Adj.:  
- CD con estudios

C.c.:  
- Archivo División Calidad del Aire  
- Archivo Oficina de Partes



M7 142 16527

OF. ORD. N° 606 / 000133

**ANT.:** 1.- OF.ORD.MMA N° 142489, de fecha 2 de julio de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente.  
2.- Oficio N° 264, de 13 de agosto de 2014, de la Comisión Chilena del Cobre.



**MAT.:** Remite información que indica.

SANTIAGO, 08 SET. 2014

**DE :** SUBSECRETARIO DE MINERÍA  
**A :** MARCELO MENA CARRASCO  
SUBSECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

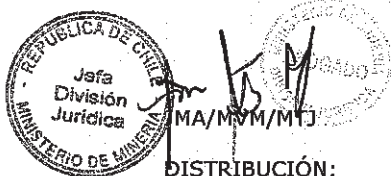
Acusamos recibo de su Oficio indicado en el N° 1 del ANT., mediante el cual informa que vuestro servicio ha resuelto priorizar la revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO2 y, en este contexto, solicita la designación de un representante de esta Secretaría de Estado, para que forme parte del Comité Operativo de la norma citada.

Conforme a lo anterior, se informa a usted que se designa, para estos efectos, a doña Camila Montes Prunés, correo electrónico [cmontes@cochilco.cl](mailto:cmontes@cochilco.cl), teléfono 223828278 y como alterna, a doña María de la Luz Vásquez, correo electrónico [mvasquez@minmineria.cl](mailto:mvasquez@minmineria.cl), teléfono 224733049.

Le saluda atentamente,



**IGNACIO MORENO FERNÁNDEZ**  
Subsecretario de Minería



**DISTRIBUCIÓN:**  
- Destinatario.  
- Gabinete Subsecretaría de Minería.  
- División Jurídica.

ST N° 16.847

000134



0463

ORD N° \_\_\_\_\_

ANT. : Ord. N° 142489 de fecha 02/07/2014 Ministerio de Medio Ambiente.

MAT. : Designa representante para el Comité Operativo de Revisión de Normas de Calidad Ambiental.

SANTIAGO, 10 SET. 2014

DE : PAULINA SABALL ASTABURUAGA  
MINISTRA DE VIVIENDA Y URBANISMO

A : PABLO BEDENIER MARTÍNEZ  
MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE

Junto con saludar, y en respuesta a su oficio del Antecedente, a través del cual solicita se designe un representante para el Comité Operativo de Revisión de Normas de Calidad Ambiental, informo a Ud. que el Sr. Juan Pablo Yumha Estay (teléfono: 2- 2901 11 04 y correo electrónico [jumha@minvu.cl](mailto:jumha@minvu.cl)), Secretario Ejecutivo Construcción Sustentable de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, será quien cumpla este rol en representación de esta cartera de Estado.

Saluda atentamente a Usted,

*ca s-der*

**PAULINA SABALL ASTABURUAGA**  
MINISTRA DE VIVIENDA Y URBANISMO

- Gabinete Ministra de Vivienda y Urbanismo
- Gabinete Subsecretario de Vivienda y Urbanismo
- Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable - Ditec
- Unidad de Coordinación, Control de Gestión y Análisis
- Archivo
- Of. de Partes

000135

OF.ORD. N° 143628 /

ANT.: No hay

MAT.: Solicita nominar representante para integrar Comité Operativo de los procesos de normas que se indican.

SANTIAGO, 24 SEP 2014

DE: MARCELO MENA CARRASCO  
MINISTRO (S) DEL MEDIO AMBIENTE

A: CRISTIAN FRANZ THORUD  
SUPERINTENDENTE DEL MEDIO AMBIENTE

De acuerdo a lo establecido en el artículo 7° del D.S. N° 38 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, el Ministro del Medio Ambiente creará y presidirá un Comité Operativo, que intervenga en la dictación de una determinada norma, el cual estará constituido por representantes de los ministerios, servicios y demás organismos competentes.

Por lo anterior, solicito a usted evaluar la pertinencia que su repartición, nomine a uno o más representantes para los Comités Operativos de los procesos de dictación y revisión de las siguientes normas:

- **Revisión de la Norma de calidad primaria para material particulado respirable (MP10)**, D.S. N°20 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, según Resolución N° 850 del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial el día 6 de septiembre de 2014.
- **Revisión de la Norma de calidad primaria para dióxido de azufre (SO2)**, D.S. N°113 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica, según Resolución N°035, publicada en el Diario Oficial el día 19 de marzo de 2010. Siendo ampliado el plazo de preparación del anteproyecto hasta el 31 de diciembre de 2014 en las Res. Ex. N°016 del 19 de octubre de 2010, Res. Ex. N°1696 del 30 de diciembre de 2011, Res. Ex. N°1090 del 27 de diciembre de 2012 y Res. Ex. N°1109 del 27 de diciembre de 2013.
- **Dictación de la Norma de emisión para calderas y procesos de combustión**, Resolución N°240 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial el día 22 de abril de 2013.

Agradeceré a usted enviar su respuesta formal a la presente solicitud; y en forma paralela enviar respuesta electrónica a Carmen Gloria Contreras, Jefa del Departamento de Normas de la División de Calidad del Aire y Cambio Climático, correo [cgcontreras@mma.gob.cl](mailto:cgcontreras@mma.gob.cl).

Agradeciendo su respuesta, saluda atentamente a usted,



*[Handwritten signature]*  
RM/CCCF/PUM/IMA/GIF/gqs

C.c.:

- Archivo Gabinete Ministro
- Archivo División de Calidad del Aire
- Archivo Oficina de Partes





**"Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>"**

FECHA: Jueves 25 de septiembre de 2014 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	Suomara Gómez Eguilera	SEREMI M.A VELLO	Suomara.gomez@mma.gob.cl	322517261	
2	PEYKO SANCHEZ CONTINENS	COCHILCO	P.SANCHEZ@COCHILCO	223828268	
3	Juana Moreno Aranda	MMA	juana@mma.gob.cl		
4	Jenny Tapia Flores	SEREMI M.A ANTOF	jtapia2@mna.bobd		
5	Candace Gómez A	Him. Emerje	cgomez@minimujer.cl	23656876	
6	Carmen G. Contreras F	MMA	cgcontreras@mna.gob.cl		
7	Priscilla Welbe M.	MMA	pulbea@mna.gob.cl		
8	Cristián Ibarra F.	MMA	cibarra@mna.gob.cl		
9	Nicolás Tricelli S.	MMA	NTricelli@mna.gob.cl		
10	FRANCISCO DONOSO G.	MMA	FRANOSOG@mna.gob.cl	25735880	
11	Conrado Rarand	MMA	crarand@mna.gob.cl	225735624	
12	Pablo Salgado P.	MTT	psalgado@mtt.gob.cl	24213413	
13	Tania Bizarro	MMA	tbizarro@mna.gob.cl		
14	Paola Arellano	HINOCIN	paolaarellano@hinocin.cl	24733578	
15					
16					
17					

000137

## Reunión Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

Objetivo:

**Conocer el efecto en la reducción de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) debido a la implementación de la norma de emisión para fundiciones de cobre.**

25 de septiembre, 2014

## Reunión Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

Temas:

**Efectos esperados en la reducción de SO<sub>2</sub> de la norma de emisión para fundiciones de cobre D.S. N° 28 de 2013 y resultados de la evaluación social económica**

Carmen Gloria Contreras, Departamento de Normas MMA

**Ejemplo: Comportamiento de las emisiones desde plantas de ácido declarado por las fundiciones**

Priscilla Ulloa, Departamento de Normas MMA

**Plan de Inversión que realizarán las fundiciones para cumplir con la norma**

Pedro Santic, Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica COCHILCO

25 de septiembre, 2014

000137

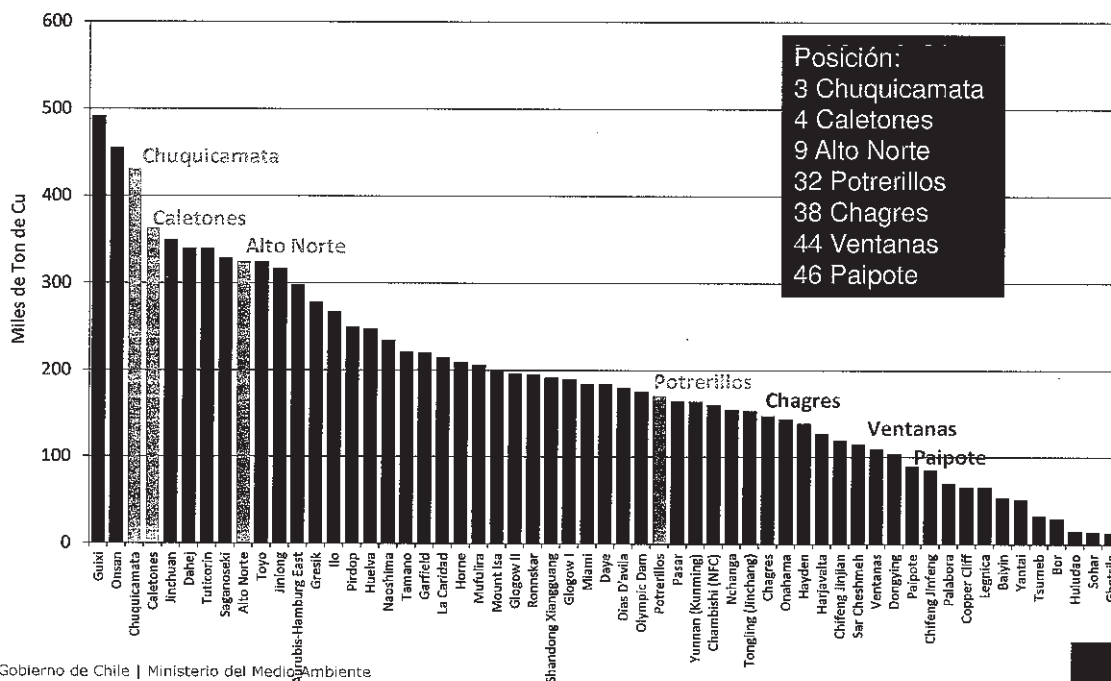
v FA

## Efectos esperados en la reducción de SO<sub>2</sub> de la norma de emisión para fundiciones de cobre D.S. N° 28 de 2013 y resultados de la evaluación social económica

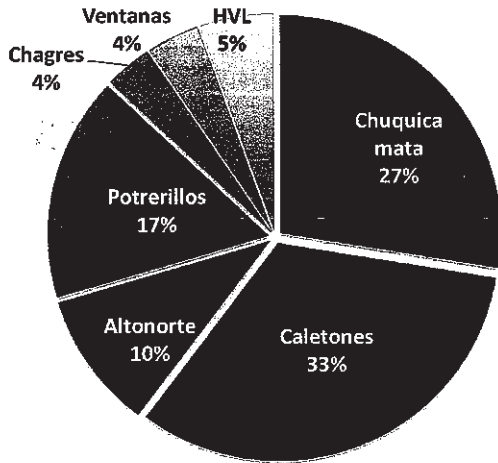
Carmen Gloria Contreras F  
Departamento de Normas MMA

## Posicionamiento internacional de las Fundiciones en términos de la producción de cobre fino, 2011

Fuente: Elaboración Cochilco con base Brook Hunt.



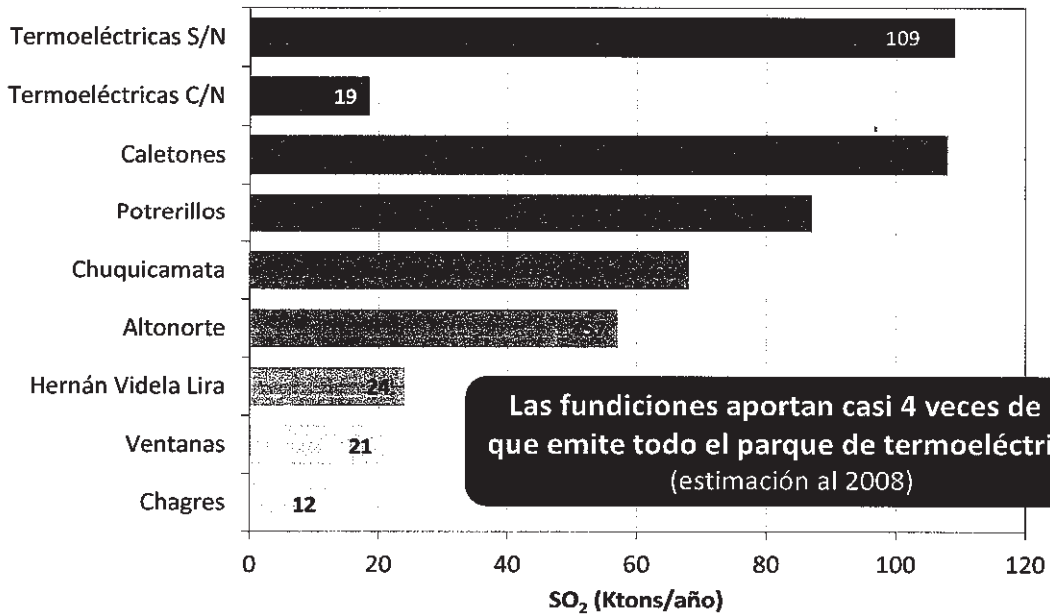
### Aporte de cada fundición en las emisiones de SO<sub>2</sub>:



El 87% de las emisiones de SO<sub>2</sub> proviene de Chuquicamata, Caletones, Altonorte y Potrerillos

EL 13% de Chagres, Ventanas y HVL

### Comparación de emisiones de SO<sub>2</sub> entre el parque de termoeléctricas y las fundiciones de cobre (2008)



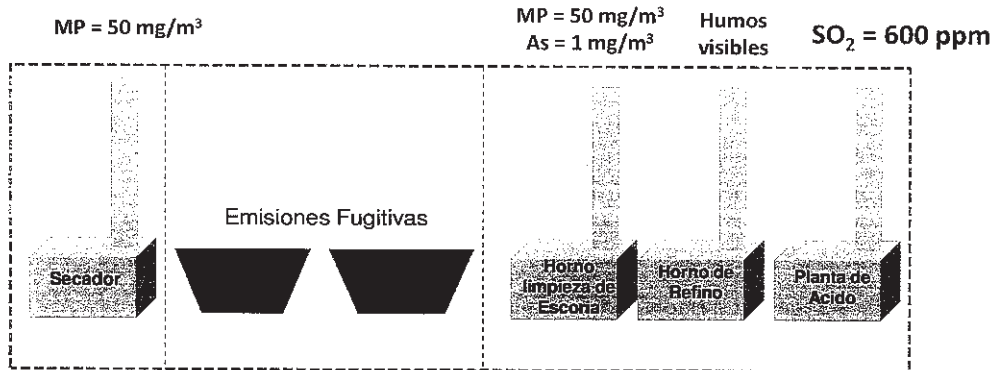
Las fundiciones aportan casi 4 veces de lo que emite todo el parque de termoeléctricas (estimación al 2008)

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, elaboración propia a partir de antecedentes de norma de fundiciones y norma de centrales termoeléctricas.

000138 VTA

## Exigencias de límites de emisión de SO<sub>2</sub> en la norma de emisión para fundiciones de Cobre

D.S. 28/2013 MMA



- Límite máximo anual de emisión de SO<sub>2</sub> y As
- Captura de SO<sub>2</sub> y As ≥ 95%

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## 4. Mejores prácticas operacionales

- Informar a la Superintendencia y Seremi del MMA sobre:
  - Encendido o detención programada de la planta de ácido y del horno de fusión
  - Duración del periodo de mantención.
- Mantener una inspección visual de los humos de la o las chimeneas del horno de refino para mantener opacidad inferior o igual a 20%.
- Plan de operación y mantención de sistemas de captura de emisiones de SO<sub>2</sub> y MP:
  - Mantención preventiva de acuerdo requerimientos del proveedor de los equipos.
  - Inspección mensual: observaciones de la apariencia física de los equipos y verificación del funcionamiento de los componentes de los mismos.
  - Acción correctiva: Las fallas que se relacionen con fugas o emisiones al aire deben ser informadas inmediatamente a la Superintendencia del Medio Ambiente y a la Seremi del Medio Ambiente.
  - Cada filtro de mangas deberá operar con un sistema de detección de rotura de manga.
  - Cada lavador de gases deberá mantener la caída de presión horaria y el flujo de agua según diseño
  - Detener operación del secador en el caso que el sistema de control de MP no se encuentre operando.
  - Detener la operación de los hornos de fusión/conversión si plantas de ácido no se encuentren operando.
  - Registrar en informe mensual cualquier evento que implique la detención de algún equipo de control.

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

# Resultados esperados de la norma

Reducción del



de las emisiones de SO<sub>2</sub>

Reducción del

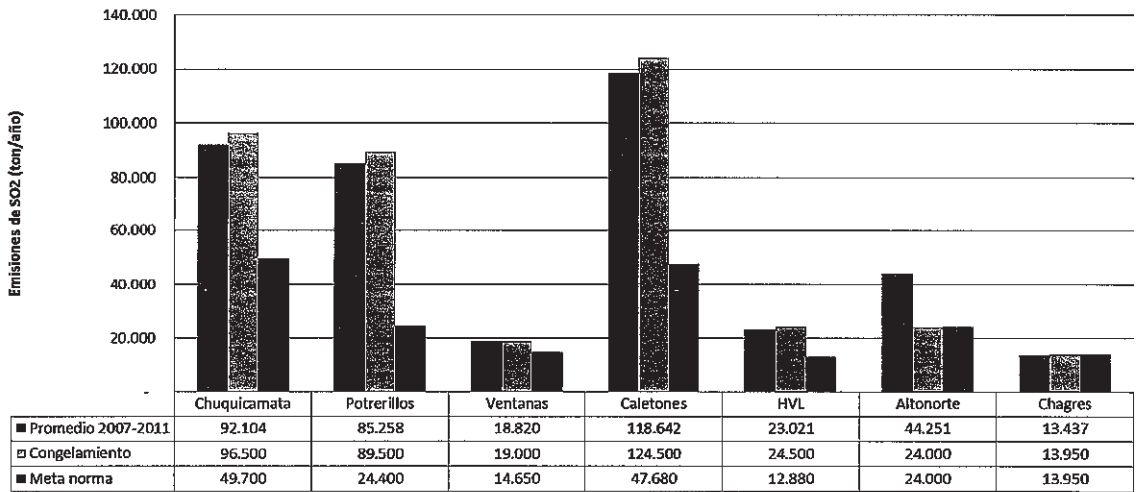


de las emisiones de As

- **Reducción de** eventos de contaminación de corta duración.
- Mejoramiento de los **indicadores ambientales** asociados a la **producción de cobre fino**.

## Reducción de SO<sub>2</sub> por fundición

Emisiones de SO<sub>2</sub> en Fundiciones de Cobre



53% de reducción de SO<sub>2</sub> respecto del promedio emitido últimos 5 años.

Se espera reducir en un 80% el número de horas en que se supera dicho límite.

## Alcance geográfico de los beneficios

### Macrozona Norte:

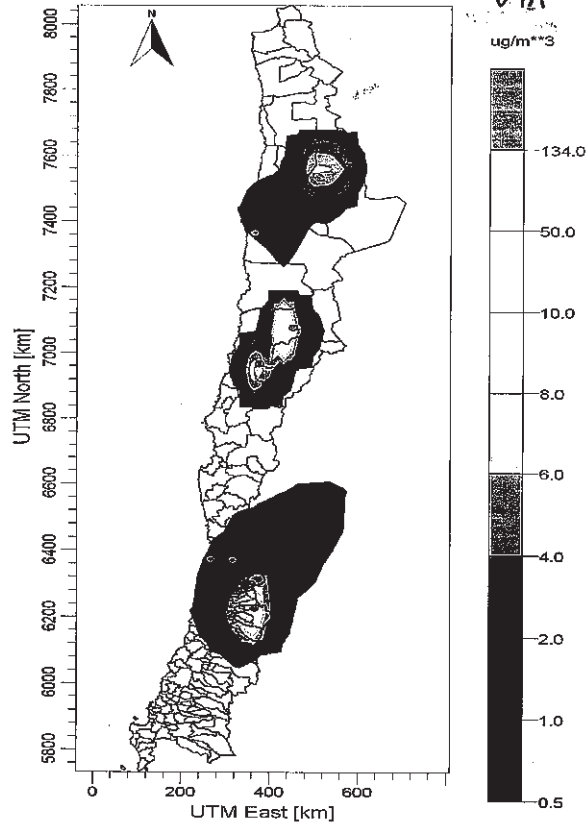
- Región de Antofagasta
- Región de Atacama

### Macrozona Central:

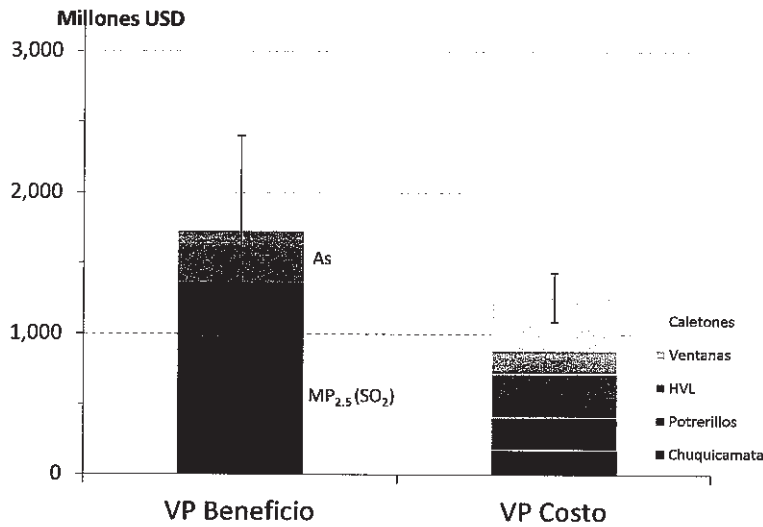
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Región de O'Higgins
- Región del Maule

Distribución espacial de la diferencia de las concentraciones anuales de SO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> del escenario 95% de captura y fijación de SO<sub>2</sub> con respecto al caso base

Fuente: Estudio del MMA, Geoaire 2011.



## Beneficios y costos por fundición - costos empresas

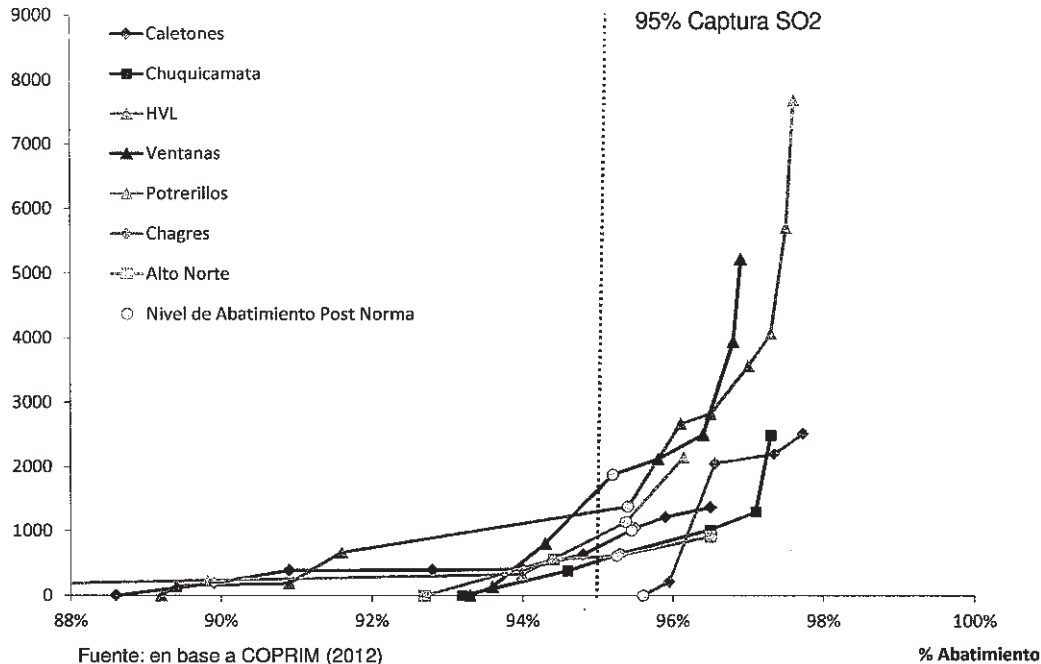


Valor reducciones de riesgo de fatalidad distribución triangular mediana de 8875 UF.  
 Beta de riesgo unitario mortalidad distribución normal con media de 9.3%.  
 Tasa de descuento social de 6% (MIDEPLAN 2011).  
 Periodo de análisis 2012-2035.  
 Precio del dólar: 517 CLP/USD  
 Factor de ajuste precios sociales correspondiente a 1,01 (MIDEPLAN 2011).  
 Costos: Captura 95% + Límites Concentración Chimenea  
 Chagres y Altonorte no incurren en costos en esta normativa dado que tienen compromisos por RCA más exigentes  
 Costos de inversión declarados por el sector. Considerando costos COPRIM y luoro de capital de HVL similar a la de otras fundiciones, corresponde a una disminución de un 8% de costos.

Razón B/C = 1.4

## Selección de medidas según costo efectividad

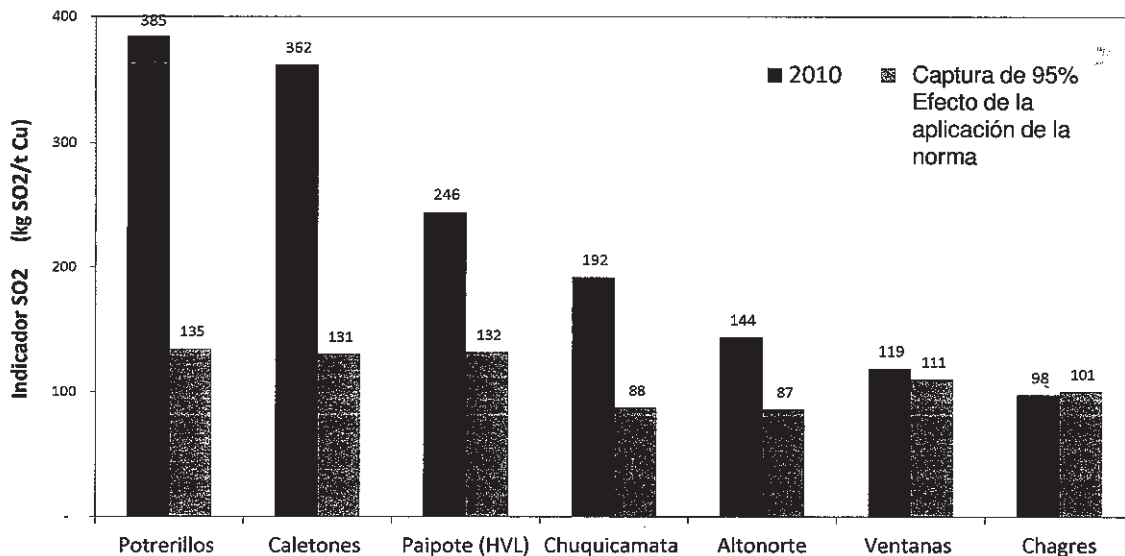
CMe [USD/ Ton SO<sub>2</sub>]



Fuente: en base a COPRIM (2012)

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## Indicador de desempeño ambiental Emisión de SO<sub>2</sub> por tonelada de cobre producida



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta del sector a regular 2011, realizada por el MMA.

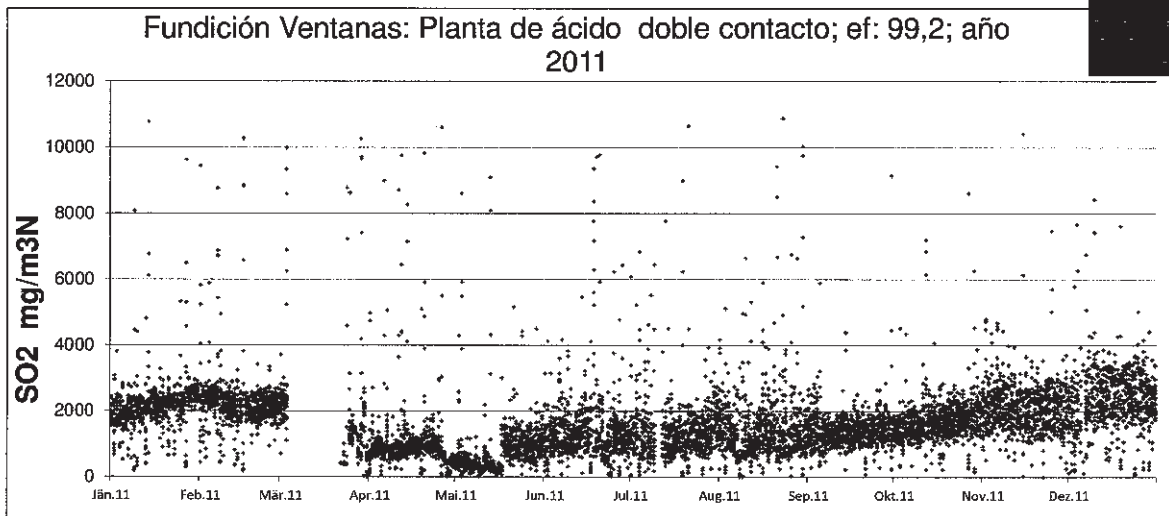


000140

VTA

Ejemplo  
Comportamiento de las emisiones desde plantas de  
ácido declarado por las fundiciones

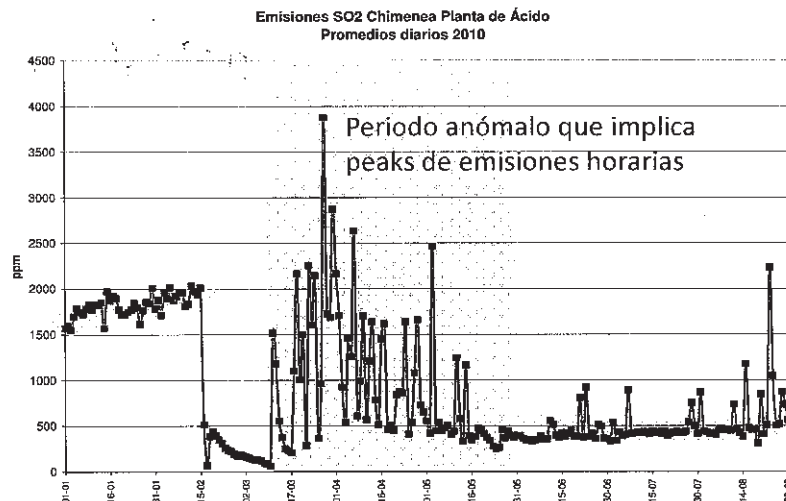
Priscilla Ulloa, Departamento de Normas  
pulloa@mma.gob.cl



Fuente: Fundición Ventanas, entregado al MMA el 2012

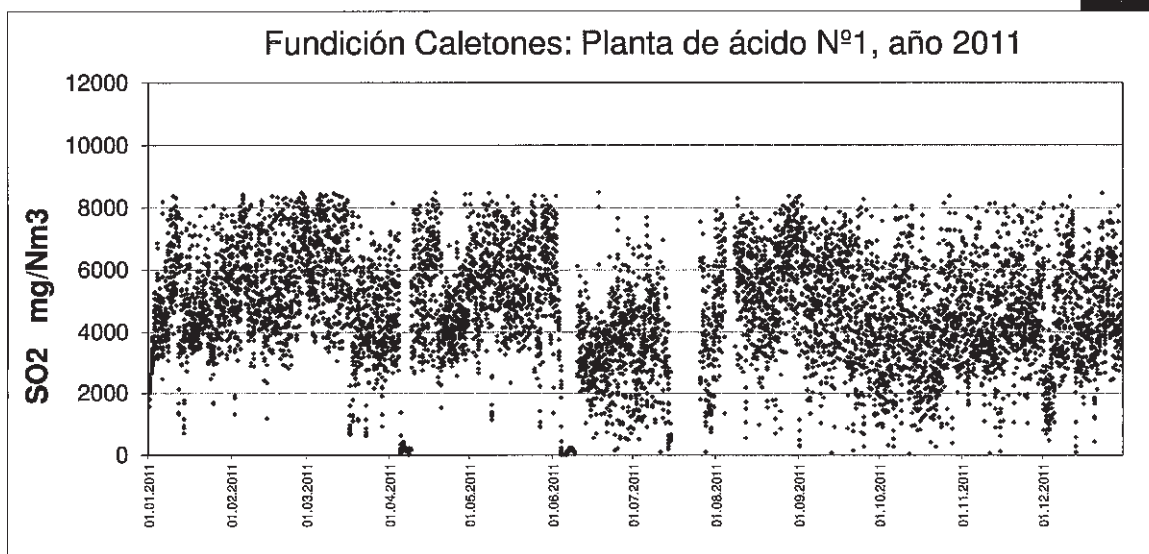
Máximo (mg/m3N)	10.875
Mínimo (mg/m3N)	2
Promedio (mg/m3N)	1.641
Nº datos > 0	8.148
Nº datos	8.760

Ejemplo de mínimas prácticas operacionales y control reflejado en los promedios diarios emisiones de SO<sub>2</sub> (ppm) planta de ácido - Fundición Ventanas



El artículo técnico: "Principales efectos causados por problemas de distribución Torre de absorción Intermedia, División Ventanas Codelco", evidencia los "síntomas de descontrol operacional" y el incremento de las emisiones por chimenea; que posteriormente se repiten y constatan durante los años 2011 y 2012.

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente  
Fuente: IX Mesa Redonda. Congreso Internacional Platas de Acido Sulfúrico, 2012. Organizado por Holtec, ácido sulfúrico y limpieza de gas.

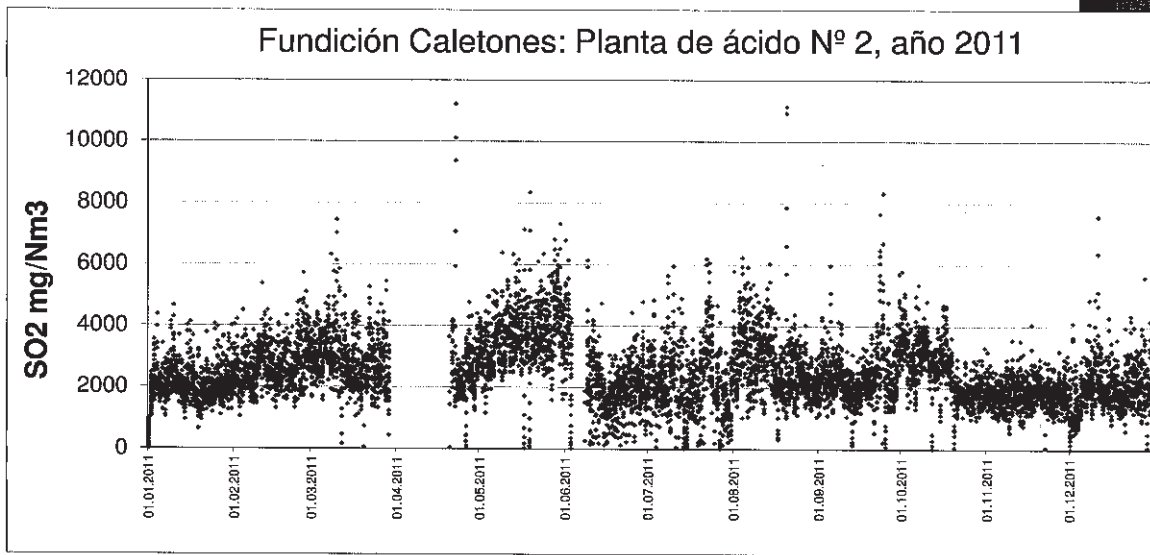


Fuente: Fundición Caletones, entregado al MMA el 2012

Máximo (mg/m <sup>3</sup> N)	8.498
Mínimo(mg/m <sup>3</sup> N)	1
Promedio (mg/m <sup>3</sup> N)	4.650
Nº datos > 0	8.111
Nº datos original	8.390

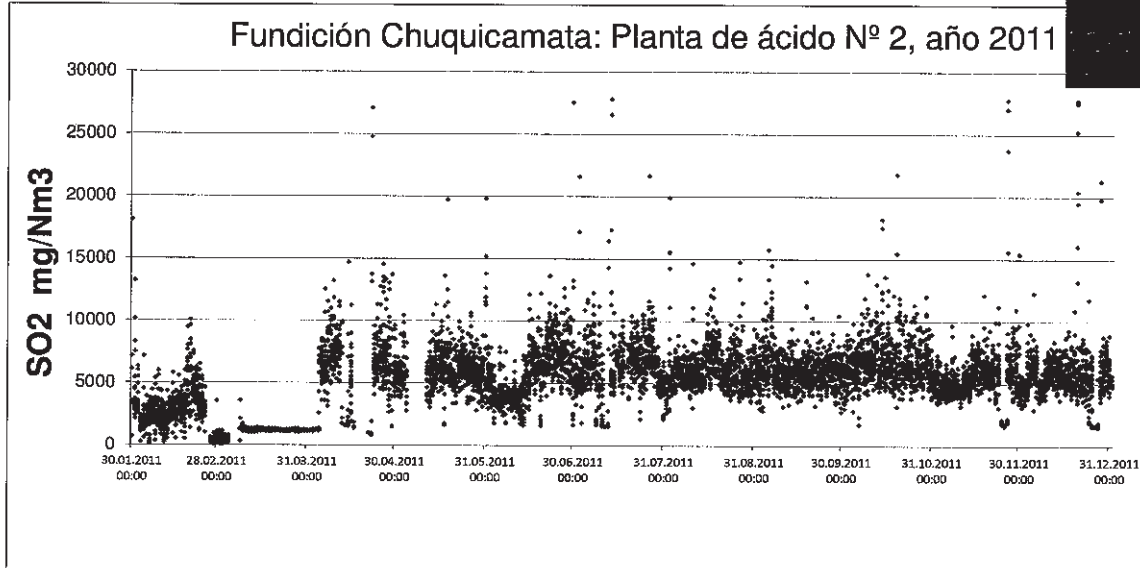
000141

VTA



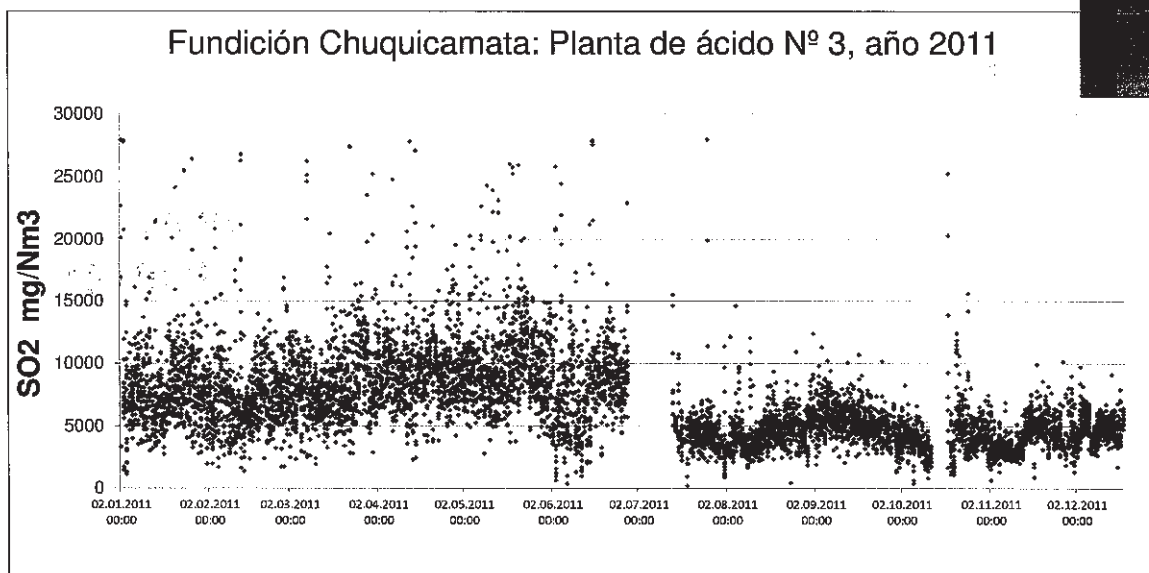
Fuente: Fundición Caletones, entregado al MMA el 2012

Máximo (mg/m3N)	11.214
Mínimo (mg/m3N)	7
Promedio (mg/m3N)	2.489
Nº datos > 0	7.989
Nº datos original	8.536



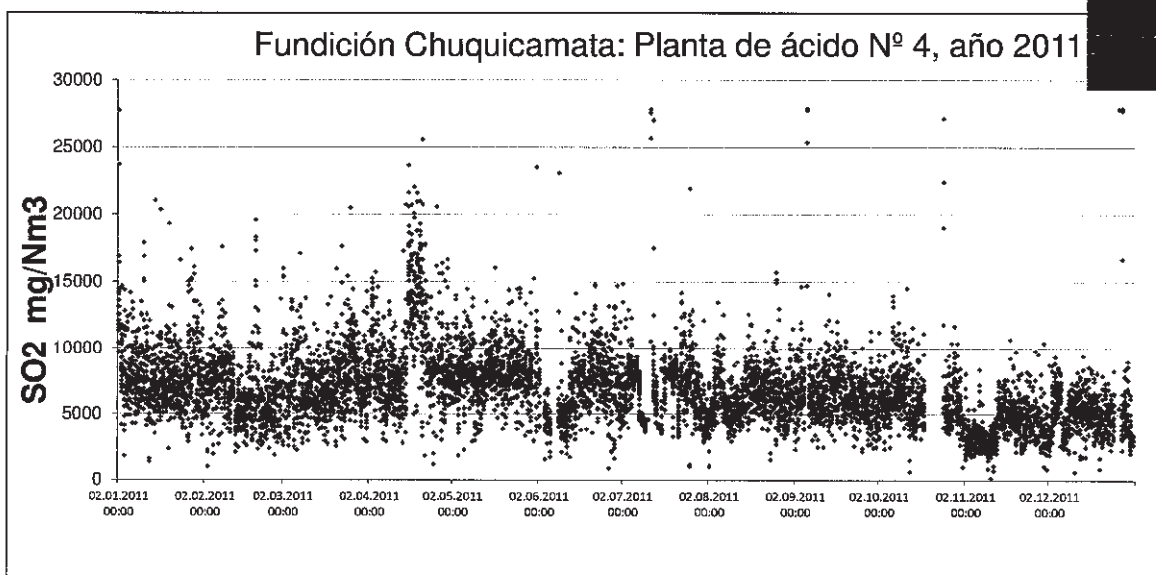
Fuente: Fundición Chuquicamata, entregado al MMA el 2012

Máximo (mg/m3N)	27.809
Mínimo (mg/m3N)	28
Promedio (mg/m3N)	5.417
Nº datos > 0	7.280



Fuente: Fundición Chuquicamata, entregado al MMA el 2012

Máximo(mg/m3N)	27.958
Mínimo(mg/m3N)	196
Promedio(mg/m3N)	6.832
Nº datos > 0	7.649



Fuente: Fundición Chuquicamata, entregado al MMA el 2012

Máximo (mg/m3N)	27.740
Mínimo (mg/m3N)	139
Promedio (mg/m3N)	6.904
Nº datos > 0	8.133

# Planes Ambientales Fundiciones de Concentrado de Cobre.

Presentación Comité Operativo Norma Primaria SO<sub>2</sub>



Gobierno  
de Chile

Comisión Chilena del Cobre

Santiago, 25 septiembre 2014

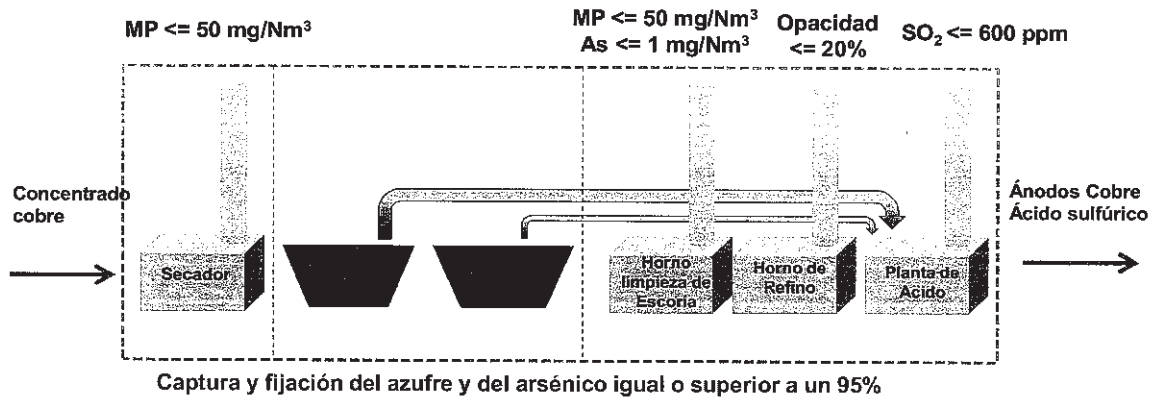
## Contenidos

1. Norma Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico.
2. Planes Ambientales Fundiciones.
  - Chuquicamata.
  - Potrerrillos.
  - Ventanas.
  - Caletones.
  - Hernan Videla Lira.
3. Inversiones Planes Ambientales.

000143

VTA

## Norma Emisión



Fuente Emisora	SO <sub>2</sub> (ton/año)	As (ton/año)
Altonorte	24.000	126
Caletones	47.680	130
Chagres	14.400	35
Chuquicamata	49.700	476
Hernán Videla Lira	12.880	17
Potrerosillos	24.400	157
Ventanas	14.650	48

## Chuquicamata

**Proyecto 5° CPS.** Considera instalar y dejar operativo una nueva unidad de conversión en la ubicación del actual Horno de Tratamiento de Escoria, HTE (ex-CPS N° 4), conectándolo al sistema de manejo de gases primarios y secundarios existente. El proyecto está en etapa de ejecución.

**Proyecto Reemplazo Campanas Primarias y Secundarias CPS's N° 3, 5, 6 y 7.** El proyecto considera el reemplazo de Campanas Primarias y Secundarias, de ductos radiativos, implementación del sistema de enfriamiento de las campanas de los CPS 6 y 7, construcción de una Sala Eléctrica, reemplazo de Centro de Control de Motores. El proyecto está en etapa de ejecución.

**Optimización Doble Contacto en Plantas de Ácido.** El proyecto corresponde a las modificaciones de las instalaciones de las PAS N°3 y N°4 y equipos anexos. Estas modificaciones consisten en que a cada módulo de contacto se incorpore un convertidor catalítico y una masa de catalisis a la salida del proceso actual de contacto (salida de la torre de absorción actual), el que permitirá la conversión del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) remanente en anhídrido sulfúrico. El proyecto está en etapa de factibilidad.

**Habilitación Sistema Tratamiento de Gases Secador N° 5.** El proyecto tiene por finalidad reducir el nivel de emisiones del secador N°5, mejorando sus sistema de limpieza de gases. El proyecto está en etapa de prefactibilidad.

## Chuquicamata

000144

**Proyecto Construcción Sistema Limpieza de Escorias por Flotación.** El proyecto construye una planta de tratamiento de escorias por flotación con enfriamiento en pozos, para reemplazar el actual sistema limpieza escoria. El proyecto se encuentra en ejecución.

**Reemplazo Sistema Manejo Gases Fugitivos HF.** La captación de los gases fugitivos del HF se realiza en los sectores de sangrías de eje, sangrías de escoria y Up-take del horno, mediante encerramientos compuestos por muros metálicos con tapa metálica abatible. El proyecto está en etapa de prefactibilidad.

**Sistema Tratamiento Gases de Refino.** Durante la operación cíclica de los HR, se generan gases metalúrgicos primarios los cuales son captados por campanas y evacuados hacia la atmósfera (humos negros) mediante chimeneas. El proyecto considera instalar una cámara de postcombustión y un sistema de limpieza de gases. El proyecto está en etapa de prefactibilidad.

## Potrerosillos

**Proyecto Construcción Sistema Limpieza de Escorias CT por Flotación.** El propósito es la construcción de una planta de tratamiento de escorias por flotación con enfriamiento controlado en ollas. Para reemplazar 3 hornos de limpieza de escoria del CT, por un circuito de tratamiento de escorias con enfriamiento controlado en ollas y una planta de flotación de escorias. El proyecto está puesta en marcha de la planta de flotación para el posterior desmantelamiento de los Hornos de tratamiento de escoria.

**Proyecto Mejoramiento Integral Captación y Procesamiento Gases Fundición Potrerillos.** El propósito es realizar un mejoramiento integral de la captación, manejo y limpieza de gases provenientes del CT y CPS. El alcance del proyecto considera: cambiar las campanas actuales del CT y de los CPS por otras de un diseño mejorado que capten todos los gases de proceso, con diluciones de 100%; incorporar equipos de enfriamiento evaporativo para los gases del CT y de los CPS; ampliar la capacidad de limpieza de los gases del CT incorporando un nuevo Precipitador Electroestático; diseñar y construir un nuevo trazado de ductos de gases; y efectuar una reparación mayor de uno de los Precipitadores Electroestáticos de los gases de los CPS. El proyecto se encuentra en ejecución.

**Sistema Tratamiento Gases de Refino.** Durante la operación cíclica de los HR, se generan gases metalúrgicos primarios los cuales son captados por campanas y evacuados hacia la atmósfera (humos negros) mediante chimeneas. El proyecto considera instalar una cámara de postcombustión y un sistema de limpieza de gases. El proyecto está en etapa de perfil.



000144

VTA

## Ventanas

**Aumento Captación Material Particulado Horno Eléctrico Tratamiento Escoria.** El proyecto considera la instalación de un cuarto campo en el precipitador electrostático y de un nuevo ducto de conducción de gases; el potenciamiento de los tres campos actuales a través de modificación en los electrodos; el reemplazo de los transformadores monofásicos por trifásicos; modificaciones en sala eléctrica; y modificaciones en sala de control. El proyecto se encuentra en operación y en periodo de pruebas para validar su rendimiento.

**Aumento Captación Material Particulado Secador Concentrado.** El proyecto considera el reemplazo de todas las placas soporte mangas y estructura del filtro de mangas; el suministro y montaje de una precámara decantadora; el suministro y montaje de nuevos ductos, ventiladores de tiro inducido, válvulas rotatorias y tornillos, nuevas mangas y canastillos. El proyecto esta en operación.

**Sistema Mecanizado Alimentación Carqa Fría CPS.** El objetivo del proyecto es disminuir la emisión de gases fugitivos que se producen durante la apertura de la campana del convertidor mientras se produce la adición de carga fría, cuando el CPS está soplando. El incluye la adquisición, montaje y puesta en marcha de los siguientes equipos, para adicionar carga fría: alimentador pesométrico, sistema de control, ducto abierto para agregar de carga fría, unidad hidráulica, tolva y estructuras. El proyecto se encuentra en operación.

**Captación Gases Sangrías CT y HE.** Consiste en captar los gases en las fuentes, diluirlos con aire atmosférico para bajar su temperatura y condensar sus impurezas, conduciendo los gases a través de ductos hasta Filtros de Mangas para retirar el polvo y sólidos arrastrados, y enviar los gases limpios a la atmósfera mediante la acción de un ventilador de tiro inducido a través de una chimenea dedicada en una primera etapa (otros proyectos abordarían posteriormente el procesamiento del SO<sub>2</sub>). El proyecto se encuentra en ejecución.

## Ventanas

**Captación de Gases Secundarios CT-CPS.** El proyecto consiste en instalar campanas secundarias en el CT y en los CPS. Para el diseño de una "Campana Secundaria Ventanas" en los CPS se ha concebido un diseño basado en una campana compuesta con un esquema combinado entre la campana envolvente (tomando la experiencia de la fundición de Tamano) y una campana localizada (tomando la experiencia de la Fundición Aurubis). La campana contará con dos extracciones laterales desde la campana envolvente y una desde la campana localizada, conduciendo los gases captados al tren de gases secundarios. Para el CT se proyecta una campana con módulo envolvente con una visera abatible articulada que se haga cargo de captar las emisiones durante los eventos de soplado y carga de escoria oxidada desde los CPS. El proyecto se encuentra en ejecución.

**Tratamiento Gases de Cola Planta Ácido.** El proyecto incluye una nueva Planta de Tratamiento de Gases de Cola (PTGC). La tecnología de esta nueva planta, de dos etapas, logra reducir la concentración de SO<sub>2</sub> presente en los gases de cola o residuales de la PAS en un proceso de absorción y oxidación a base de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Como resultado de este proceso se obtiene un gas limpio con un contenido reducido de SO<sub>2</sub> que será descargado al ambiente mediante una chimenea acondicionada para este fin. En la corriente de fondo de la torre de absorción se obtiene ácido sulfúrico producto de calidad comercial con una concentración del 60% aproximadamente. El proyecto se encuentra en ejecución.

**Sistema Tratamiento Gases de Refino.** Durante la operación cíclica de los HR, se generan gases metalúrgicos primarios los cuales son captados por campanas y evacuados hacia la atmósfera (humos negros) mediante chimeneas. El proyecto considera instalar una cámara de postcombustión y un sistema de limpieza de gases. El proyecto está en ejecución.



000145

## **Caletones**

---

**Proyecto Reducción de Emisiones Planta de Ácido.** El proyecto considera la instalación de un sistema de desulfuración de gases de cola de las Plantas de Limpieza de Gases N° 1 y 2. Se encuentra en su etapa de prefactibilidad.

**Optimización Plantas de Secado Fluosólido N°1 y N°2.** Contribuye al cumplimiento de la Norma en relación con el material particulado emitido a la atmósfera por las chimeneas de los secadores de concentrado. El proyecto se encuentra en etapa de factibilidad.

**Proyecto Construcción Planta Tratamiento Escorias de Convertidores Teniente.** El proyecto considera la construcción de una planta de molienda y flotación para tratar las escorias de los Convertidores Teniente (CT), dejando fuera de operación los actuales hornos de limpieza de escoria (HLE). El proyecto se encuentra en su etapa de prefactibilidad.

**Sistema Tratamiento Gases de Refino.** Durante la operación cíclica de los HR, se generan gases metalúrgicos primarios los cuales son captados por campanas y evacuados hacia la atmósfera (humos negros) mediante chimeneas. El proyecto considera utilizar estos gases como gases de transporte en las plantas de secado fluosólido utilizando sus sistema de limpieza de gases. El proyecto está en etapa de prefactibilidad.

## **Hernán Videla Lira**

---

**Estudio Reducción de Emisiones-Fundición Hernán Videla Lira.** Estudió ocho alternativas, que comprenden las tecnologías de fusión Convertidor Teniente, Horno de Fusión BBF (Dongying) e Isasmelt o Ausmelt; conversión en CPS; tratamiento de escorias en Horno Eléctrico y vía Flotación; y capacidades de fusión en torno a 350.000 y 450.000 toneladas por año de concentrado, incluyendo todas las instalaciones de los sistemas de captura, manejo y limpieza de gases, y la provisión de servicios y suministros. Estudio de perfil finalizado, iniciando el estudio de la prefactibilidad.

000145 VTA

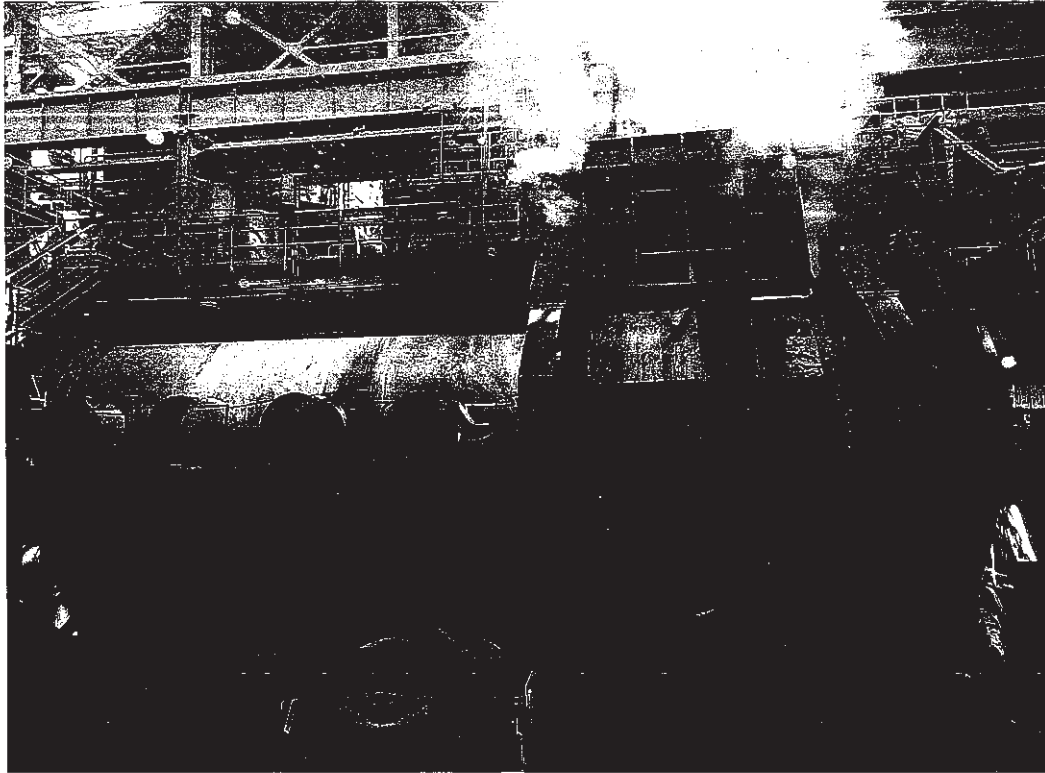
## Inversiones Estimadas Planes Ambientales

	Capacidad Estimada Miles tms/Año	Inversión Estimada Millones US\$	
		Coprim 1	Empresa 2
Chuquicamata	1.350	86	245
Caletones	1.372	292	376
Potrerrillos	680	238	407
Ventanas	436	86	160
H. Videla Lira	350	272	350/473
	<u>4.188</u>	<u>974</u>	<u>1.538/1.661</u>
Alto Norte	1.160	107	
Chagres	660	0	
	<u>4.958</u>	<u>1.081</u>	

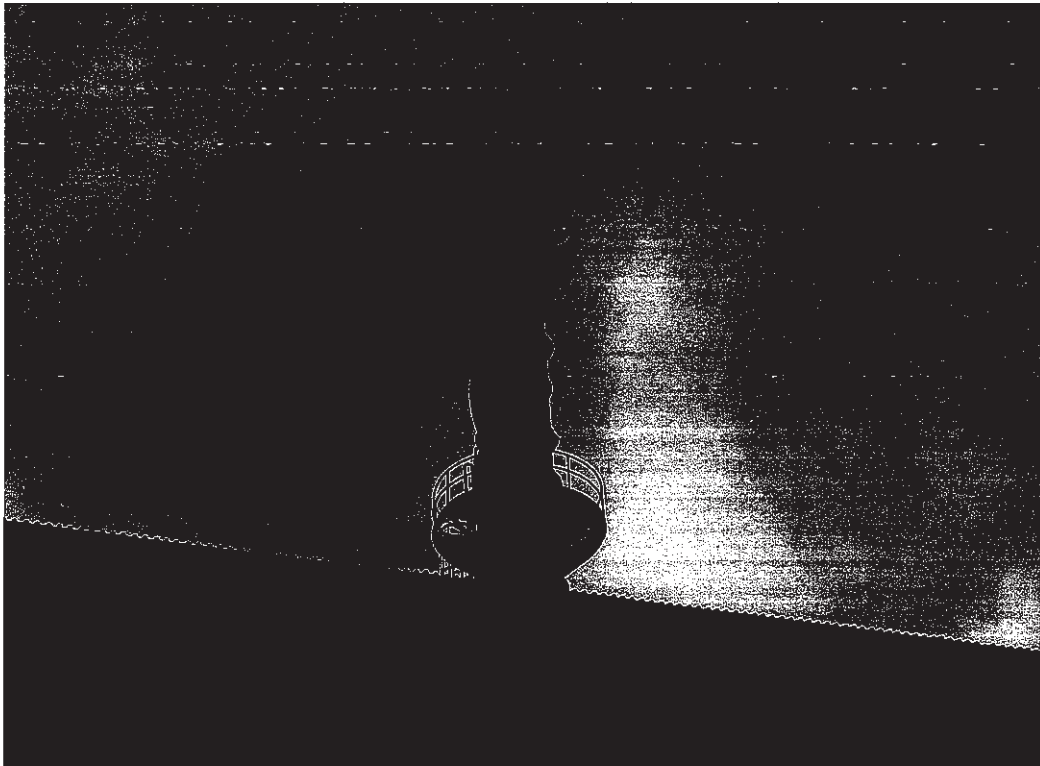
1 Estimación a Nivel de Perfil. Estimación Costos Inversión (-/+ 50%). Fuente informe "EVALUACIÓN DE COSTOS DE ESCENARIOS REGULATORIOS PARA UNA NORMA DE EMISIÓN DE FUNDICIONES DE COBRE Coprim 17-04-12"

2 Las estimaciones en la columna Empresa corresponden a información de COCHILCO disponible al 24 septiembre de 2014 según la fase en que se encuentran los proyectos. Fases de: ejecución, prefactibilidad, factibilidad. Incorpora inversiones en proyectos para abordar la norma de la chimenea de los gases de refino no incorporados en el informe Coprim.

# FIN

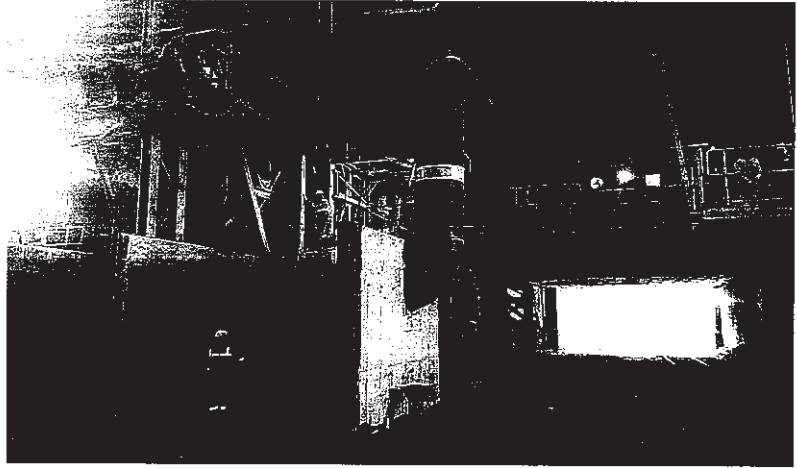
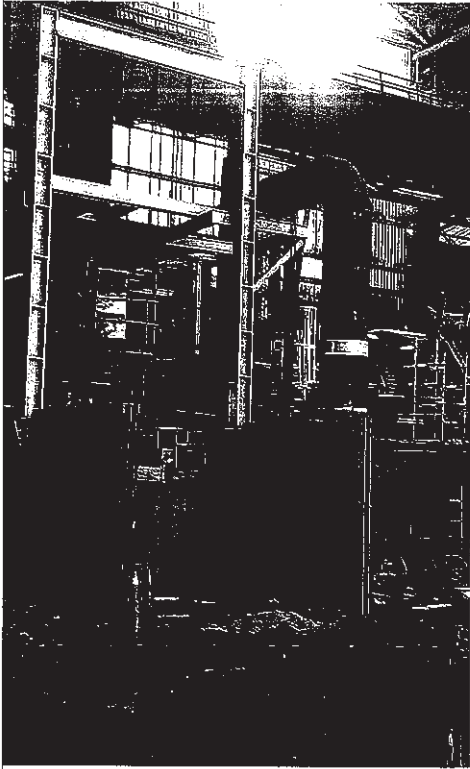


***Humos Negros***

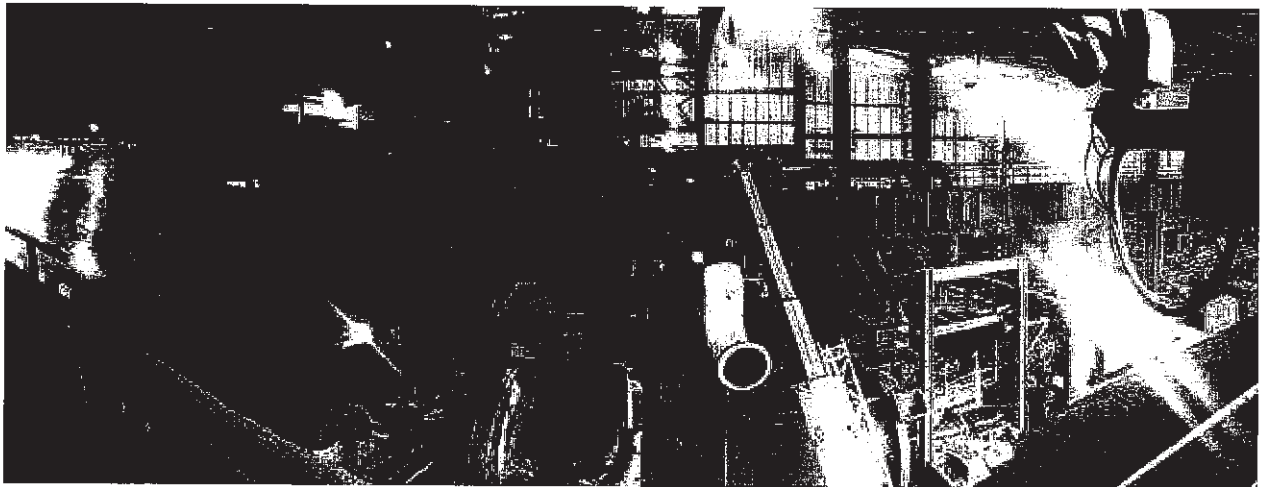


000146  
VTA

## ***Captura Gases Sangrado Escoria CT-HE***



## ***Captura Gases Sangrado Escoria CT-HE***



**Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 25-09-2014	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic Contreras	COCHILCO
2	Carolina Gómez	Ministerio de Energía
3	Pamela Arellano	Ministerio de Economía
4	Pablo Salgado P.	Ministerio de Transporte
5	Siomara Gómez Aguilera	SEREMI Medio Ambiente - Región Valparaíso
6	Jenny Tapia Flores	SEREMI Medio Ambiente - Región Antofagasta
7	Nicolás Trivelli S.	Ministerio Medio Ambiente
8	Francisco Donoso G.	Ministerio Medio Ambiente
9	Conrado Ravanal F.	Ministerio Medio Ambiente
10	Tania Bishara	Ministerio Medio Ambiente
11	Ivonne Moreno Araneda	Ministerio Medio Ambiente
12	Carmen Gloria Contreras	Ministerio Medio Ambiente
13	Priscilla Ulloa M.	Ministerio Medio Ambiente
14	Cristián Ibarra F.	Ministerio Medio Ambiente

**2. Objetivo de la reunión**

Conocer los principales efectos en la reducción de SO<sub>2</sub> debido a la aplicación de la norma de emisión de las fundiciones de cobre y conocer las inversiones necesarias que realizarán las fundiciones de cobre.

Es importante contar con los antecedentes anteriores, debido a que nos permite visualizar beneficios y costos indirectos que se relacionan con la revisión de la norma primaria de calidad de SO<sub>2</sub>.

**3. Temas Tratados**

Se adjuntan a la presente acta las siguientes presentaciones:

- a) Presentación de las representantes del Ministerio del Medio Ambiente (Carmen Gloria Contreras y Priscilla Ulloa) sobre la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico (D.S. N°28/2013).
- b) Presentación del representante de COCHILCO (Sr. Pedro Santic) sobre la inversión de los Planes Ambientales Fundiciones de Concentrado de Cobre.

000147

VTA

#### 4. Resultados

- a. Se identifica como temas críticos de la revisión de la norma de SO<sub>2</sub>, los siguientes:
- o 1) Asegurar convergencia entre los instrumentos de gestión ambiental vigentes y la revisión de la norma de SO<sub>2</sub>; debido a que hay inversiones que se están desarrollando y que tienen como efecto una reducción de las concentraciones en la calidad del aire de SO<sub>2</sub>. Los instrumentos que se identifican como relevantes corresponden a: la norma de termoeléctricas, la norma de fundiciones y las normas técnicas de mejoramiento de combustibles.
  - o 2) Otro tema crítico corresponde a la definición de los niveles de emergencia de SO<sub>2</sub>. Hay evidencia que confirma que los niveles vigentes no logran evitar la exposición de la población.
- b. Los efectos de reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub> producto de la aplicación de la norma de fundiciones, se refleja significativamente en las fundiciones de Potrerillos, Caletones y Paipote, provocando una nivelación en el desempeño ambiental en la industria de las fundiciones de cobre (Ton de SO<sub>2</sub>/Cu fino producido).
- c. Se espera con la aplicación de la norma de emisión una reducción de las emisiones totales de SO<sub>2</sub> y una reducción de las emisiones tipo puff. Estas últimas se relacionan principalmente con eventos de corta duración. Existe una probabilidad de reducción de las emisiones de corta duración de SO<sub>2</sub>, que reduciría el número de eventos de contaminación. Una condición de borde para que ocurra esta reducción, es lograr estabilizar las emisiones de la planta de ácido (proceso continuo), que depende de las prácticas operacionales, de la mantención y principalmente de la operación de los procesos de fusión y de conversión (procesos batch).
- d. La estrategia en las fundiciones de cobre de CODELCO y ENAMI, con respecto a sus planes de inversión para proyectos ambientales se distingue en que la Fundación Hernán Videla Lira desarrolla un gran proyecto integral que involucra todas las inversiones; y las otras cuatro fundiciones, separan las inversiones en distintos proyectos específicos.

A continuación se señalan aspectos relevantes de los planes de inversión:

- Fundación Chuquicamata
  - Todas las actividades están en un proyecto integral. Con respecto a los hornos de limpieza escoria, su cantidad es numerosa y su ubicación es dispersa, además el movimiento de las ollas de escoria genera emisiones de As.
  - El tratamiento de escoria será a través de una planta de flotación, por lo cual se eliminarían las emisiones de gases y partículas de los hornos de tratamiento de escoria y de los trasvasijos de ollas de escoria.
- Potrerillos
  - El enfriamiento de la escoria es en la olla, a través de un sistema con agua se forma una capa que no permite la salida de emisiones y luego la escoria en la olla se enfría en el exterior para posteriormente llevarse a la planta de flotación de escoria.

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

- Fundición Ventanas
    - El plan ambiental más avanzado es de la Fundición Ventanas, todos sus proyectos están en ejecución.
    - Se incorpora sistema de carga fría mecanizado.
    - El tratamiento de gases de cola de la planta de ácido tiene un costo aprox. de 22 MMUSD.
  - Fundición Caletones
    - No tiene espacio físico para incorporar tecnología de doble contacto en sus plantas de ácido, por lo tanto eligieron la tecnología de tratamiento de gases de cola.
    - Los humos del horno de refino se enviarán a los secadores y por fluidización y así los humos serán tratados en los precipitadores electrostáticos del secador, reduciéndose la utilización de más equipos de control.
  - Los costos asociados a los sistemas de tratamiento de gases del horno de refino (humos negros), no fueron contemplados en la evaluación inicial realizada por COPRIM, las emisiones de este proceso unitario fueron tratados como emisiones marginales, sin embargo, son costos importantes (Por ejemplo: Chuquicamata 35 MMUSD, Caletones 12 MMUSD, Salvador: entre 12 y 15 MMUSD).
- e. Se indica que las cuatro fundiciones de CODELCO cumplirán con los plazos establecidos por la norma de emisión para fundiciones de cobre. No obstante, la fundición Hernán Videla Lira (Paipote) baraja 3 alternativas para cambiar el proceso de fusión, e incluso estudia el costo de cierre. Además, tiene un atraso de 18 meses en su programación de inversiones, lo cual dificulta el cumplimiento de los plazos establecidos en la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico (D.S. N°28/2013).
- f. Se acuerda que es necesario considerar información sobre la localización y aporte de SO<sub>2</sub> de nuevas fuentes.
- g. Se consulta qué pasa con las emisiones de las refinerías. Se indica que serán también analizadas por el equipo técnico del Ministerio, y que las existentes se localizan en lugares donde se constata saturación.
- h. Se consulta sobre el rol de la Superintendencia del Medio Ambiente. Se indica que la Superintendencia incorporará un software de monitoreo en línea de las emisiones y que operará tanto para las termoeléctricas como para las fundiciones de cobre.

CGCF/PU/CIF/...





458 ■■■■

ANT: Norma Secundaria de SO2.

MAT.: Invita a Reunión revisión  
Norma Primaria de SO2

COPIAPO, 08 OCT. 2014

DE : SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE.  
REGION DE ATACAMA.

A : SEGUN DISTRIBUCION

Junto con saludarle cordialmente, me permito comunicar a Ud. que se ha dado inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para dióxido de azufre, establecidas en el D.S. N°113 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.

Al respecto, invito a Ud., a participar de una reunión donde se informará en qué etapa se encuentra dicho proceso y los resultados del primer informe de avance del estudio denominado "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre SO2", efectuado por el CENMA para el Ministerio del Medio Ambiente.

Asimismo, solicito a la Autoridad Sanitaria realizar una presentación sobre los episodios de concentraciones de SO2 que han tenido consecuencias en la salud de la población de Paipote, Copiapó y Tierra Amarilla, y las acciones que se han llevado a cabo.

La reunión se realizará, el día **martes 21 de octubre del presente, a las 11.00 hrs.** en las oficinas de esta SEREMI, ubicada en calle Vallejos 535, oficina 501 Copiapó.



ING. AGUAD MANRIQUEZ  
SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

IAM/EJN

**Distribución:**













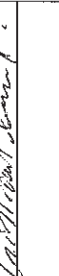
- Seremi de Salud, Región de Atacama
- Director SEA, Región de Atacama
- Archivos



**"Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>"**

FECHA: Martes 14 de octubre de 2014 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	PENLO SANDO C.	COCHILCO	PSANDIC@COCHILCO.CL	225828268	
2	WALTER FOLCH	MINISAL	WFOLOCH@MINISAL.GOB.CL	225740787	
3	Carmen G. Contreras F.	MMA	cgcontreras@mma.gob.cl		
4	Paisella Ulloa M.	MMA	paulloamen@mma.gob.cl		
5	Tania Bishara B.	MMA	Tbshara@commeda.bnero - 5582		
6	Nicolás Trivela	MMA	Ntrivela@MMA.gob.cl		
7	Liliana Cabrera M.	MOR	Liliana.cabrera@mop.gob.cl	224494019	
8	Candina Gómez A	Min. Energía	cgomez@minergie.cl	223650876	
9	FRANCISCO DOMINGO G.	MMA	FRANCISGO@MMA.GOB.CL	257358810	
10	Samuela Cuellaut	MINRECON	Samuelacu@economia.cl	24733578	
11	Pablo Solgado P.	MCT	psolgado@mct.gob.cl	24213418	
12	Conrado Kovacs	MMA	ckovacs@mma.gob.cl	225735624	
13	Christian Barra	MMA	c.barra@mma.gob.cl	225735831	
14					
15					
16					
17					



*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

**Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 14-10-2014	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic Contreras	COCHILCO
2	Walter Folch	Ministerio de Salud
3	Carolina Gómez	Ministerio de Energía
4	Pamela Arellano	Ministerio de Economía
5	Pablo Salgado P.	Ministerio de Transporte
6	Liliana Calzada	Ministerio Obras Públicas
7	Nicolás Trivelli S.	Ministerio Medio Ambiente
8	Francisco Donoso G.	Ministerio Medio Ambiente
9	Conrado Ravanal F.	Ministerio Medio Ambiente
10	Tania Bishara	Ministerio Medio Ambiente
11	Carmen Gloria Contreras	Ministerio Medio Ambiente
12	Priscilla Ulloa M.	Ministerio Medio Ambiente
13	Cristián Ibarra F.	Ministerio Medio Ambiente

**2. Objetivo de la reunión**

Conocer los principales efectos en la reducción de SO<sub>2</sub> debido a la aplicación de la norma de emisión de centrales termoeléctricas y del mejoramiento de combustibles fósiles en el transporte y en la industria.

**3. Temas Tratados**

Se adjuntan a la presente acta las siguientes presentaciones:

- a) Presentación de la representante del Ministerio del Medio Ambiente (Carmen Gloria Contreras) sobre la norma de emisión para centrales termoeléctricas (D.S. N°13/2011).
- b) Presentación de la representante del Ministerio de Energía (Carolina Gómez) sobre Centrales termoeléctricas y contenido de azufre en el combustible.

000151

JTA

#### 4. Resultados

a. Con respecto al mejoramiento de combustibles.

- A mediados de la década de los 80's el contenido de azufre del diésel a nivel país alcanzaba los 5000 ppm, disminuyendo su contenido progresivamente. A partir del 2011, el contenido de azufre del diésel A es 15 ppm en la Región Metropolitana (D.S.N°66/2010), 15 ppm en gasolinas y 50 ppm para diésel B en el resto del país (D.S.N°60/2012 Ministerio Energía).
- ENAP ha invertido US\$600 millones en Hidrocracking en las refinerías de Aconcagua y BíoBío para cumplir con las metas de desulfurización.

b. Con respecto a la norma de emisión de centrales termoeléctricas.

- Durante el proceso de la norma de emisión para centrales termoeléctricas se realizaron visitas a termoeléctricas donde se pudo constatar una variedad de unidades y de operaciones. Por ejemplo: Termoeléctrica de Laguna Verde, opera desde 1930, siendo la más antigua, teniendo una alimentación de granalla (carbón) y cerca de esta termoeléctrica se produce el efecto de fumigación costera.
- Existe una relación en las centrales termoeléctricas entre el tipo de combustible, porcentaje de azufre y las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). En Chile, son usados carbones con bajo porcentaje de azufre (<1%).
- Las eficiencias de abatimiento de las tecnologías de desulfurización son las siguientes: del 98% para desulfurizadores húmedos, 94% para desulfurizadores semisecos y 97% al utilizar agua de mar.
- La norma de emisión para termoeléctricas (D.S. N°13/2011) entra en vigencia para fuentes existentes con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) el 23-06-2015 para zonas saturadas y el 23-06-2016 para zonas latentes y no saturadas.
- Con la entrada en vigencia de la norma de emisión de termoeléctricas se espera una reducción máxima del 83% para el año 2020 en las emisiones de dióxido de azufre.

c. Se identifican como aspectos importantes de la revisión de la norma de SO<sub>2</sub>, los siguientes:

- La norma de calidad del aire para dióxido de azufre no debería provocar esfuerzos adicionales a los ya realizados o que se encuentran en ejecución para cumplir las normas de emisión por parte de las industrias. Por lo tanto, en el desarrollo de esta norma de calidad es importante considerar una armonización de instrumentos de gestión ambiental.

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

- En esta norma de calidad surgen dos definiciones importantes, los valores estándar y los valores de niveles de emergencia. Los valores estándar están enfocados a proteger la salud de las personas en forma periódica. Mientras que los valores de niveles de emergencia tienen por finalidad proteger la salud de las personas en momentos puntuales, en episodios excepcionales de corta duración pero con una alta concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- El representante del Ministerio de Salud indica que actualmente se dictan alertas sanitarias, donde hay una disminución de la actividad industrial para proteger la salud de las personas en lugares donde no existen planes de descontaminación.

CGCF/PU/CIF/...

## Reunión Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

### Objetivo:

### Conocer el efecto en la reducción de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) debido a:

1. La implementación de la norma de emisión para termoeléctricas
2. El mejoramiento de combustibles fósiles en el transporte y en la industria

14 de octubre, 2014

## Reunión Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

### Temas:

### Conocer los principales efectos en la reducción de SO<sub>2</sub> por

- a) La aplicación de la norma de emisión a las termoeléctricas.

Carmen Gloria Contreras, Departamento de Normas MMA

- b) Centrales termoeléctricas y contenido de azufre en el combustible.

Carolina Gómez, Ministerio de Energía

14 de octubre 2014

000153

VIA

## **Efectos esperados en la reducción de SO<sub>2</sub> de la norma de emisión para termoeléctricas**

Carmen Gloria Contreras F  
Departamento de Normas MMA

3

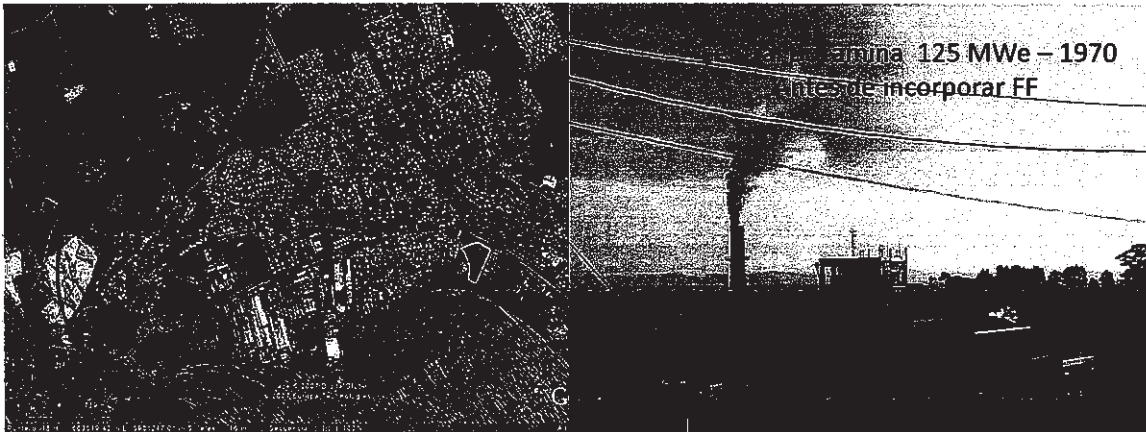
## **Contexto: Antes de la Norma Termoeléctricas**

- A través del SEIA se establecían exigencias caso a caso
- Zonas con problemas de calidad del aire, con aporte de emisiones de SO<sub>2</sub> de termoeléctricas:
  - Gran Concepción
  - Ventanas - Puchuncaví
  - Tocopilla
  - Huasco
- Emisiones de las termoeléctricas: MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y Hg
- Emisiones precursoras formadoras de MP2.5 y Ozono troposférico.

4

## Característica del Parque Termoeléctrico (2008)

- Tecnología a carbón convencional CP - subcritical ( $\eta$ : 33%)
- Turbinas a gas pasaron a diesel
- Localizadas en la costa (efecto fumigación costera), en entornos urbanos
- No se constata repotenciamiento / retrofit
- Áreas degradadas por MP
- 2008: ninguna incluye desulfurizador o desnitrificador.
- 12 de 13 térmicas a carbón declaran control de MP



### Centrales Existente a Carbón (al 26.10.10)

	AES Gener Laguna Verde (V Región)	SIC	1939	53	s/c	s/c	s/c
ZS	AES Gener Ventanas 1	SIC	1964	120	Precipitador	s/c	s/c
ZS	Endesa Bocamina (Coronel)	SIC	1970	128	Filtro	Tangencial	s/c
ZS	Norgener (AES Gener) Tocopilla 1	SING	1995-1997	136	Precipitador	s/c	s/c
ZS	Norgener (AES Gener) Tocopilla 2	SING	1995-1997	141	Precipitador	s/c	s/c
ZL	Guacolda (AES Gener) 1 (Huasco)	SIC	1995	152	Precipitador	s/c	s/c
ZL	Guacolda (AES Gener) 2 (Huasco)	SIC	1995	152	Precipitador	s/c	s/c
ZL	Guacolda (AES Gener) 3 (Huasco)	SIC	2009	152	Precipitador	LNOx	desulfurizador
ZL	Guacolda (AES Gener) 4 (Huasco)	SIC	2010	152	Precipitador	LNOx + SCR	desulfurizador
	Endesa Tarapacá (Patache, sur Iquique)	SING	S/I	182	Precipitador	s/c	s/c
ZS	E-CL (GDF Suez) Tocopilla U12 y U13	SING	1983-1900	170	Precipitador	s/c	s/c
ZS	AES Gener Ventanas 2	SIC	1977	220	Precipitador	LNOx	s/c
ZS	AES Gener Nueva Ventanas	SIC	2009	250	Precipitador	LNOx	s/c
ZS	E-CL (GDF Suez) Tocopilla U14 y U15	SING	1983-1900	268	Precipitador	s/c	s/c
	E-CL (GDF Suez) Mejillones 1 y 2	SING	1995	340	Precipitador	s/c	s/c
ZS	Petropower (Concepción)	SIC	1998	77	Filtro	lecho fluidizado	Lecho fluidizado

ZS: Zona Saturada

ZL: Zona Latente



000154

VTA

**Centrales en Construcción a Carbón (al 26.10.10)**

ZS	AES Gener Campiche (Ventanas)	SIC	2012	270	Precipitador	LNOx	Desulfurizador
ZS	Colbún Santa María 1 (Coronel)	SIC	2011	350	Precipitador	LNOx	Desulfurizador
ZS	Endesa Bocamina 2 (Coronel)	SIC	2011	350	Filtro	LNOx	Desulfurizador
	E-CL (GDF Suez) Hornitos (Mejillones)	SING	2011	165	Precipitador	LNOx	Lecho fluidizado
	E-CL (GDF Suez) Andino (Mejillones)	SING	2011	165	Precipitador	LNOx	Lecho fluidizado
	AES Gener Angamos I (Mejillones)	SING	2011	270	Precipitador	LNOx	Desulfurizador
	AES Gener Angamos II (Mejillones)	SING	2011	270	Precipitador	LNOx	Desulfurizador

7

**Proyectos a Carbón que cuentan con RCA favorable (al 26.10.10)**

	AES Gener Los Robles (Constitución)	SIC	750	Precipitador	LNOx	Desulfurizador	
ZS	Codelco Energía Minera (Ventanas)	SIC	1050	Precipitador	LNOx + SCR	Desulfurizador	
ZL	Guacolda 5 (Huasco)	SIC	152	Precipitador	LNOx + SCR	Desulfurizador	
	BHP Kelar (Mejillones)	SING	500	Precipitador	LNOx	Desulfurizador	
	E-CL (GDF Suez) Infraestructura Mejillones	SING	750	Precipitador	LNOx	Desulfurizador	
	Norgener (AES Gener) Cochrane (Mejillones)	SING	560	Precipitador	LNOx	Desulfurizador	

8

### Proyectos en proceso de evaluación (al 26.10.10)

ZS	Southern Cross RC Generación (Puchuncavi)	SIC	2 unidades (350 MW)	700	Precipitador	LNOx + SCR	Desulfurizador
	MPX Castilla (Caldera)	SIC	6 unidades (250MW)	2254	Filtro	LNOx	Desulfurizador
	CAP Cruz Grande (La Higuera)	SIC	2 unidades (150 MW)	300	Precipitador	LNOx + SCR	Desulfurizador
	SWB Pirquenes (Arauco)	SIC	1	50	Filtro	Lecho fluidizado	Lecho fluidizado
ZL	Endesa Punta Alcalde (Huasco)	SIC	2 unidades (370 MW)	740	sin información	LNOx	Desulfurizador

### Tecnologías de control probadas, disponibles y eficiencia de remoción

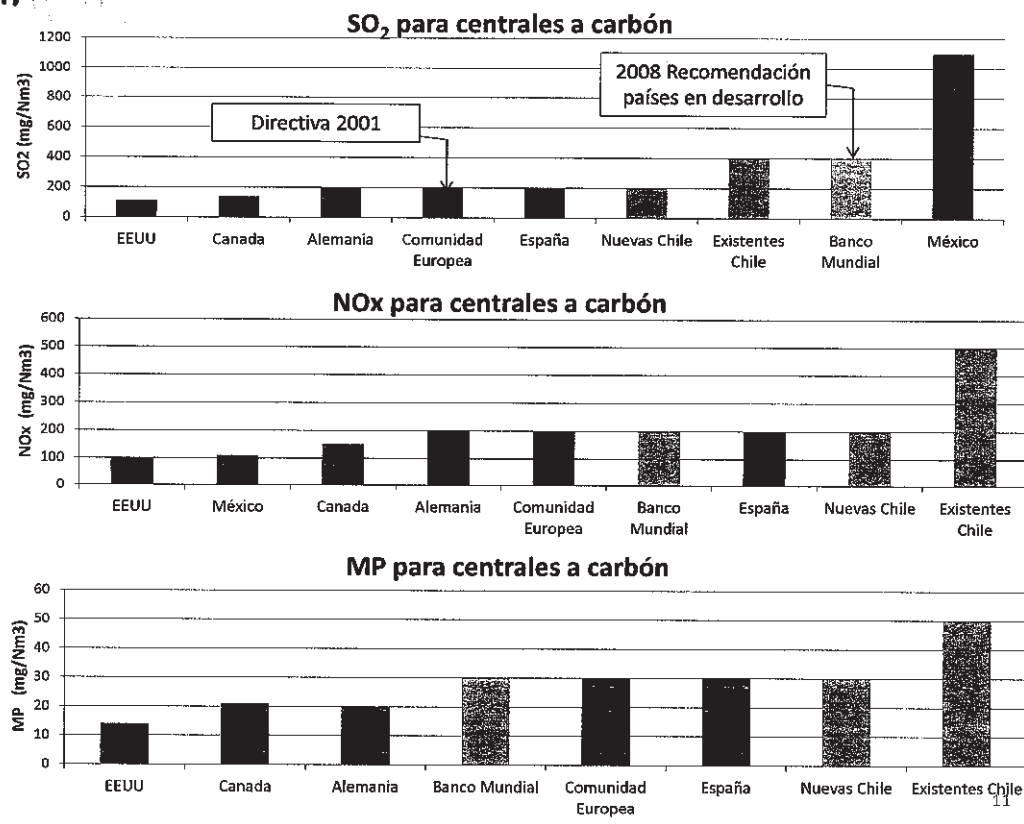
Contaminante	Tecnología de Control	Eficiencia de remoción (%)
<b>MP</b>	ESP	99%
	FF	99,9%
<b>SO<sub>2</sub></b>	DGC agua de mar	97%
	DDGC	94%
	WDGC	98%
<b>NO<sub>x</sub></b>	Quemadores Low-Nox*	55%
	SNCR	50%
	SCR	95%
<b>Hg</b>	ESP o FF	70%
	DGC+ESP o FF	85%

Co-beneficio por reducción de MP - SO<sub>x</sub>

(\*) Quemadores Low NOX corresponde a tecnología básica estándar de quemado

000155

VTA



### Límites de emisión para termoeléctricas post consulta pública

Combustible	Fuentes Existentes (mg/Nm <sup>3</sup> )			Fuentes Nuevas (mg/Nm <sup>3</sup> )		
	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Sólido	50	400	500	30	200	200
Líquido	30	30	200	30	10	120
Gas	n.a.	n.a.	50	n.a.	n.a.	50

n.a. No Aplica

Valores se deben cumplir el 95% de las horas de funcionamiento.

En el caso de las fuentes existentes, se deberá cumplir el límite de NO<sub>x</sub> el 70% del tiempo.

Límite de Mercurio (Hg) para existentes y nuevas que utilicen carbón o petcoke

Combustible	Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )
Carbón y/o Petcoke	0,1

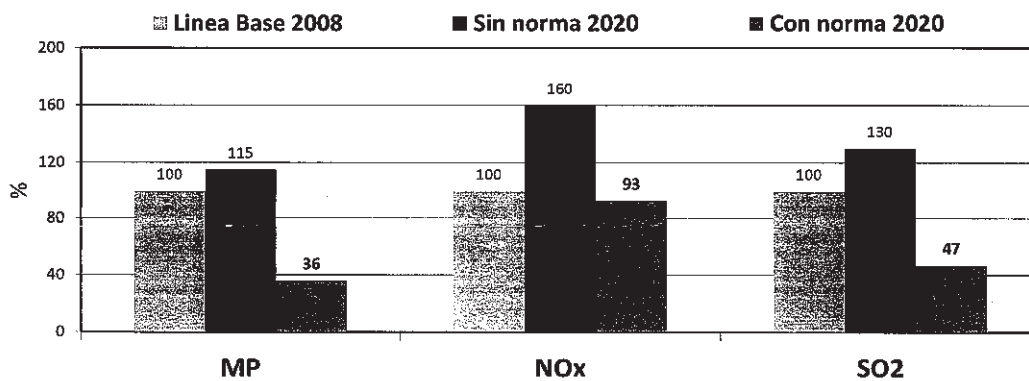
## Resumen de la norma de emisión

1. Aplica a todo el territorio del país
2. Tecnologías: calderas y turbinas
3. Tamaño: mayor a 50 MWt
4. Distingue por combustible: líquido, gaseoso, sólido
5. **Fuentes existentes : se modifican límites para contaminantes criterio: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>**
6. **Fuentes existentes : se establece percentil 70 en el parámetro NO<sub>x</sub>**
7. **Se modifica límites metales pesados: límite sólo Hg, reportar Ni, V**
8. Hito para diferenciar entre existente y nueva: Plan de obras
9. **Gradualidad para que existentes: diferenciado**
10. **Fuentes existentes menores a 150 MWt, diesel, que operen menos del 10% del tiempo, quedan eximidas de cumplir el límite de NO<sub>x</sub>**
11. Monitoreo continuo de emisiones MP-gases y monitoreo discreto para Hg
12. Entrada en vigencia: publicación Diario Oficial
13. Fiscalizador: **Superintendencia de Medio Ambiente**

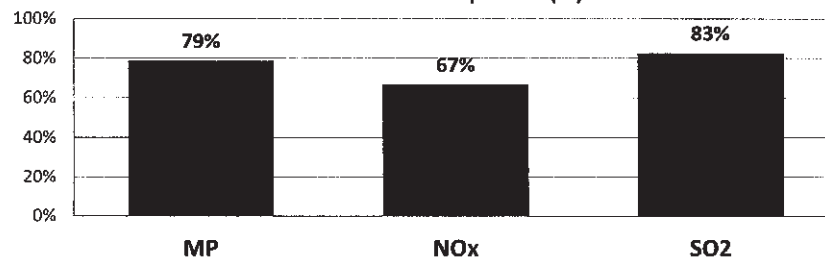
13

## Resultados de la Norma:

### Emisiones con y sin norma 2020



### Reducción máxima esperada (%) al 2020



14

000156

VTA

## Resultados de la Evaluación de la Norma

### 1. Beneficios

- Nº de casos evitados en morbilidad y mortalidad debido a la reducción de concentración de MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM2.5
- Reducción concentración de SO<sub>2</sub> (norma secundaria recursos silvo-agrícolas)
- Reducción depositación particulado sobre coberturas vegetales
- Reducción de Hg sobre cuerpos de agua

### 2. Costos

- Costos Inversión
- Costo Operación + Mantención
- Costos de Monitoreo en línea
- Costos de fiscalización
- Costo Marginal de generación: aumento en la tarifa

### 3. Análisis del plazo de cumplimiento para las existentes (gradualidad)

15

## Número esperado de casos evitados

### Mortalidad evitada/año

MP 202-282

### Morbilidad admisiones hospitalarias evitadas/año

MP 742 -1046

MP2.5 8.055 – 11.290

NO<sub>x</sub> 275 -442

SO<sub>2</sub> 388 - 505

### Beneficios Millones US\$/año

Mill US\$ 234 - 657

16

## Análisis General del Impacto Económico y Social (efectos valorados en salud)

<b>Costo y Beneficio</b>	<b>Anteproyecto</b>
<b>Beneficio Salud</b>	<b>3.816</b>
<b>Costo Inversión y Fijos</b>	<b>1.035</b>
<b>Costo Sistema Eléctrico</b>	<b>707</b>
<b>Costo Total</b>	<b>1.741</b>
<b>Valor Actual Neto</b>	<b>2.075</b>

Resultados en Valor Presente a enero 2010, Millones de  
US\$: VAN de 2 mil millones de dólares

17

## Obras de generación en construcción en el SIC y SING

Sistema	Fecha de entrada		Obras en construcción de generación	Tecnología	Potencia MW
	Mes	Año			
SIC	Septiembre	2014	Central Hidroeléctrica Palatalá	Hidro-Pasada	9
SIC	Septiembre	2014	PE Uncoquer Gas	Eólico	11
SIC	Septiembre	2014	Punta Palmeras	Eólico	45
SIC	Octubre	2014	Parque Eólico Tal Tal	Eólico	99
SIC	Octubre	2014	Central Fotovoltaica Salvador	Solar Fotovoltaico	68
SIC	Octubre	2014	Central Hidroeléctrica Río Macagüén	Hidro-Pasada	19
SIC	Noviembre	2014	El Paso	Hidro-Pasada	60
SIC	Noviembre	2014	Central Hidroeléctrica Los Mirros II	Hidro-Pasada	5,2
SIC	Diciembre	2014	Proyecto Fotovoltaico La Reina	Solar Fotovoltaico	95
SIC	Abril	2015	Central Hidroeléctrica Río Colorado	Hidro-Pasada	15
SIC	Abril	2015	Central Térmica de Respaldo Los Guindos	Diesel	132
SIC	Mayo	2015	Solar Los del Norte	Solar Fotovoltaico	141
SIC	Junio	2015	Elva	Hidro-Pasada	30
SIC	Julio	2015	Cooperación Papeles Cordón S.A.	Gas Natural	50
SIC	Diciembre	2015	Proyecto Solar Canelo (Etapa II)	Solar Fotovoltaico	108
SIC	Septiembre	2015	Guacolda V	Carbón	152
SIC	Julio	2017	CTM-3	GMT-Diesel	245
SIC	Julio	2017	Puze	Hidro-Pasada	136
SIC	Marzo	2018	Alto Muyo - Central Las Lajas	Hidro-Pasada	267
SIC	Mayo	2018	Alto Muyo - Central El Pailón	Hidro-Pasada	264
SIC	Julio	2020	Central Hidroeléctrica San Pedro	Hidro-Pasada	144
SING	Septiembre	2014	Maria Elena	Solar Fotovoltaico	71
SING	Septiembre	2014	Amalá (Módulo 1 - Etapa II)	Solar Fotovoltaico	21
SING	Enero	2015	Complejo Fotovoltaico San Pedro III	Solar Fotovoltaico	30
SING	Enero	2015	Complejo Fotovoltaico San Pedro IV	Solar Fotovoltaico	30
SING	Enero	2015	Complejo Fotovoltaico San Pedro I	Solar Fotovoltaico	17
SING	Abril	2015	Parque Eólico Quillagua I	Solar Fotovoltaico	22
SING	Mayo	2015	Complejo Fotovoltaico San Pedro II	Solar Fotovoltaico	34
SING	Mayo	2015	Complejo Fotovoltaico Calama Sur	Solar Fotovoltaico	30
SING	Julio	2015	Parque Eólico Quillagua II	Solar Fotovoltaico	23
SING	Julio	2015	Uzbe Solar	Solar Fotovoltaico	30
SING	Septiembre	2014	Alta Solar 1 (Etapa I)	Solar Fotovoltaico	18
SING	Septiembre	2014	Alta Solar 1 (Etapa II)	Solar Fotovoltaico	22
SING	Mayo	2016	Cochrane UI	Carbón	236
SING	Octubre	2016	Cochrane UII	Carbón	236
SING	Octubre	2016	Xel'ar	GNL	517
SING	Diciembre	2016	Estación solar Cueva Bonifacio	Termosolar	110
SING	Febrero	2017	Parque Eólico Quillagua III	Solar Fotovoltaico	50

Fuente:  
Programa de obras de Generación y Transmisión del  
Sistema Interconectado Central y del Sistema  
Interconectado del Norte Grande.  
Informe Técnico Anual Agosto 2014.

18



Ministerio de  
Energía

Gobierno de Chile

000158

# Revisión Norma Primaria de Calidad de Aire de SO<sub>2</sub>

Ministerio de Energía  
Carolina Gómez A  
14/10/2014



## Centrales Termoelectricas

000158 VTA

## Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas DS 13/2011 MMA. Diario Oficial 23/06/2011

- Aplicable a termoeléctricas de todo el país, existentes y nuevas
- Unidades de tamaño mayor o igual a 50 MW térmicos, exceptuando a los motores y cogeneradoras.
- Regula MP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Hg
- Se mide en chimenea
- Gradualidad de entrada en vigencia fuentes existentes:
  - MP: 23/12/2013
  - **SO<sub>2</sub>**, NO<sub>x</sub>, Hg: **23/06/2015** (zonas saturadas MP, SO<sub>2</sub> o Nox)
  - **SO<sub>2</sub>**, NO<sub>x</sub>, Hg: **23/06/2016** (zonas no saturadas o latentes)

Fuentes Emisoras Existentes (mg/m3N)

	50	400	500
Sólido	50	400	500
Líquido	30	30	200
Gas	n.a	n.a	50

Fuentes Emisoras Nuevas (mg/m3N)

	30	200	200
Sólido	30	200	200
Líquido	30	10	120
Gas	n.a	100	50

Fuentes Emisoras Nuevas y Existentes (mg/m3N)

Carbón y/o Petcoke	0.1
--------------------	-----

Ministerio de Energía

## Listado Centrales Termoeléctricas SING

Región	Propietario	Nombre Central	Nombre Unidad	Combustible	Potencia (MW elect)	Tipo			
Primera	Celta	Termoeléctrica Tarapacá	C.T. Tarapacá, #1	Carbón y Diesel	158	Turbina de Vapor			
	Edelnor		C.T. Tarapacá, #2	Diesel	23	Turbina Gas			
		Central Iquique	TurboGas	Diesel	23,8	Turbina Gas			
Segunda	Gas Atacama	Central Térmica Atacama	TG1A	Gas Natural y Diesel	126,7	Turbina Gas, Dry low Nox DLN1 (GE)			
			TG1B	Gas Natural y Diesel	126,7	Turbina Gas, Dry low Nox DLN1 (GE)			
			TV1C	Gas Natural y Diesel	142,5	Turbina de Vapor			
			TG2A	Gas Natural y Diesel	123,7	Turbina Gas, Dry low Nox DLN1 (GE)			
			TG2B	Gas Natural y Diesel	124,1	Turbina Gas, Dry low Nox DLN1 (GE)			
			TV2C	Gas Natural y Diesel	136,9	Turbina de Vapor			
	Gener	Norgener S.A	Central Térmica Tocopilla	Generadora N°1	Carbón/Petcoke	136,3	Turbina de Vapor		
				Generadora N°2	Carbón/Petcoke	141,04	Turbina de Vapor		
				N°10	Petróleo N° 6	37,5	Turbina de Vapor		
				N°11	Petróleo N° 6	37,5	Turbina de Vapor		
				N°12	Carbón ó Carbón/Petcoke	85,3	Turbina de Vapor		
				N°13	Carbón ó Carbón/Petcoke	85,3	Turbina de Vapor		
				N°14	Carbón ó Carbón/Petcoke	128,3	Turbina de Vapor		
				N°15	Carbón ó Carbón/Petcoke	130,3	Turbina de Vapor		
				N°16	Gas Natural	400,0	Ciclo Combinado		
				Turbo Gas N° 1	Diesel y Gas Natural (a)	24,7	Turbina Gas		
				Turbo Gas N° 2	Diesel y Gas Natural (a)	24,9	Turbina Gas		
				Turbo Gas N° 3	Diesel y Gas Natural	37,5	Turbina Gas		
				Edelnor	Central Térmica Mejillones	N° 1	Carbón ó Carbón/Petcoke	165,9	Turbina de Vapor
						N° 2	Carbón ó Carbón/Petcoke	175,0	Turbina de Vapor
						N° 3	Gas Natural	250,0	Ciclo Combinado
				ANDINA S.A.	ANDINA	CTA	Carbón	152,6	Turbina de Vapor
	ANGAMOS S.	ANGAMOS	ANG1	Carbón	244	Turbina de Vapor			
			ANG2	Carbón	244,3	Turbina de Vapor			
	HORNITOS S.	HORNITOS	CTH	Carbón	153,9	Turbina de Vapor			

Fuente: "Apoyo a la implementación de Norma de Emisión para centrales termoeléctricas". Gamma Ingenieros S.A 2007 actualizado con la pág. [www.cne.cl](http://www.cne.cl) 2014

Ministerio de Energía



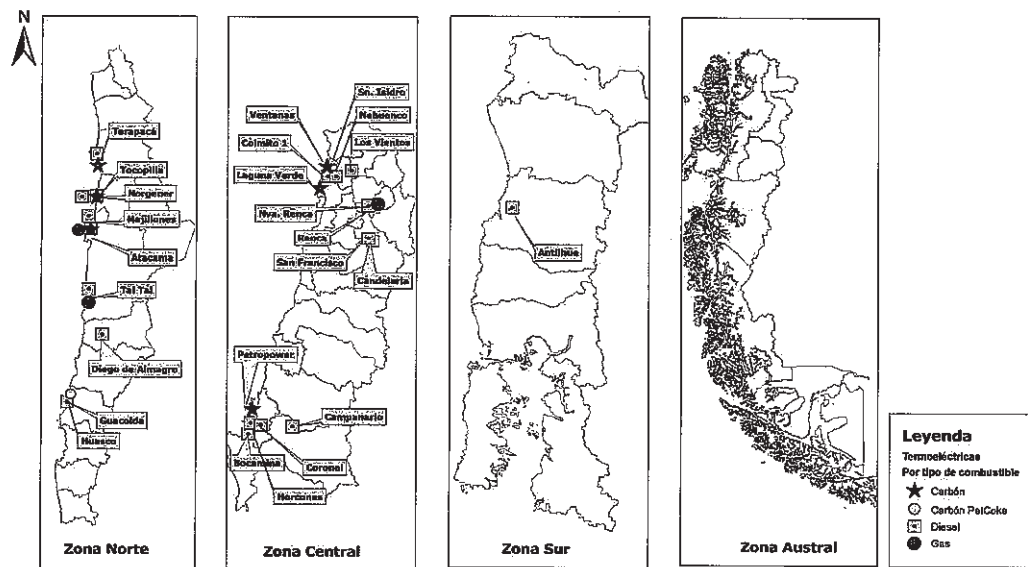
# Listado Centrales Termoeléctricas SIC

000159

Región	Propietario	Nombre Central	Nombre Unidad	Combustible	Potencia (MW)	Tipo	
Segunda	Endesa	Termoeléctrica Taital	C.T. Taital, #1	Gas Natural	120	Turbina Gas ciclo abierto	
			C.T. Taital, #2	Gas Natural	120	Turbina Gas ciclo abierto	
Tercera	Eléctrica Guacolda	Termoeléctrica Guacolda	Unidad N°1	Petcoke, Carbones, Petróleo Diesel y Petróleo 6	152	Turbina de Vapor	
			Unidad N°2	Petcoke, Carbones, Petróleo Diesel y Petróleo 6	152	Turbina de Vapor	
			Unidad N°3	Petcoke, Carbones, Petróleo Diesel y Petróleo 6	152	Turbina de Vapor	
			Unidad N°4	Petcoke, Carbones, Petróleo Diesel y Petróleo 6	152	Turbina de Vapor	
	Endesa	Termoeléctrica Huasco	C.T. Huasco Vapor, # 1	Carbón	8	Turbina de Vapor	
			C.T. Huasco Vapor, # 2	Carbón	8	Turbina de Vapor	
			C.T. Huasco TG, # 3	Petróleo Combustible y Diesel	21,3	Turbina Gas	
			C.T. Huasco TG, # 4	Petróleo Combustible y Diesel	21,3	Turbina Gas	
			C.T. Huasco TG, # 5	Petróleo Combustible y Diesel	21,3	Turbina Gas	
	EMELDA	Emelda	Termoeléctrica Diego de Almagro	C.T. Diego de Almagro, #1	Diesel	23,8	Turbina Gas
				C.T. Diego de Almagro, #2	Diesel	23	Turbina Gas
	IC POWER	San Lorenzo de Diego de Almagro	San Lorenzo de Diego de Almagro	Emelda	Petróleo Diesel	69,3	Turbina Gas
				Cardones	Petróleo Diesel	54,6	Turbina Gas
				SWC	Petróleo Diesel	153,0	Turbina Gas
Quinta	Endesa	Termoeléctrica San Isidro	C.T. San Isidro, #1	Gas Natural y P. Diesel	379	Ciclo Combinado	
			Quintero	Petróleo Diesel	257,0	Turbina Gas	
	Colbun S.A.	Complejo Termoeléctrico Nahuenco	Nahuenco 1	Gas Natural y Diesel	385,0	Ciclo Combinado	
			Nahuenco 2	Gas Natural	385	Ciclo Combinado	
	AES Gener	Central Termoeléctrica Ventanas	Unidad N°1	Gas Natural y Diesel	108	Turbina de Gas	
			Unidad N°2	Carbón, Diesel y Petróleo 6	120	Turbina de Vapor	
			Nueva Ventanas	Carbón, Diesel y Petróleo 6	220	Turbina de Vapor	
			Unidad N°1	Carbón	272,0	Turbina de Vapor	
			Unidad N°2	Carbón	55 (a)	Turbina de Vapor	
			Central TurboGas Laguna Verde	TurboGas	17	Turbina Gas	
	Campiche	Campiche	Campiche	Diesel	272,0	Turbina de Vapor	
				Carbón	58,0	Turbina Gas	
	AES Gener	Central Termoeléctrica Los Ventanos	Los Ventanos	Unidad N°1	Diesel	270	Turbina Gas
				Unidad N°2	Diesel	130	Turbina Gas
Sexta	Colbun S.A.	Central Candelaria	Candelaria I	Gas Natural y Diesel	130	Turbina Gas	
			Candelaria II	Gas Natural y Diesel	130	Turbina Gas	
Octava	Energía Verde S.A.	San Francisco de Mostazal	San Fco. de Mostazal	Diesel	24	Turbina Gas	
			TG Horcones	Gas Natural o Diesel	24 / 24'	Turbina Gas	
			TG Nueva Aldes II	Petróleo Diesel	10 / 10'	Turbina Gas	
			TG Nueva Aldes I	Petróleo Diesel	10 / 10'	Turbina Gas	
Décima	Colbun S.A.	Antihue	Antihue	Gas Natural y Diesel	128	Turbina de Vapor	
			PSEG	Gas Natural y Diesel	47	Turbina a Gas y Petróleo	
			AES Gener	Petróleo Diesel	139,0	Turbina Gas	
			Colbun S.A.	Petróleo Diesel	104,2	Turbina Gas	
			Colbun S.A.	Carbón	370,0	Turbina de Vapor	
			Petropower Energía Ltda.	Petropower Energía Ltda.	Petropower Energía Ltda.	Petcoke	75
Metropolitana	Eléctrica Santiago	Renca	TG1	Diesel	50	Turbina Gas	
			TG2	Diesel	50	Turbina Gas	
			Unidad 1	Diesel	50	Turbina de Vapor	
Metropolitana	Eléctrica Santiago	Nueva Renca	Unidad 2	Diesel	50	Turbina de Vapor	
			Nueva Renca	Gas Natural y Diesel	379 (b)	Ciclo Combinado	

Fuente: Informe Final "Apoyo a la implementación de Norma de Emisión para centrales termoeléctricas". Gamma Ingenieros S.A 2007 actualizado con la pág. [www.cne.cl](http://www.cne.cl) 2014

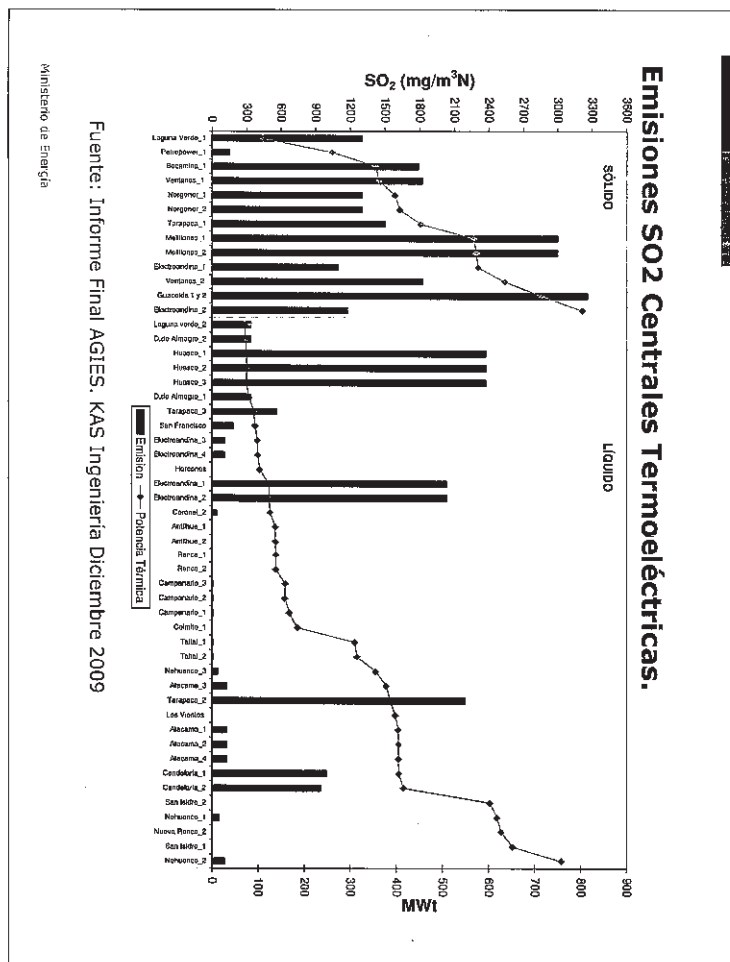
## Localización Centrales Termoeléctricas.



Fuente: Informe Final AGIES. KAS Ingeniería Diciembre 2009

000159

VTA



## Control de SO<sub>2</sub>

- Utilizar combustibles con menor contenido de azufre. Carbones usados en Chile con bajo porcentaje de azufre (<1%)

Tipo de Carbón	Origen	Cenizas %	Volátiles %	Azufre %	Poder Calorífico Superior kcal/kg
Carbón Bituminoso		11,37 - 16,02		0,49 - 4,26	6.368
	Indonesia	8	37	0,6	6.400
	China	11	32	0,7	6.300
	Sudafrica	12	27	0,8	6.200
	Australia (New South Wales)	12	29	0,7	6.300
	Australia (Brisbane)	13	35	0,6	6.400
	Colombia	7	34	0,7	6.500
	Venezuela	8	35	0,6	6.900
Carbón Sub-Bituminoso	EE.UU	11	33 - 36	1 - 3	6.300 - 6.700
		15,93 - 19,54		0,28 - 0,70	3.968
	Indonesia	2	34	0,2	4.300 - 5.100
	EE.UU	5	33	0,4	5.100

Fuente: Guacolda y Gener

- El petróleo pesado puede ser reemplazado por petróleo diesel que tiene menos azufre.
- Implementación de lecho fluidizado para las calderas a vapor, con la inyección de caliza en el lecho se alcanza eficiencias entre 80 a 90%
- Tecnologías de Desulfurizadores húmedos (eficiencia 98%), semiseco (94%), con agua de mar (97%)



## Contenido de Azufre en el combustible

### Marco Normativo

- En Chile los combustibles que se comercializan deben cumplir especificaciones de calidad y normas sobre su comercialización: Decreto N°132/1979, DFL N° 1.

Las especificaciones de calidad quedan determinadas a través de: Normas del INN o por Decreto del Ministerio de Energía.

Especificaciones de calidad Diesel A y B:

- En RM: DS N° 66/2010 (PPDA RM) ➡ Diesel A
- En RP: DS N° 319/2006 M.Econ. ➡ Diesel B
- DS N°60/2012 M. Energía y sus modificaciones
- Diferencias entre Diesel A y B: Agua y sedimentos, destilación máxima, viscosidad máxima, corrosión de lámina de cobre, densidad mínima, residuo carbonoso, azufre y nitrógeno.

000160

JTA

## Reducción de Azufre en el Diesel Nacional

Chile no se encuentra ajeno a la tendencia mundial de reducción de azufre en el diesel:

- A mediados de los años '80 el contenido de azufre del diesel alcanzaba a 5.000 ppm, en septiembre de 2011 el PPDA RM dispuso de diesel A de 15 ppm en la Región Metropolitana y el DS 60/2012 M. Energía dispuso 15 ppm para Gasolinas y 50 ppm para diesel B, ambos para el resto del país.

Reducción del contenido de azufre del diesel:

Concentración Contenido de Azufre en el Diesel  
ppm

Fecha	Región Metropolitana	Resto País	Norma
Jul-97	1,500	5,000	DS 456
Ene-00	1,500	3,000	Nch -62
Abr-00	1,000	3,000	DS 146
Abr-02	300	3,000	
Jul-04	50	3,000	DS 58
Dic-04	50	2,000	DS 133
Jul-05	50	500	
Jul-06	50	350	
Sep-06	50	350	DS 319
Ene-07	50	350	
Ene-08	50	350	
Ene-10	50	50	
Abr-10	50	50	DS 66
Sep-11	15	50	

Ministerio de Energía

## Implicancias del Incremento de Exigencias de Calidad en el Diesel

Producto del PPDA, MMA y MTT, se requiere:

- Cumplimiento de normas de emisión más exigentes: La única calidad permitida de diesel en la RM a partir de septiembre de 2011 es de 15 ppm.
- Obligan en la RM a la adopción de tecnologías que requieren diesel de azufre de 15 ppm (EURO V y IV) a partir de septiembre de 2011:
  - Septiembre de 2011: Vehículos livianos con tecnología Euro V (requiere 15 ppm).
  - Enero de 2012: Vehículos pesados con tecnología Euro III o Euro IV con filtro DPF o SCR (requieren 15 ppm).
  - Septiembre de 2012: Vehículos medianos con tecnología Euro V (requiere 15 ppm).

Ministerio de Energía

000161

## **Inversiones**

Respecto a inversiones, los cambios de especificaciones generalmente han ido asociadas a inversiones de las refinerías Aconcagua y Bio Bio a través de proyectos específicos como en las unidades desulfuradoras HDT, entre otros.

Para el último cambio de especificaciones (DS 60), las inversiones se hicieron parcialmente un par de años antes.

Ministerio de Energía



## **Revisión Norma Primaria de Calidad de Aire de SO<sub>2</sub>**

Ministerio de Energía

Carolina Gómez A

14/10/2014



**ASISTENCIA**  
**"REUNION NORMA PRIMARIA SO2"**

FECHA : Martes, 21 de octubre de 2014  
HORA : 11:00 Horas  
LUGAR : Sal6n de Reuniones Seremi del Medio Ambiente, Atacama

MUNICIPIO	
Omar Maldonado Aravena	Seremi Salud Atacama omar.maldonado@redsalud.gov.cl
Nivaldo Vegaera Baros	Seremi Salud Atacama nivaldo.vegaera@redsalud.gov.cl
CRISTIAN IBARRA F.	MMA c.ibarra@mma.gov.cl
Mariana Humbado Pobos	MMA mariana.humbado@mma.gov.cl
Ernesto Jerez	MMA eresto.jerez@mma.gov.cl

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

**Acta: Reunión con SEREMI del Salud de Atacama sobre la Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 21-10-2014	Hora: 10:00 a 13:00	Lugar: Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región de Atacama. Vallejos 535, Depto. 501, Edificio Doña Isidora, Copiapó.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	Omar Maldonado Araneda	SEREMI Salud - Atacama
2	Nibaldo Vergara Baros	SEREMI Salud - Atacama
3	Mariana Hurtado Robles	SEREMI Medio Ambiente - Atacama
4	Elizabeth Juárez	SEREMI Medio Ambiente - Atacama
5	Cristián Ibarra F.	Ministerio Medio Ambiente

**2. Objetivo de la reunión**

Informar del proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de la situación de las concentraciones de dióxido de azufre en la región de Atacama.

**3. Temas Tratados**

Se adjuntan a la presente acta las siguientes presentaciones:

- a) Presentación de los representantes de la SEREMI de Salud de Atacama sobre situación de las concentraciones dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y sus episodios en la región.
- b) Presentación del representante del Ministerio del Medio Ambiente (Sr. Cristián Ibarra) sobre el proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

**4. Resultados**

- a. Se estima que el Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre se ejecutará entre enero y marzo de 2015, con lo que se espera que el anteproyecto se encuentre terminado a fines de abril de 2015.
- b. El informe de avance del estudio denominado "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)", efectuado por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) para el Ministerio del Medio Ambiente se enviará a la SEREMI de Salud de Atacama para que presenten observaciones.

000183  
VTA.

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

- c. Respecto de la presentación realizada sobre los avances de la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre, se solicita por parte de la SEREMI de Salud de Atacama considerar lo siguiente dentro de la norma:
- - Medidas de precaución hacia la población para abordar los episodios en que se superen los niveles de emergencia, con el objeto de orientar a la población y dar poco espacio a la creatividad individual.
  - - Se considera apropiada las propuestas presentadas para los valores estándar horarios, diarios y anuales, pero se recalca la importancia de definir una excedencia que permita tomar acciones en forma más efectiva. Por ejemplo, la excedencia actual del estándar diario de tres años se considera excesiva.
  - - ¿Cómo se espera evaluar el impacto en la salud de la población de los valores estándar y las excedencias establecidas en las modificaciones de la norma?. Por ejemplo: ¿Se va considerar el seguimiento a la población afectada por asma?, indicar como debe llevarse a cabo esta labor.
  - - Por otro lado, es importante considerar dentro del Comité Operativo de revisión de la norma, la participación de profesionales del área de salud de las personas del Ministerio de Salud y no solamente profesional del área ambiental.

MLH/CIF/...



000164

21/10/2014



Ministerio de  
Salud

Gobierno de Chile

## **Situación concentración SO<sub>2</sub> ENAMI FHVL**


21 Octubre 2014

Omar Maldonado  
SEREMI Salud Región de Atacama

Reunión SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama

Copiapó - Chile

## **EFFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN**




Ministerio de Salud  
Gobierno de Chile

## Estudios de efectos SO<sub>2</sub>, asociados con mortalidad Referenciados por OMS

- Estudio indicó que los niveles de SO<sub>2</sub>, durante 24 horas estaban significativamente asociados con las tasas de mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses, en que la concentración media de SO<sub>2</sub> era solo de 5 µg/m<sup>3</sup> (nivel medio más alto inferior a 10 µg/m<sup>3</sup>) (Burnett *et al.*, 2004. Tomado de Guías de calidad del aire, OMS, 2005).
- Estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS), observó una asociación significativa entre SO<sub>2</sub> y mortalidad para la cohorte de 1982-1988 en 126 zonas metropolitanas de USA, donde la concentración de SO<sub>2</sub> media es de 18 µg/m<sup>3</sup> (donde la media más alta era de 85 µg/m<sup>3</sup>) (Pope *et al.*, 2002. Tomado de Guías de calidad del aire, OMS, 2005).

3



Ministerio de Salud  
Gobierno de Chile

## OMS Guías Calidad del aire, 2005

- Estudios controlados realizados en asmáticos que practicaban ejercicios indican que algunos de ellos experimentan cambios en la funcionalidad pulmonar y síntomas respiratorios con periodos de exposición de 10 minutos (OMS, 2005)

Guías

SO <sub>2</sub> :	20 µg/m <sup>3</sup> , media de 24 horas
	500 µg/m <sup>3</sup> , media de 10 minutos

4

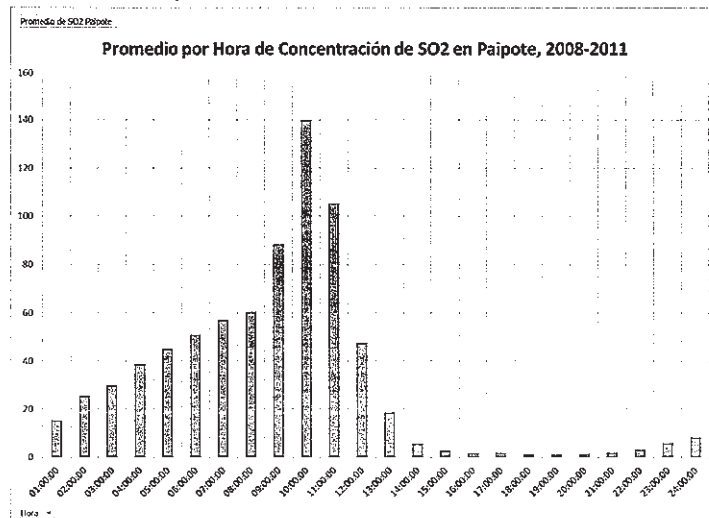
## Niveles normativos de concentración de Dióxido de Azufre y Consultas de Urgencia en el Hospital Regional de Copiapó

Maldonado A, O; Rodríguez O, B; Méndez, F.

Seremi de Salud Atacama

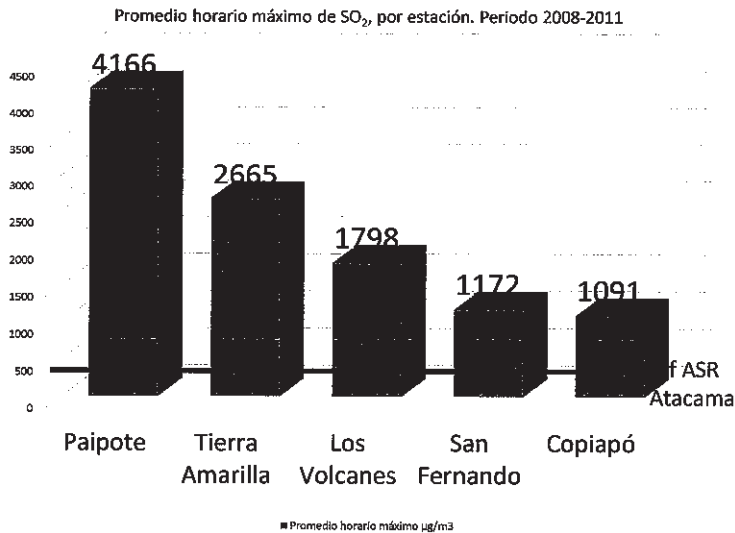
5

La concentración de  $\text{SO}_2$  varía durante el día, debido a las condiciones de dispersión dadas por variables meteorológicas (velocidad del viento, humedad relativa, etc.). Los mayores promedios para el periodo estudiado ocurren alrededor de las 10:00, alcanzado un promedio referencial máximo de  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Paipote.



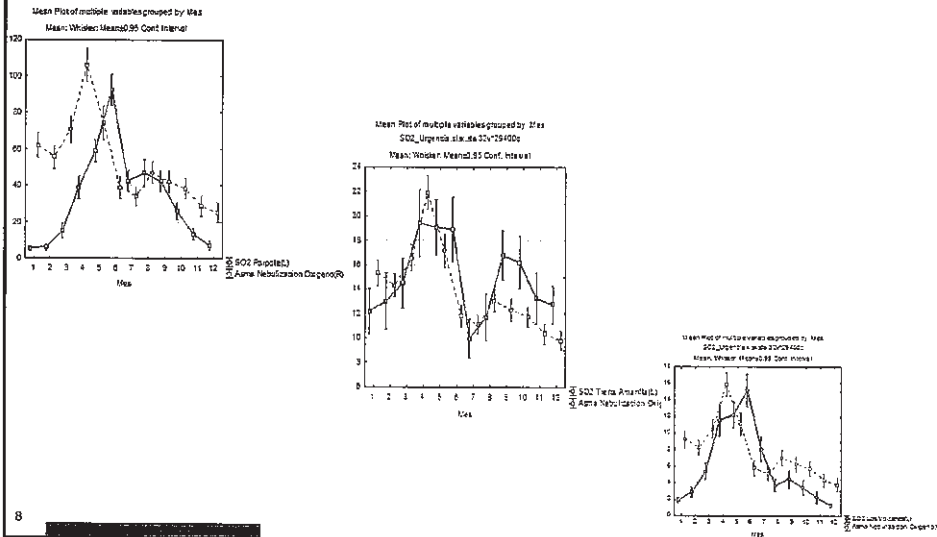
6

### Promedio horario máximo de SO<sub>2</sub>, por estación. Periodo 2008-2011.



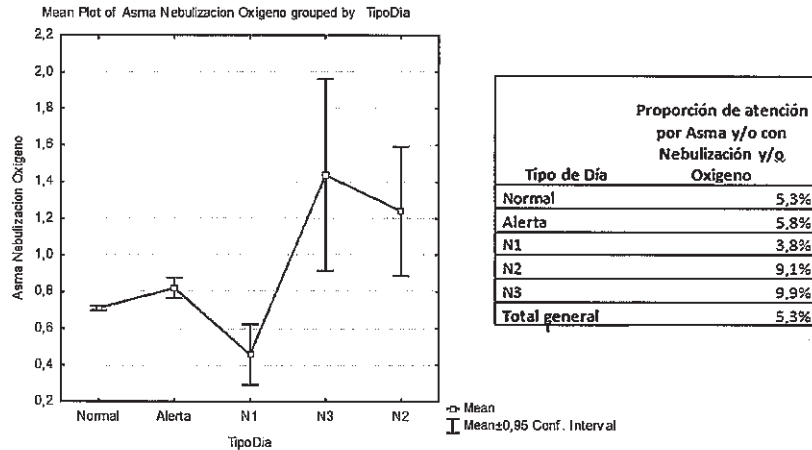
7

Se observa cierta similitud en el patrón de **concentración de SO<sub>2</sub>** en Paipote respecto de **las atenciones por Asma, nebulizaciones y oxigenoterapia**, al comparar las estaciones de Paipote, Tierra Amarilla y Los Volcanes, incluso al considerar el año 2011 incompleto.



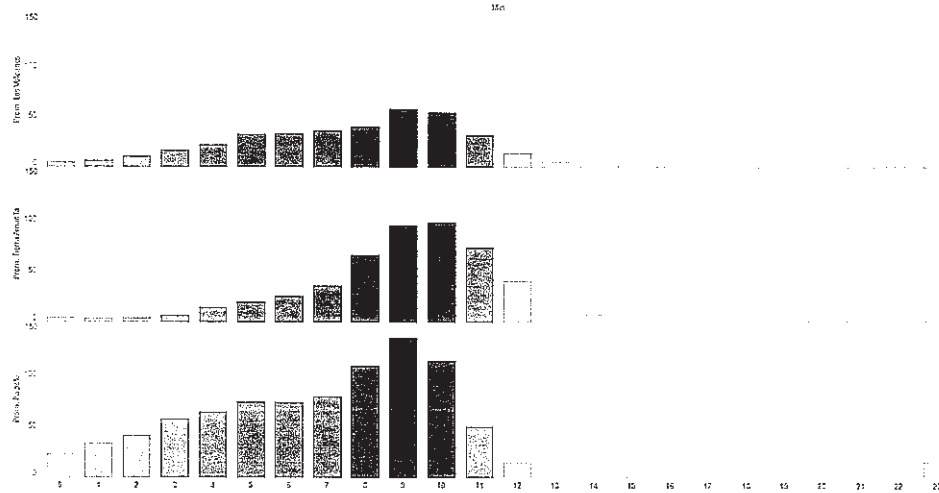
8

Al aislar atenciones por asma o nebulización u oxigenoterapia, se observa un incremento del promedio de atenciones respecto de los días normales cuando los días han sido clasificados como de alerta ( $p < 0,05$ ), además de aumentar cuando se ha presentado niveles de emergencia N3 o N2 ( $p < 0,05$ ).



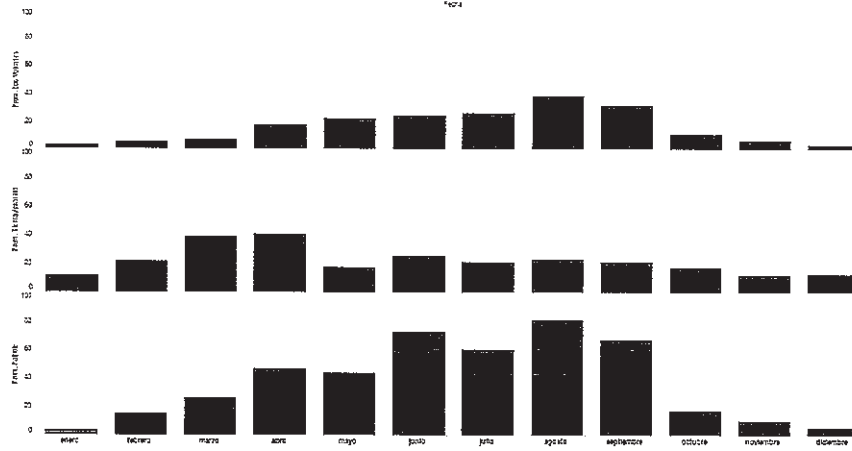
9

## Situación actual 2013-2014: Promedio por hora en 3 estaciones

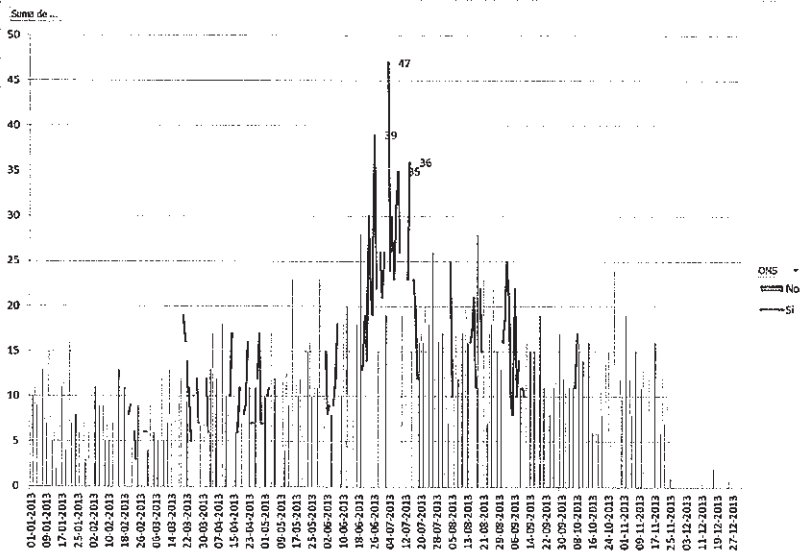


10

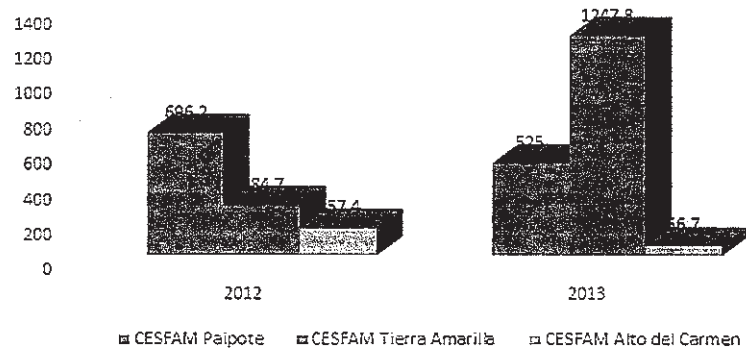
## Situación actual 2013-2014: Promedio por mes en 3 estaciones



En el 2013, los días en que hubo promedios sobre lo recomendado por OMS en la estación Paipote, las atenciones del Servicio de Urgencia por Asma o que requirieron de Nebulización u Oxigenoterapia aumentaron de modo considerable, llegando a un máximo de 47 atenciones.



Tasas crudas de atenciones por "síndrome respiratorio asociado a calidad del aire" por 10.000 inscritos, 2012-2013

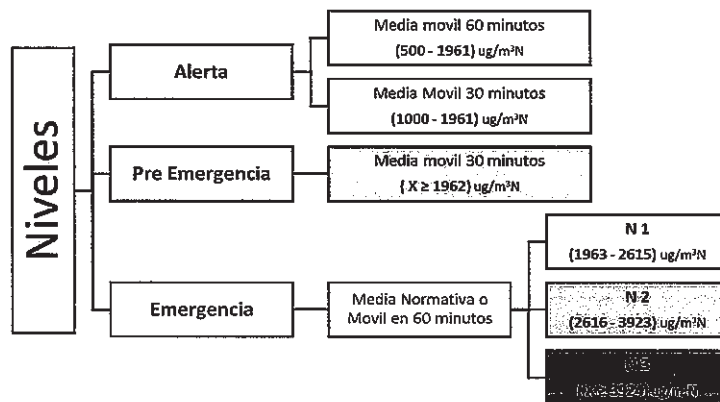


## EPISODIOS

## Conclusiones

- Las concentraciones de SO<sub>2</sub> en las estaciones de Tierra Amarilla y Paipote están sobre las recomendaciones de OMS.
- Se evidencia impacto en la salud de las personas, mediado por denuncias de CESFAM y Escuela, que señalan niños afectados y además, un mayor número de atenciones en el Servicio de Urgencia del Hospital de Copiapó.
- Las concentraciones de las estaciones evaluadas son notablemente mayores a las observadas en Puchuncaví, año 2011, que derivó en el traslado de una escuela y un estudio de metales en personas.
- Se requiere mejorar los procesos antes de la entrada en vigencia de la norma de emisiones.

19



20



**Plan SO2: ALERTA en Estación de Monitoreo Paipote a las 9:26:15 - Mensaje (Texto sin formato)**

0 Los saltos de línea adicionales de este mensaje se han eliminado.

De: Marco Lemus <marco.lemus@redsalud.gov.cl> Enviado el: martes 30-09-2014 9:27

Para: abelardo.cestros@redsalud.gov.cl; edla.araujo@redsalud.gov.cl; alfredo.guimoraes@redsalud.gov.cl; apah.wimmer@redsalud.gov.cl; bakhan.bermudez@redsalud.gov.cl; betabe.rodriguez@redsalud.gov.cl; benedicta.gonzalez@redsalud.gov.cl; carolina.vejar@redsalud.gov.cl; catalina.casasola@redsalud.gov.cl; elisavet.guerrero@redsalud.gov.cl; elvira.rojas@redsalud.gov.cl; elena.orengo@redsalud.gov.cl; elena.munoz@redsalud.gov.cl; gabriela.gonzalez@redsalud.gov.cl; guatemel@redsalud.gov.cl; hector@redsalud.gov.cl; janae.lara@redsalud.gov.cl; julia.pedraza@redsalud.gov.cl; janelva.perez@redsalud.gov.cl; jorge.hinareja@redsalud.gov.cl; marco.lemus@redsalud.gov.cl; ivaniza.aguirre@redsalud.gov.cl; mauricio.bertoglio@redsalud.gov.cl; rayquel.carrizabal@redsalud.gov.cl

CC:

Asunto: Plan SO2: ALERTA en Estación de Monitoreo Paipote a las 9:26:15


Con fecha, 30-09-2014, siendo las 9:25 hrs., se presenta una concentración promedio móvil 60 min. de 657 ug/m3 de anhídrido sulfuroso en la estación monitorea de calidad del aire de Paipote, los vientos se dirigen en dirección del sector de Norte y la tendencia minuto a minuto se observa al alza. Debido a las condiciones observadas nos encontramos en Nivel ALERTA AMBIENTAL. Por lo anterior se solicita iniciar acciones conforme a lo establecido en el "Plan de Acción para enfrentar situaciones de Alerta, Pre Emergencia y Emergencia Ambiental, producidas por Dióxido de Azufre (SO2) en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla".

\*\*\*\*\*  
 Recomendaciones a la Comunidad  
 \*\*\*\*\*

1. La población de niños, adultos mayores y los enfermos agudos y crónicos, respiratorios y con cardiopatías, deben mantenerse en espacios cerrados y no realizar actividad física al aire libre.
2. Personas más sensibles a niveles puntuales de Anhídrido Sulfuroso que perciban su presencia en el ambiente, deben evitar la exposición manteniéndose en recintos cerrados.
3. Población en general no requiere realizar acciones específicas.

Estas indicaciones son generales. En caso particular debe consultar con su médico de cabecera, para solicitar indicaciones específicas según necesidad.

21



**Ministerio de Salud**

Gobierno de Chile

# Gracias

Proceso de Revisión :

Norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Reunión

SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama  
21 de octubre de 2014

Cristián Ibarra F.

Departamento de Normas

División de Calidad del Aire y Cambio Climático

Gobierno de Chile

## Contenido

- Agenda
- Comité operativo y estudio
- Norma primaria de calidad
- Desafíos de la norma
- Propuesta de Estándares (Escenarios Regulatorios)
- Niveles de Emergencia

## Agenda

Resolución Exenta 35 del 18 de enero de 2010, inició el proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire. Se publica en el Diario Oficial el día 19 de Marzo y en un periódico de circulación nacional el 21 de Marzo de 2010 (La Nación).

Resolución Exenta 1.109 del 27 diciembre 2013, Amplió plazo para elaborar anteproyecto hasta el 31 de diciembre de 2014

- ✓ **2009:** estudio antecedentes para la Revisión de las normas primarias de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). KAS Ambiental S.A., Dic. 2009
- ✓ **20 de Abril de 2010,** 1° Reunión Comité Operativo:
- ✓ **Marzo 2014:** Reactivación del proceso de revisión
- ✓ **Prioridad Ministerial:** 1) Revisión norma SO<sub>2</sub> 2) NO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> y CO
- ✓ Estudio en desarrollo antecedentes complementarios (CENMA)
- ✓ **Ene-Feb-Mar 2015.** Análisis General del Impacto Económico y Social
- ✓ **Fines de Abril, 2015.** Plazo entrega anteproyecto Ministro, Inicio Consulta Pública

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## Comité Operativo

El Comité Operativo de esta revisión fue aprobado por el Consejo Directivo de la CONAMA, el día 26 de Enero de 2010, y esta constituido por:

Representantes:

- Ministerio de Salud
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción
- Ministerio de Minería
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- Ministerio de Energía

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## Estudio en desarrollo antecedentes complementarios (CENMA)

- 1° informe de avance, 8 de agosto
- 2° informe de avance, 28 de octubre
- Informe Final, 9 de diciembre

Plazo para revisar informes: 5 días hábiles

- Seminario presentación de resultados

## Recordemos: Normas primarias de calidad

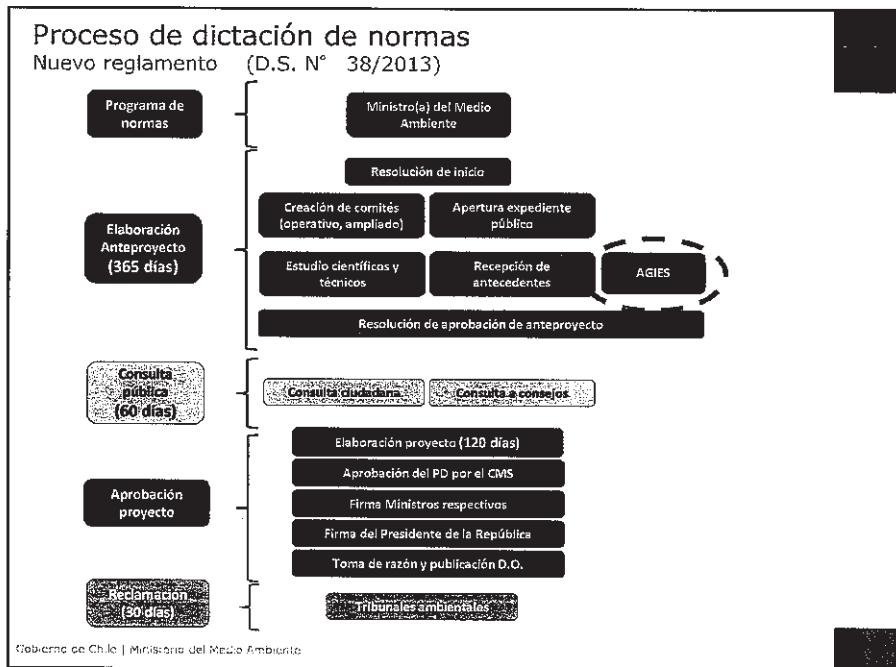
*“Son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.” (\*)*

*(\*) Ley 19.300, Artículo 2.*

### Evolución de las normas de calidad primarias de aire en Chile

- 1978** Resolución Nº1.215 del Ministerio de Salud (No publicada)  
(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PTS)
- 1991** Decreto Supremo Nº185 del Ministerio de Minería (Aún Vigente)  
(SO<sub>2</sub>, MP10)
- 1995** Decreto Supremo Nº93  
Reglamento de dictación y revisión normas calidad y emisión
- 1999** Revisión de Normas Primarias, dando como resultado:
  - O<sub>3</sub> Decreto Supremo Nº112 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)
  - SO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº113 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)
  - NO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº114 (Publicado en el Diario Oficial 06.03.2003)
  - CO Decreto Supremo Nº115 (Publicado en el Diario Oficial 10.09.2002)
- 2013** Decreto Supremo Nº 38 del Ministerio del Medio Ambiente  
Reglamento para la dictación de normas calidad ambiental y de emisión

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente



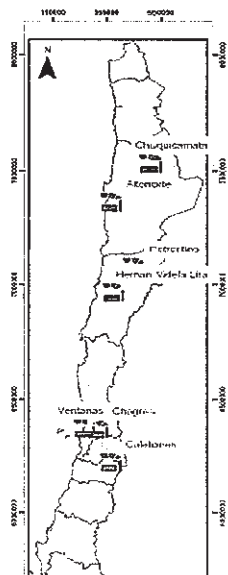
## Fundamentos para revisar la norma

1. Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión señala :

“Toda norma de calidad ambiental y de emisión será revisada, según los criterios establecidos en este párrafo, a lo menos cada 5 años”.

2. Nuevos antecedentes científicos a nivel internacional que indican la necesidad de readecuación de la norma de  $\text{SO}_2$ , para que sea efectiva y eficiente en el objetivo de protección que persigue
  - Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). *Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong*. *Environ Health Perspect* 109, 335-340.
  - Hedley, A.J., Wong, C.M., Thach, T.Q., Ma, S., Lam, T.H., and Anderson, H.R. (2002). *Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study*. *Lancet* 360, 1646-1652.
3. Constatación de eventos de corta duración de  $\text{SO}_2$  en localidades pobladas industriales => la norma no estaría protegiendo la salud de grupos vulnerables de la población.

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente



## Desafíos de esta norma

- Armonizar instrumentos ambientales
- Valores estándar
- Criterio de los niveles de emergencia

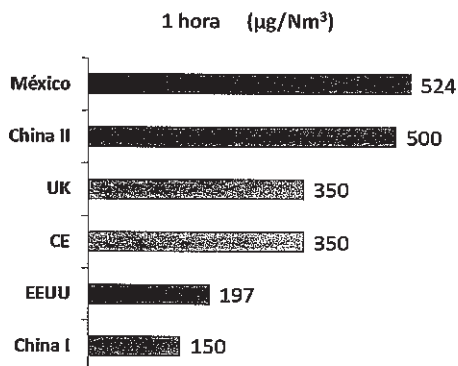
## Propuesta de Estándares Escenarios Regulatorios

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

### Comparación de estándar de 1 hora de SO<sub>2</sub>

**CHILE** carece de estándar de 1 hora

Escenario
500
350
197



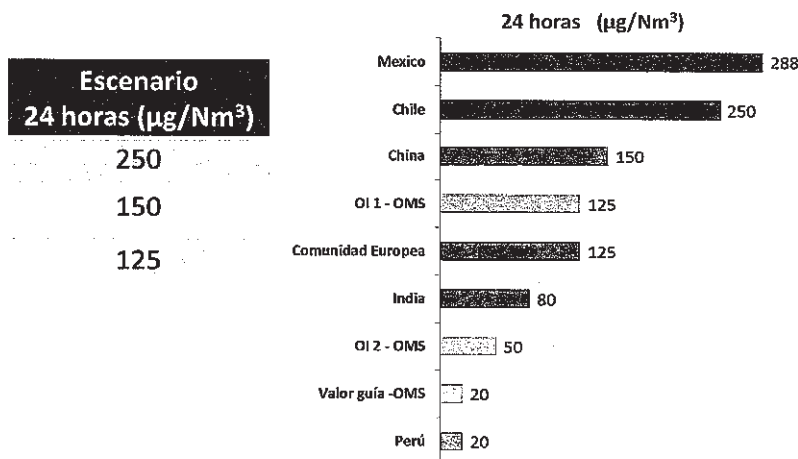
CE : Comunidad Europea 28 países  
China I : Corresponde a zonas protegidas  
China II: Corresponde a zonas urbanas

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## CE: Comunidad Europea, 28 países:

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Alemania (1952)       | 15. Hungría (2004)         |
| 2. Austria (1995)        | 16. Irlanda (1973)         |
| 3. Bélgica (1952)        | 17. Italia (1952)          |
| 4. Bulgaria (2007)       | 18. Letonia (2004)         |
| 5. Chipre (2004)         | <b>19. Lituania (2004)</b> |
| 6. Croacia (2013)        | 20. Luxemburgo (1952)      |
| 7. Dinamarca (1973)      | 21. Malta (2004)           |
| 8. Eslovaquia (2004)     | 22. Países Bajos (1952)    |
| 9. Eslovenia (2004)      | <b>23. Polonia (2004)</b>  |
| <b>10. España (1986)</b> | <b>24. Portugal (1986)</b> |
| 11. Estonia (2004)       | 25. Reino Unido (1973)     |
| 12. Finlandia (1995)     | 26. República Checa (2004) |
| 13. Francia (1952)       | 27. Rumanía (2007)         |
| 14. Grecia (1981)        | 28. Suecia (1995)          |

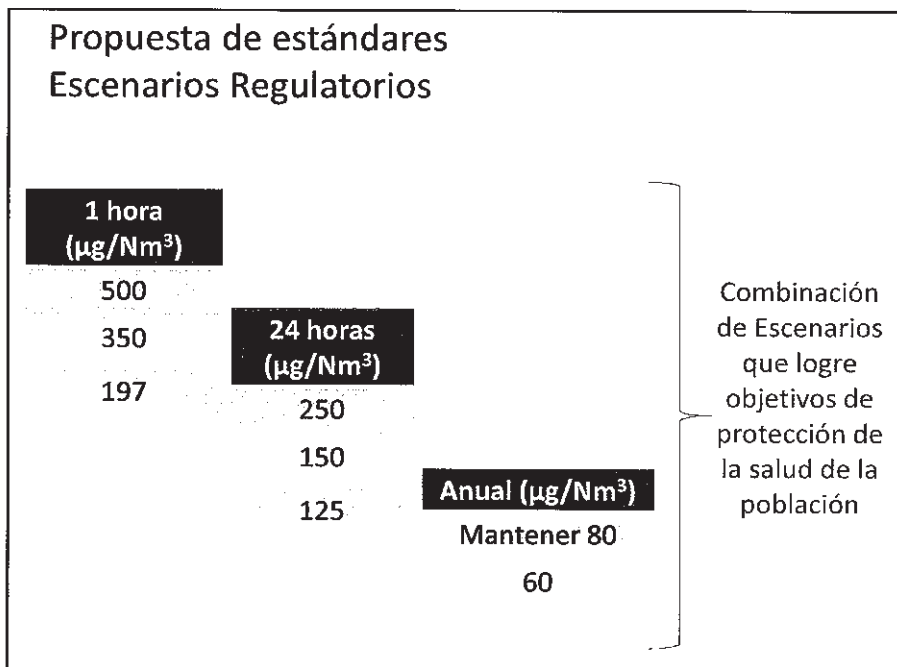
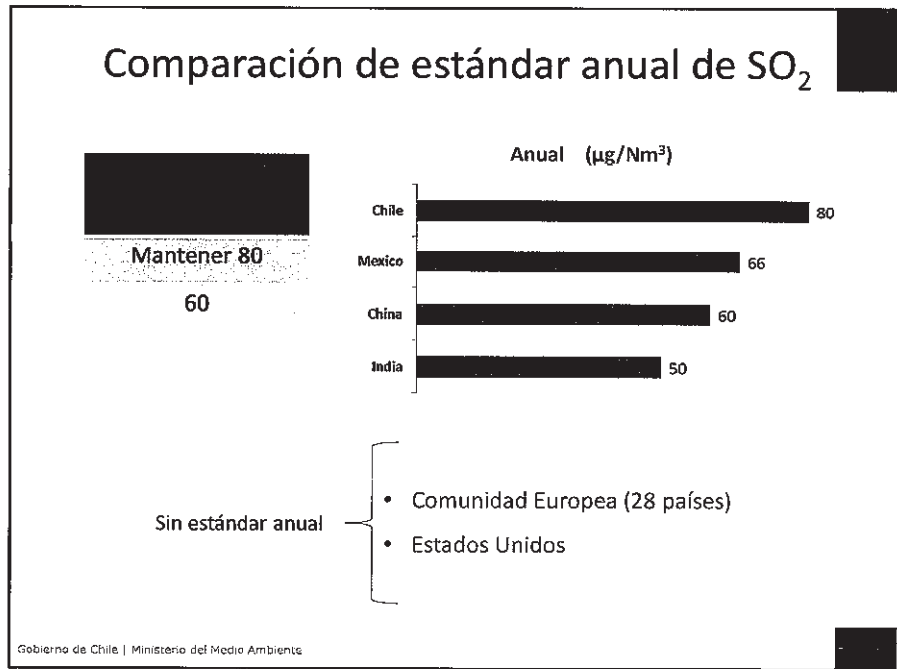
## Comparación de estándar 24 horas de SO<sub>2</sub>



CE: Comunidad Europea 28 países

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente





## Análisis para establecer NIVELES DE EMERGENCIA

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

### Ejemplo de algunos modelos de protección de la salud frente a eventos de corta duración

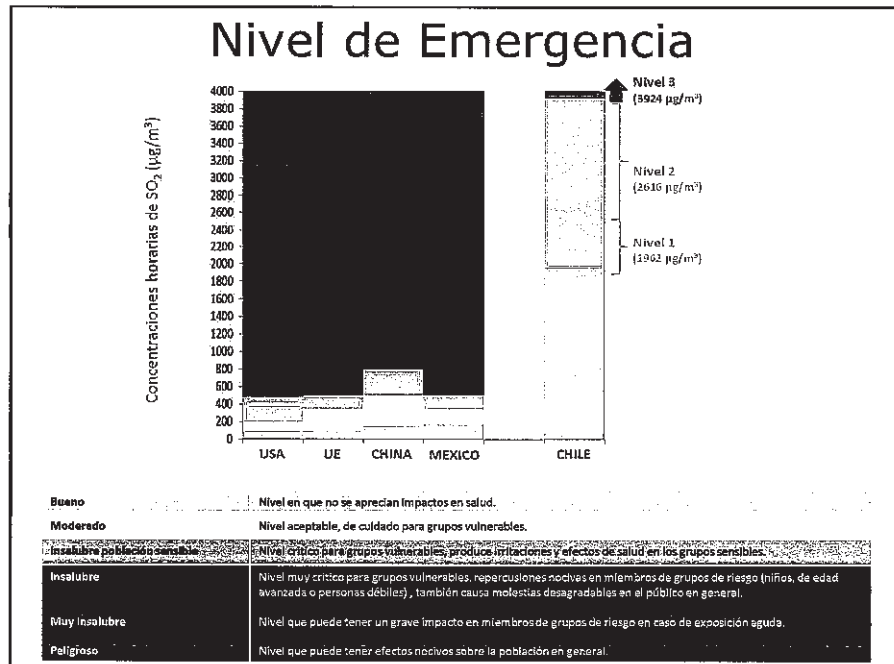
#### Niveles de emergencia Chilenos

- Chile establece 3 niveles de emergencia utilizando concentraciones horarias de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

(05185/92; 05113/ <http://www.levchile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=> )

#### Indicadores de calidad del aire (AQI)

- Estados Unidos utiliza concentraciones horarias de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) hasta el **Nivel Insalubre (rojo)**. En los siguientes niveles: **Muy Insalubre y Peligroso** utiliza concentraciones de 24 horas. (<http://www.airnow.gov/>)
- China basa la construcción de sus AQI en un algoritmo semejante al de Estados Unidos. (<http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqbjbh/cqfffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> )
- Reino Unido comúnmente usa el *Daily Air Quality Index* recomendado por Committee on Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP), el cual contiene 10 puntos (*break points*) agrupados en 4 bandas. (<http://ukair.defra.gov.uk/air-pollution/daq/>)



## Conversación

¿Qué valor estándar recomendarían? ¿por qué?

¿Qué nivel de emergencia recomendarían? ¿por qué?

29

187000

MUCHAS GRACIAS

Cristián Ibarra F.  
cibarra@mma.gob.cl

21

**“Reunión con Fundiciones de Cobre para informar sobre Revisión Norma Primaria de Calidad del Aire para SO<sub>2</sub>”**

FECHA: Miércoles 29 de octubre de 2014 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: Sala FUTA Huérfanos 1313 Piso 3.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	EMAIL
1	José Espinoza V.	Codelco - Ventanas	jose.espinoza.v@codelco.cl
2	Marcela Pantoja C.	Codelco - Ventanas	mpant003@codelco.cl
3	Pablo Bohle	Codelco - Ventanas	pbohle@codelco.cl
4	Vania Andrade	Codelco - Chuquicamata	vandrade@codelco.cl
5	Jonkion Font	Codelco - Chuquicamata	jfont@codelco.cl
6	Marcelo Stocke	Codelco - Ministro Hales	mstocke@codelco.cl
7	Claudio Campos	Codelco - Ministro Hales	ccamp005@codelco.cl
8	Jorge Tapia S.	Codelco - Ministro Hales	jtapi056@codelco.cl
9	Javier Ortiz B.	Codelco - Ministro Hales	jorti027@codelco.cl
10	Claudio Bermudez	Codelco - Chuquicamata	cberm001@codelco.cl
11	Pedro Santic C.	COCHILCO	psantic@cochilco.cl
12	Raimundo Riveros	Codelco - El Teniente	rrive005@codelco.cl
13	Gloria Arias araya	Codelco - El Teniente	garia001@codelco.cl
14	Ma Belén Mendiburu V	Codelco CM	mmendibu@codelco.cl
15	Ricardo Perez Peters	Codelco - El Teniente	rpere030@codelco.cl
16	Paul D. Maidstone	Codelco	pmaidsto@codelco.cl
17	Mauricio Vera Santander	Codelco - El Teniente	mvera@codelco.cl

000176

VTA

18	Carlos Henríquez	Altonorte	carlos.henriquez@glencore.cl
19	Lemul Contreras	Codelco	lcontrer@codelco.cl
20	Juan Carlos Guzmán	Codelco - Chuquicamata	jcguzman@codelco.cl
21	Edgardo Rivas	Codelco - Chuquicamata	eriva002@codelco.cl
22	Patricio Fernández	Angloamerican - Chagres	patricio.fernandez@angloamerican.com
23	Carlos Salvo Provoste	Angloamerican - Chagres	carlos.salvo@angloamerican.com
24	Cristian Santander A.	Codelco - Salvador	csant001@codelco.cl
25	Carolina Candia Lara	Codelco - Salvador	ccand005@codelco.cl
26	Francisca Domínguez	Codelco	fdominguez@codelco.cl
27	Nadya Alfaro Espinoza	ENAMI - FHVL	nalfaro@enami.cl
28	Claudia Azola Portilla	ENAMI - FHVL	cazola@enami.cl
29	Roberto Sáez S.	ENAMI - FHVL	rsaez@enami.cl

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

**Acta: Reunión con representantes de las Fundiciones de cobre.**

Fecha de reunión: 29-10-2014	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Sala FUTA Huérfanos 1313, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	José Espinoza V.	Codelco - Ventanas
2	Marcela Pantoja C.	Codelco - Ventanas
3	Pablo Bohle	Codelco - Ventanas
4	Vania Andrade	Codelco - Chuquicamata
5	Jonkion Font	Codelco - Chuquicamata
6	Marcelo Stocke	Codelco - Ministro Hales
7	Claudio Campos	Codelco - Ministro Hales
8	Jorge Tapia S.	Codelco - Ministro Hales
9	Javier Ortiz B.	Codelco - Ministro Hales
10	Claudio Bermudez	Codelco - Chuquicamata
11	Pedro Santic C.	COCHILCO
12	Raimundo Riveros	Codelco - El Teniente
13	Gloria Arias araya	Codelco - El Teniente
14	Ma Belén Mendiburu V	Codelco CM
15	Ricardo Perez Peters	Codelco - El Teniente
16	Paul D. Maidstone	Codelco
17	Mauricio Vera Santander	Codelco - El Teniente
18	Carlos Henríquez	Altonorte
19	Lemul Contreras	Codelco
20	Juan Carlos Guzmán	Codelco - Chuquicamata
21	Edgardo Rivas	Codelco - Chuquicamata
22	Patricio Fernández	Angloamerican - Chagres
23	Carlos Salvo Provoste	Angloamerican - Chagres
24	Cristian Santander A.	Codelco - Salvador
25	Carolina Candia Lara	Codelco - Salvador
26	Francisca Domínguez	Codelco
27	Nadya Alfaro Espinoza	ENAMI - FHVL
28	Claudia Azola Portilla	ENAMI - FHVL
29	Roberto Sáez S.	ENAMI - FHVL
30	Carmen Gloria Contreras	Ministerio del Medio Ambiente
31	Priscilla Ulloa	Ministerio del Medio Ambiente
32	Cristián Ibarra	Ministerio del Medio Ambiente

**2. Objetivo de la reunión**

- a) Informar sobre los avances en el proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- b) Recoger observaciones del sector de fundiciones de cobre sobre el proceso normativo.

### 3. Temas Tratados

Se adjuntan a la presente acta la siguiente presentación:

- a) Presentación del representante del Ministerio del Medio Ambiente sobre los avances del proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

### 4. Resultados

- Los representantes de ENAMI consultan sobre la información que utiliza CENMA para desarrollar su estudio. ENAMI hará llegar al Ministerio del Medio Ambiente los datos de las estaciones cercanas a la Fundición Hernán Videla Lira para el año 2013.  
Los representantes del Ministerio del Medio Ambiente responden que el estudio del CENMA utiliza la información de calidad del aire entregada por las fundiciones de cobre cuando el Ministerio del Medio Ambiente la solicitó. Además, se menciona que el experto en toxicología que trabajó en el estudio es Julio Salinas y la experta en epidemiología es Patricia Matus.
- Los representantes del Ministerio del Medio Ambiente indican que existe preocupación por las emisiones de dióxido de azufre del tipo puff. Por lo tanto, se debe compatibilizar un estándar horario y los niveles de emergencia con las emisiones fugitivas de las fundiciones de cobre. Además, que la norma de calidad básicamente es un acuerdo a nivel país de cuál es el riesgo a la salud de la población que estamos dispuestos a tolerar.
- El Sr. L. Contreras plantea que 200 µg/m<sup>3</sup> como primer nivel de emergencia no se puede cumplir con 600 ppm de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en chimenea. También indica que no hay que descuidar la mirada y análisis técnico, teniendo cuidado en los criterios de excedencia que se utilizarán y los supuestos de las emisiones futuras.
- El Sr. C. Salvo plantea lo siguiente:
  - Se pueden tener diferentes miradas de modelos predictivos, pero la modelación de calidad del aire para períodos cortos, menores a una hora, es muy incierta.
  - Buscar la racionalidad, por lo tanto se debe esperar que la norma de emisión se encuentre activa para implementar la norma de calidad, se debe usar el principio de gradualidad para la norma de calidad.
  - Para evaluar la Fundación Chagres se debe esperar el cambio de catalizador de su planta de ácido y en valores de concentración de 1 hora porque ya tienen mejoras operacionales para bajar emisiones del tipo puff.
- Los representantes de Chuquicamata preguntan si el proceso de la norma está considerando otras fuentes, como la quema de pastizales y neumáticos. El MMA responde que se analizan los datos de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y los niveles de riesgo en que está expuesta la población.



- La representante de la Fundición Hernán Videla Lira, Nadia Alfaro indica lo siguiente:
  - La comunidad se está acercando a la Fundición HVL cada vez más, provocando el aumento de reclamos.
  - Finalmente plantea que el SAG y Salud están exigiendo niveles de emergencia más estrictos que los establecidos en la norma primaria de SO<sub>2</sub> vigente.
- La Sra. Francisca Domínguez plantea lo siguiente:
  - Se debe realizar un análisis histórico del dióxido de azufre.
  - Se deben indicar los criterios de excedencia y los escenarios propuestos por el MMA.
  - Considerar como un mal ejemplo el caso de la norma de calidad del aire de SO<sub>2</sub> en el Perú, ya que establecieron para el año 2014 el valor guía recomendado por la Organización Mundial de Salud (OMS)<sup>1</sup>, 20 µg/m<sup>3</sup> para un período de 24 horas, y después se dieron cuenta que no podían cumplirlo en las cuencas atmosféricas de Ilo (tiene una fundición de cobre), La Oroya (tiene una fundición polimetálica) y Arequipa (asociado a problemas en el transporte).
- Finalmente, se informa que el MMA establece como criterio esencial en el proceso de revisión de la norma de calidad de SO<sub>2</sub>, la armonización de entre la norma de calidad de SO<sub>2</sub> y la norma de emisión de fundiciones de cobre (D.S.28/2013) y la norma de emisión para centrales termoeléctricas (D.S.13/2011).
- Además, se invita a revisar el expediente público electrónico del proceso de la norma primaria de dióxido de azufre en el siguiente link: <http://planesynormas.mma.gob.cl>

CGCF/PU/CIF/...

---

<sup>1</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, 2005. ( [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf) )

Proceso de Revisión :

## **Norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Reunión con fundiciones de cobre  
Casa Matriz CODELCO, Santiago  
29 de octubre de 2014

Cristián Ibarra F. - Coordinador de la norma

Priscilla Ulloa Menares - Profesional del Departamento de normas

Carmen Gloria Contreras - Jefa Departamento de normas

Sebastián Tolvett C. - Jefe de la División de Calidad del Aire

Departamento de Normas

División de Calidad del Aire y Cambio Climático

Gobierno de Chile

### **OBJETIVO de la Reunión**

---

- ✓ **Informar sobre los avances en el proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**
  
- ✓ **Recoger observaciones del sector de fundiciones de cobre sobre el proceso normativo**

000179

JTA

## **CONTENIDO**

---

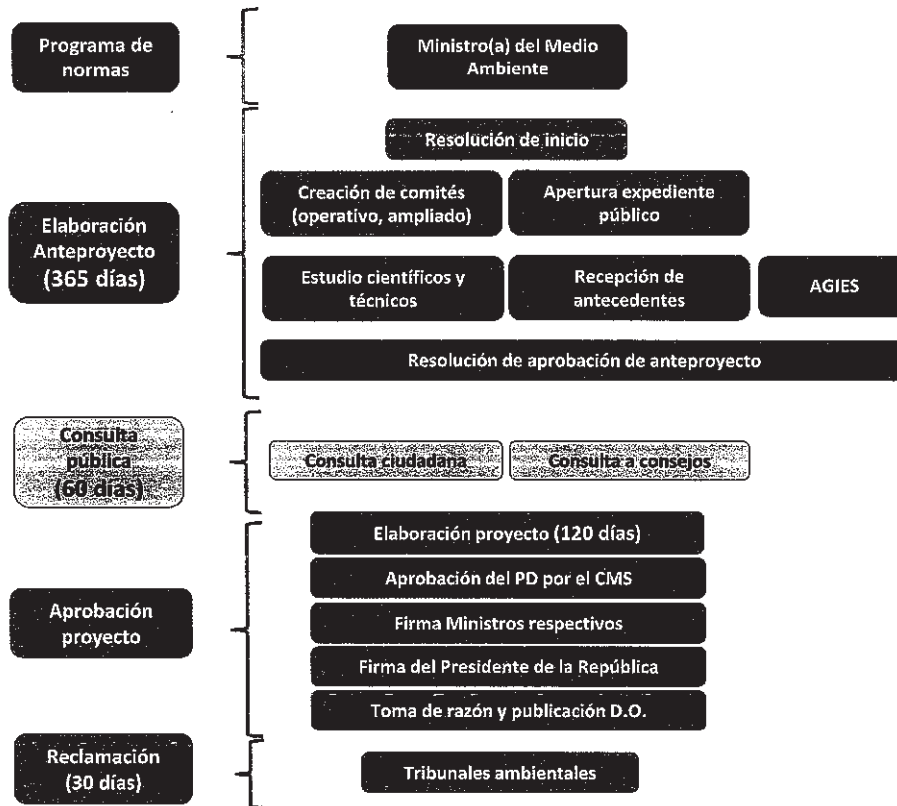
1. Antecedentes administrativos
2. Antecedentes técnicos y fundamentos para la revisión de la norma
3. Comparación de valores de estándares
4. Niveles de emergencia

### **1. Antecedentes administrativos**

# Proceso de dictación de normas

Nuevo reglamento (D.S. Nº 38/2013)

000180



## Agenda de trabajo

Resolución Exenta 35 del 18 de enero de 2010, inició el proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire. Se publica en el Diario Oficial el día 19 de Marzo y en un periódico de circulación nacional el 21 de Marzo de 2010 (La Nación).

Resolución Exenta 1.109 del 27 diciembre 2013, Amplió plazo para elaborar anteproyecto hasta el 31 de diciembre de 2014

- ✓ **2009:** estudio antecedentes para la Revisión de las normas primarias de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). KAS Ambiental S.A., Dic. 2009
- ✓ **Marzo 2014:** Reactivación del proceso de revisión
- ✓ **Prioridad Ministerial: Revisar la norma SO<sub>2</sub>**
- ✓ **Fines de Marzo, 2015.** Plazo entrega anteproyecto Ministro, Inicio Consulta Pública

000180  
VTA

## Comité Operativo revisión norma primaria de calidad para SO<sub>2</sub>

El Comité Operativo fue aprobado por el Consejo Directivo de la CONAMA, el día 26 de Enero de 2010, constituido por:

- Ministerio de Salud
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción
- Ministerio de Minería
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- Ministerio de Energía

## Expediente electrónico

[http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema\\_ambiental=1](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tema_ambiental=1)

Ministerio del Medio Ambiente  
EXPEDIENTES ELECTRÓNICOS  
Planes y Normas

Normas Calidad > Aire > En elaboración

Normas Calidad | Normas emisión | Planes

**Aire**

La recuperación de la calidad del aire en los centros urbanos ha sido uno de las prioridades gubernamentales de los últimos quince años. Se han realizado diagnósticos e inventarios de emisiones en las principales ciudades del país, lo que ha permitido iniciar las gestiones de solución para aquellos problemas detectados, como la contaminación generada por la combustión de leña y por la intensa actividad industrial.

Tema ambiental	Tipo	Estado	Región	Buscar
Aire	Norma	En elaboración	Todos	

Nombre	Fecha inicio del proceso	Estado Actual del Proceso	Caracteres Pendientes
Revisión Norma de Calidad Primaria de MPH (CONAMA) de 2012	6-sep-2014	Elaboración de Anteproyecto	Elaboración de Anteproyecto
Revisión Norma de Calidad Primaria para SO <sub>2</sub>	31-ene-2013	Elaboración de Anteproyecto	En elaboración de Anteproyecto

Ministerio del Medio Ambiente de Chile, calle San Martín #77 Santiago / Fono: (56-2) 2573500 / Oficina de Informaciones, Recintos y Supervisión (56-2) 2573500

## 2. Antecedentes técnicos y fundamentos para la revisión de la norma

### Recordemos: Normas primarias de calidad

*“Son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.” (\*)*

*(\*) Ley 19.300, Artículo 2.*

000181 **Evolución de las normas de calidad primarias  
de aire en Chile**

---

- 1978 Resolución Nº1.215 del Ministerio de Salud (No publicada)  
(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PTS)
- 1991 Decreto Supremo Nº185 del Ministerio de Minería (Aún Vigente)  
(SO<sub>2</sub>, MP10)
- 1995 Decreto Supremo Nº93 (Actualizado D.S. Nº38/2013)  
Reglamento de dictación y revisión normas calidad y emisión
- 1999 Revisión de Normas Primarias, dando como resultado:
- O<sub>3</sub> Decreto Supremo Nº112
  - SO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº113 (Publicado en el D.O. **2003**)
  - NO<sub>2</sub> Decreto Supremo Nº114
  - CO Decreto Supremo Nº115
- 

El D.S. Nº 113, mantiene el estándar anual que se estableció en la Resolución 1.215 de 1978 y modifica la concentración de 24 horas, establecida en el D.S. 185 de 1991. Es decir, los estándares tienen más de 30 años de vigencia.



**cenma**  
Centro Nacional del Medio Ambiente

Segundo Informe de Avance  
Contrato:

"Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica  
para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de  
Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)"

ID N° 608897-40-LE14

Elaborado para:



Ministerio del Medio Ambiente  
Subsecretaría del Medio Ambiente

Santiago, Octubre de 2014

## Objetivo:

Contar con antecedentes y una evaluación técnica-económica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

El Informe Final programado para inicios de diciembre.

## Fundamentos para revisar la norma

**1. Han transcurrido más de 10 años desde la última revisión**

**2. Nuevos antecedentes de efectos en salud en episodios de corta duración, que indican la necesidad de readecuación de la norma de SO<sub>2</sub>, para que sea efectiva y eficiente en el objetivo de protección de salud**

- Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). *Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong*. Environ Health Perspect 109, 335-340.
- Hedley, A.J., Wong, C.M., Thach, T.Q., Ma, S., Lam, T.H., and Anderson, H.R. (2002). *Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study*. Lancet 360, 1646-1652.
- Guía de Calidad del Aire de la OMS (2005).

**3. Chile no cuenta con un estándar de corta duración**



000182  
VTA

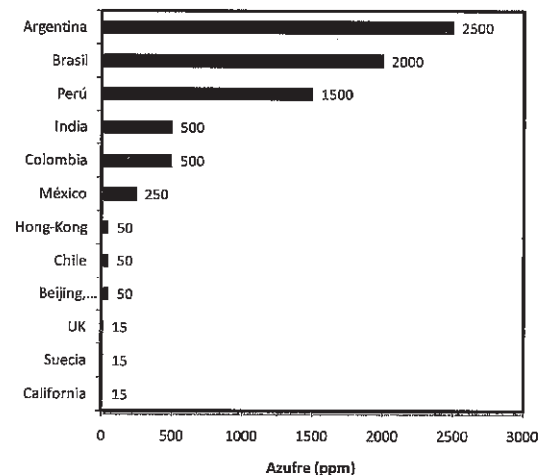
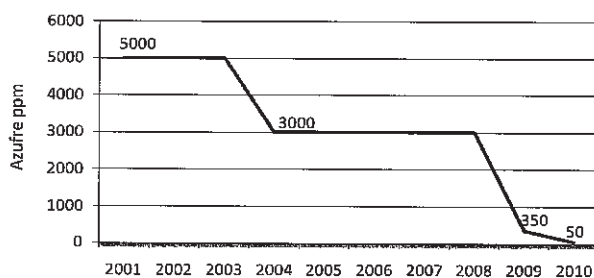
El **riesgo aceptable** de protección de efectos sobre la salud que adopte la norma de calidad primaria  $\text{SO}_2$ , parte de la base de considerar:

- Reducción de emisiones producto de la implementación de inversiones debido a la norma de emisión de termoeléctricas, la norma de emisión de fundiciones y el mejoramiento de la calidad de los combustibles disponibles en Chile.
- 2018: finalizarán los Planes de inversión de las fundiciones y las termoeléctricas para cumplir con las normas mencionadas.
- **Se asume que la revisión de la norma de calidad de  $\text{SO}_2$ , considerara los costos de las inversiones programadas.**

## Caso 1: Mejoramiento de la calidad del combustible. Ejemplo: Diésel

ENAP: Inversión de **US\$600 millones** en Hidrocracking en las 2 refinerías Aconcagua y Bío Bío, y desulfurización

**Evolución contenido Azufre (ppm) en Chile**



## Caso 2: Reducción SO<sub>2</sub> por Norma para Termoeléctricas DS 13/2011 MMA.

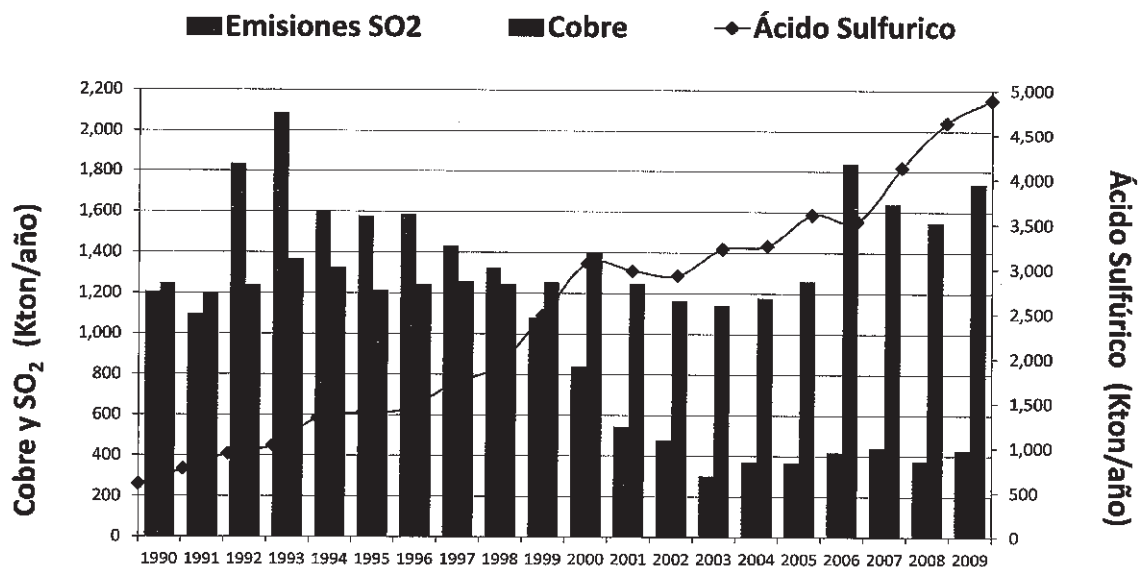
000183

- Aplicable a termoeléctricas de todo el país, existentes y nuevas
- Reducción esperada de SO<sub>2</sub> mayor a 80% respecto a la proyección sin norma.
- Gradualidad de entrada en vigencia fuentes existentes:
  - **SO<sub>2</sub>: 23/06/2015** (zonas saturadas)
  - **SO<sub>2</sub>: 23/06/2016** (zonas no saturadas o latentes)

## Caso 3: Reducciones históricas de SO<sub>2</sub> debido a planes

### Evolución de las emisiones SO<sub>2</sub>, 1990-2009, fundiciones estatales

Desde 1994 al 2004 se aprecia una disminución de aprox. 75% de las emisiones de SO<sub>2</sub>



## Caso 4: Reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> por norma de emisión para fundiciones de cobre

000183  
VTA

Fuente Emisora	Límites máximos de emisión de SO <sub>2</sub> (ton/año)
Altonorte	24.000
Caletones	47.680
Chagres	14.400
Chuquicamata	49.700
Hernán Videla Lira	12.880
Potrerrillos	24.400
Ventanas	14.650

## Inversiones de Fundiciones de Cobre



**"Lo que se haga en el cobre dependerá de Nosotros"**

Fuente:  
Extracto del Discurso de Oscar Landerretché, Presidente de CODELCO, en la celebración del 43° aniversario de la Nacionalización del Cobre el 11 de julio de 2014, Casa Matriz-Santiago.



Estás en: [Portada](#) [Sustentabilidad](#) [Publicaciones](#) [Informe Sustentable](#)

### Récord de inversiones para asegurar el liderazgo productivo

En los últimos tres años, Codelco ha implementado en sus operaciones mineras una nueva visión en materia de sustentabilidad, transformando estos ámbitos de gestión.

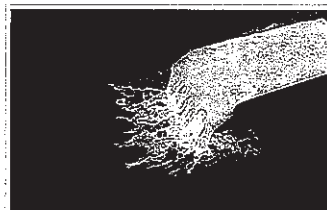
Coherente con esta estrategia, la empresa realizó en 2013 la mayor inversión ambiental de los últimos diez años.

Fuente:  
Codelco Informa Julio 2014,  
[www.codelco.com/fliobook/codelco\\_informa/45/index.htm](http://www.codelco.com/fliobook/codelco_informa/45/index.htm)

### Sustentabilidad

🔍 A+ A- 📄 Twitter Facebook Compartir en FB 📄

### Mil millones de dólares para modernizar fundiciones

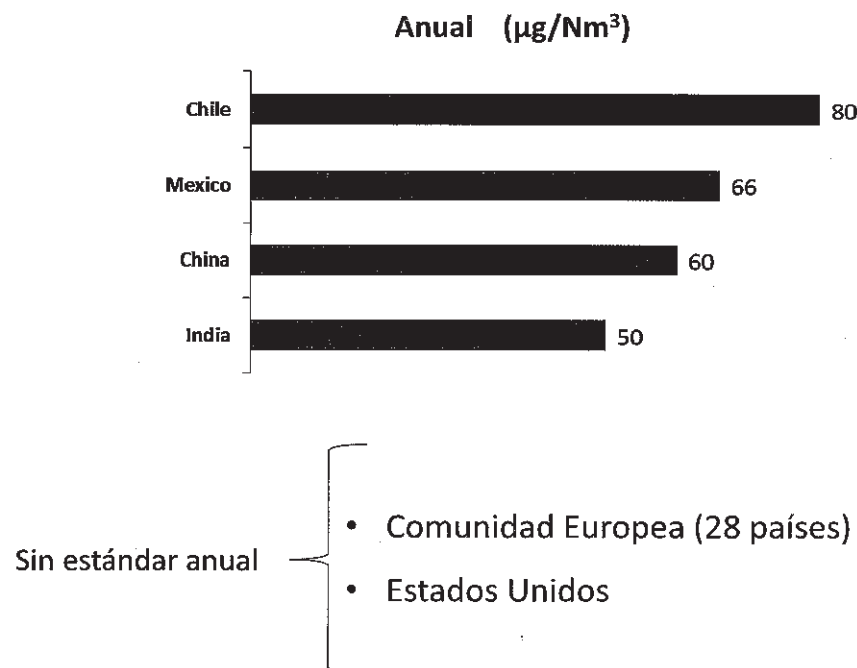


El Teniente, conocido como Rueda Twin. Es la mayor modernización realizada en estos procesos en los últimos 40 años.

Decisión de Codelco se enmarca dentro de los esfuerzos de la empresa para seguir disminuyendo su impacto sobre el medio ambiente y cumplir la nueva norma de emisiones. De esta forma, disminuirá en casi 100 mil toneladas sus emisiones anuales de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y en alrededor de 1.300 toneladas las de arsénico. El Presidente Ejecutivo, Thomas Keller, ratificó esta información durante la puesta en marcha de un nuevo sistema de moldeo en la Fundición Caletones, de División

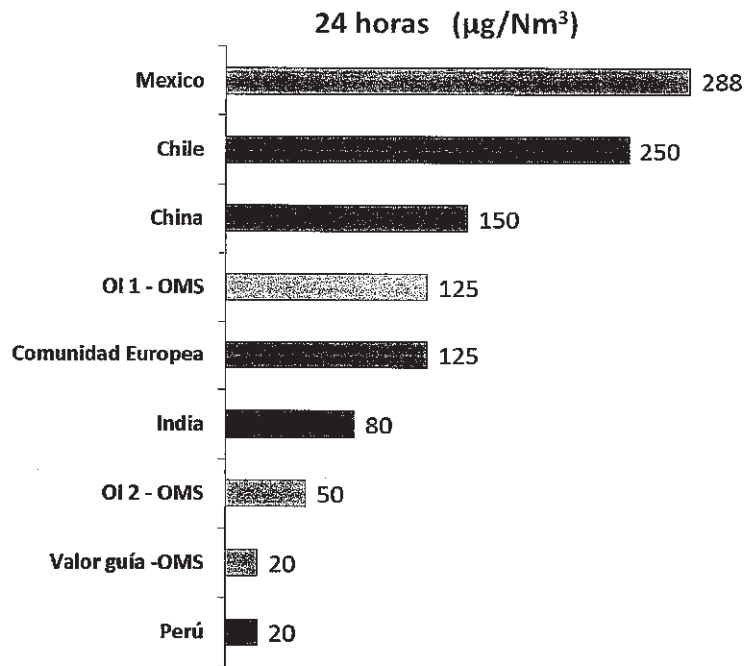
### 3. Comparación de valores de estándares

#### Comparación de estándar anual de SO<sub>2</sub>



000184  
VTA

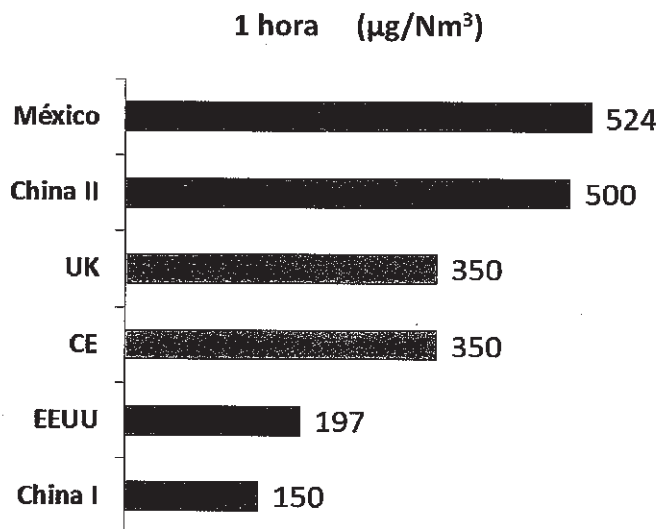
## Comparación de estándar SO<sub>2</sub> 24 horas



CE: Comunidad Europea 28 países

## Comparación de estándar de SO<sub>2</sub> 1 hora

**CHILE carece del estándar de 1 hora para SO<sub>2</sub>**



CE : Comunidad Europea 28 países  
China I : Corresponde a zonas protegidas  
China II: Corresponde a zonas urbanas

## CE: Comunidad Europea, 28 países:

000185

1. Alemania (1952)
2. Austria (1995)
3. Bélgica (1952)
4. Bulgaria (2007)
5. Chipre (2004)
6. Croacia (2013)
7. Dinamarca (1973)
8. Eslovaquia (2004)
9. Eslovenia (2004)
- 10. España** (1986)
11. Estonia (2004)
12. Finlandia (1995)
13. Francia (1952)
14. Grecia (1981)
15. Hungría (2004)
16. Irlanda (1973)
17. Italia (1952)
18. Letonia (2004)
- 19. Lituania** (2004)
20. Luxemburgo (1952)
21. Malta (2004)
22. Países Bajos (1952)
- 23. Polonia** (2004)
- 24. Portugal** (1986)
25. Reino Unido (1973)
26. República Checa (2004)
27. Rumanía (2007)
28. Suecia (1995)

## Estándares de calidad de dióxido de azufre

Organismo/País	10 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Anual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Organización Mundial de Salud (OMS)	500	--	20	--
OMS Objetivo Intermedio 1	--	--	125	--
OMS Objetivo Intermedio 2	--	--	50	--
Estados Unidos (primaria)	--	197	--	--
Comunidad Europea (primaria)	--	350	125	--
China I	--	150	50	20
China II	--	500	150	60
México	--	524	288	66
Chile (primaria)				

000185  
VTA

## 4. Niveles de emergencia

### Ejemplo de algunos modelos para informar a la población y reducir la exposición frente a eventos de corta duración

#### Niveles de emergencia Chilenos

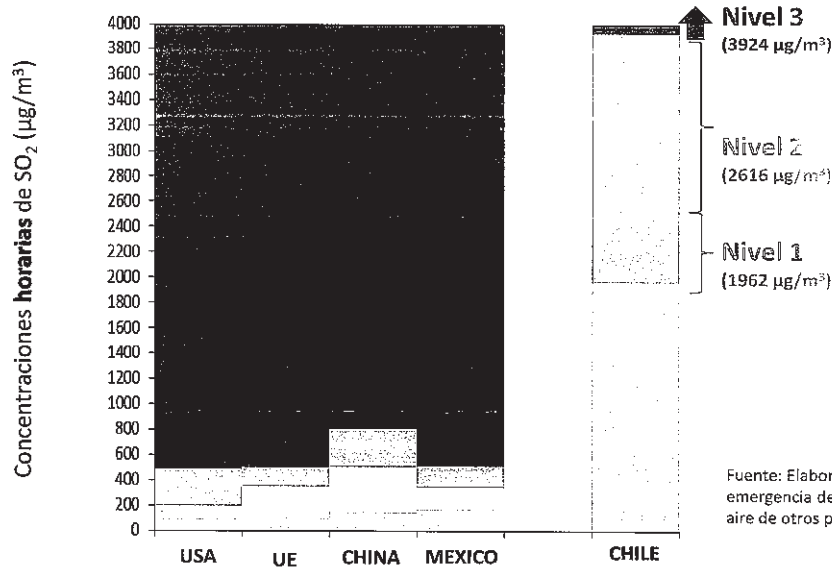
- Chile establece 3 niveles de emergencia utilizando concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

(DS185/92; DS113/ <http://www.levchile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=> )

#### Indicadores de calidad del aire (AQI)

- Estados Unidos utiliza concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) hasta el **Nivel Insalubre** (rojo). En los siguientes niveles: **Muy Insalubre y Peligroso** utiliza concentraciones de 24 horas. ( <http://www.airnow.gov/> )
- China basa la construcción de sus AQI en un algoritmo semejante al de Estados Unidos. ( <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqjhbh/icgfffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> )
- Reino Unido comúnmente usa el *Daily Air Quality Index* recomendado por Committee on Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP), el cual contiene 10 puntos (*break points*) agrupados en 4 bandas. ( <http://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq1> )

## Comparación didáctica para entender cómo estamos en Chile con los niveles de emergencia



000186

Fuente: Elaboración propia a partir de niveles de emergencia de Chile e indicadores de calidad del aire de otros países.

Bueno	Nivel en que no se aprecian impactos en salud.
Moderado	Nivel aceptable, de cuidado para grupos vulnerables.
Insalubre población sensible	Nivel que requiere cuidados adicionales para que la población sensible no sufra impactos en grupos sensibles.
Insalubre	Nivel muy crítico para grupos vulnerables, repercusiones nocivas en miembros de grupos de riesgo (niños, de edad avanzada o personas débiles), también causa molestias desagradables en el público en general.
Muy Insalubre	Nivel que puede tener un grave impacto en miembros de grupos de riesgo en caso de exposición aguda.
Peligroso	Nivel que puede tener efectos nocivos sobre la población en general.

## Municipalidad de Quintero

Decreto Alcaldicio N° 3437 ( 26 agosto 2014 )

### Criterios para 15 minutos:

#### 1) Bueno ó Nivel Bajo (0-265 µg/m<sup>3</sup>N)

Las concentraciones de SO<sub>2</sub> se encuentran dentro de rangos normales por lo que no existen restricciones de actividad física para ningún grupo de la población.

#### 2) Moderado ó Nivel Moderado (266-531 µg/m<sup>3</sup>N)

Establece niveles de concentración de **cuidado para grupos vulnerables** como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se recomendará reducir la actividad física extenuante al aire libre.

#### 3) Alto (532-1063 µg/m<sup>3</sup>N)

Establece niveles de concentración de **crítico para grupos vulnerables** como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Se deberá reducir el esfuerzo físico y la actividad física al aire libre. La población no vulnerable que experimente molestias asociadas a ardor ocular, tos o dolor de garganta, debe considerar la reducción de esfuerzo físico al aire libre y asistir al centro asistencial.

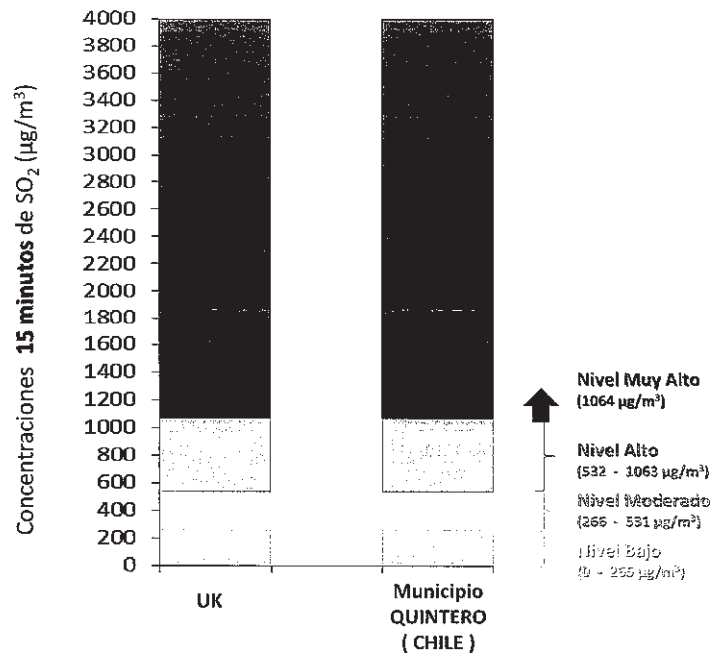
#### 4) Muy Alto (sobre 1064 µg/m<sup>3</sup>N)

Establece niveles de concentración de **muy crítico para grupos vulnerables** como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Toda la población debe evitar realizar actividad física al aire libre, en especial si presenta molestias como ardor ocular, tos o dolor de garganta, y asistir al centro asistencial.



## Comparación didáctica para entender el modelo usado en Quintero para proteger a la población de la exposición a SO<sub>2</sub>

007186  
VTA



Fuente: Elaboración propia .

# MUCHAS GRACIAS










Más Información contactar al coordinador de la norma: Cristián Ibarra F.

[cibarra@mma.gob.cl](mailto:cibarra@mma.gob.cl)

**"Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>"**

FECHA: Viernes 07 de noviembre de 2014 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	Nicolás Trivelp	MMA	ntiveldi@mma.gob.cl		
2	Italo Serey	CENMA	Italo.Serey@gmail.com		J. Serey
3	Diego Campos Díaz	CENMA	diegocampos@cenma.cl		
4	CONRADO RAVALL F	MMA	cravallo@mma.gob.cl		
5	Carmen Gloria Contreras	MMA	cgcontreras@mma.gob.cl		
6	Candirpa Gómez Aguero	N. Energía	cgomez@minenergia.cl		
7	Ana Soto E.	MMA	asoto.2@mma.gob.cl		Ana Soto
8	PEDRO SANTIC	COCHILCO	PSANTIC@COCHILCO.CL		
9	Pisilla Ulloa	MMA	puuloo@mma.gob.cl		
10	Claudio Huepe	DRR / CENMA	chudiohuepe@gmail.com		
11	Jaime Valdovinos	CENMA	jvaldivinos@cenma.cl		
12	Christian Ibarra	MMA	cibarra@mma.gob.cl		
13	Carlos Mancilla	CENMA	cmancilla@cenma.cl	229275576	
14	Tara Bishara	MMA	tbishara@mma.gob.cl		
15	Patricia Prater	CENMA	pprater@cenma.gob.cl		
16	Julio A. Salinas	CENMA	jsalinas@marina.gob.cl		
17	Ronny Sandoz R.	MTT	rsandoz@mtt.gob.cl		



*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

**Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 07-11-2014	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	Nicolás Trivelli	Ministerio Medio Ambiente
2	Italo Serey	CENMA
3	Diego Campos	CENMA
4	Conrado Ravanal	Ministerio Medio Ambiente
5	Carmen Gloria Contreras	Ministerio Medio Ambiente
6	Carolina Gómez	Ministerio de Energía
7	Ana Soto	Ministerio Medio Ambiente - Región de Antofagasta
8	Pedro Santic Contreras	COCHILCO
9	Priscilla Ulloa M.	Ministerio Medio Ambiente
10	Claudio Huepe	CENMA
11	Jaime Durán	CENMA
12	Cristián Ibarra F.	Ministerio Medio Ambiente
13	Carlos Mancilla	CENMA
14	Tania Bishara	Ministerio Medio Ambiente
15	Patricia Matus	CENMA
16	Julio Salinas	CENMA
17	Pablo Salgado	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

**2. Objetivo de la reunión**

Presentar al Comité Operativo los avances del segundo informe de avance denominado "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)" desarrollado por el Centro de Medio Ambiente (CENMA).

**3. Temas Tratados**

Se adjuntan a la presente acta las siguientes presentaciones:

a) Presentación de los siguientes expertos de CENMA que trabajaron en la elaboración del informe.

- Dr. Julio Salinas (Análisis Toxicológico)
- Dra. Patricia Matus (Análisis Epidemiológico)
- Claudio Huepe y Nancy Sanhueza (Evaluación Económica y Social)
- Carlos Mancilla y Diego Campos (Análisis Meteorológico y de Calidad del Aire)

CGCF/PU/CIF/...



cenma

**“Análisis de Antecedentes y Evaluación  
Técnica-Económica para Revisar la Norma  
Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de  
Azufre (SO<sub>2</sub>)”**

**Segundo Informe de Avance**

**Noviembre de 2014**



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## **Introducción**

- Estructura del Informe
- Objetivos
- Resultados



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## Estructura del Informe

- 3 Capítulos
  - Capítulo 1: Antecedentes Sobre los Efectos del SO<sub>2</sub> en la Salud de las Personas
  - Capítulo 2: Evaluación de Calidad del Aire y Meteorología Asociada a SO<sub>2</sub>
  - Capítulo 3: Evaluación de Escenarios Regulatorios



## Objetivos

- **General**
- Contar con antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), contenida en el D.S. N°113, del Ministerio de la Secretaría General Presidencia (MINSEGPRES), junto a una evaluación social de los costos y los beneficios de actualizar la norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios.



### Objetivos Específicos

- a) Contar con una recopilación, análisis, y comparación de la evidencia en salud de los efectos al  $\text{SO}_2$ , de las normas de calidad del aire de  $\text{SO}_2$  y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al  $\text{SO}_2$ , disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de  $\text{SO}_2$  (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo, se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.
- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## Resultados



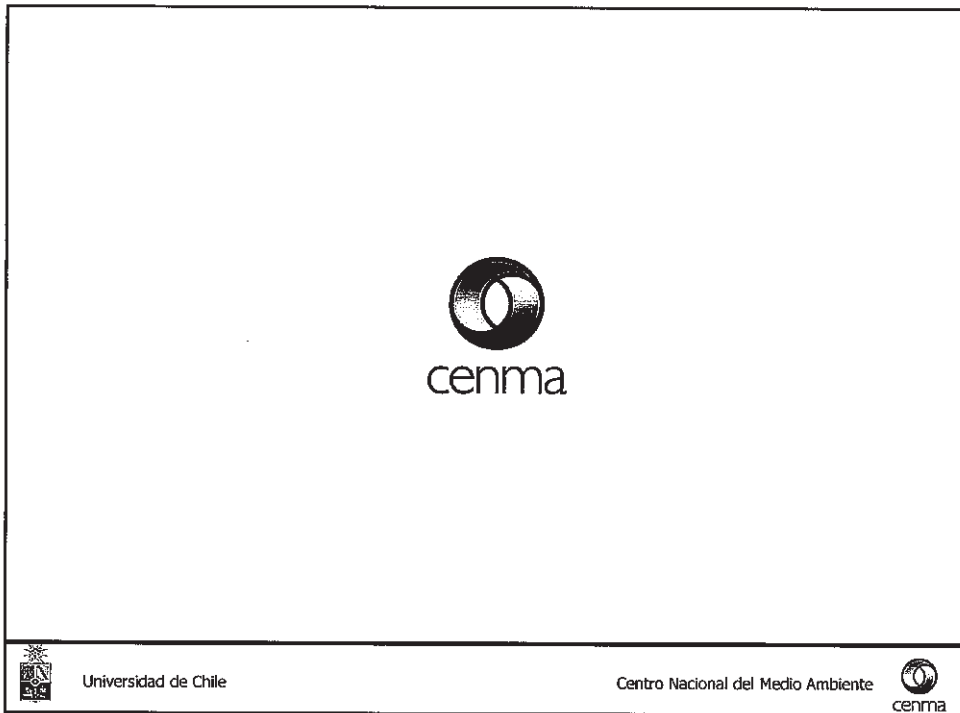
Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



000190

VTA.





**REVISIÓN DE LA NORMA PRIMARIA DE  
CALIDAD DEL AIRE PARA EL SO<sub>2</sub>**  
INFORME DE AVANCE 3 PARA MMA/SMA – NOVIEMBRE 2014

**PREVALENCIA DE ASMA INFANTIL EN CHILE**

- Prevalencia acumulada es de 9.7% y 16.5% en niños de 6-7 años, y de 7.3% a 12.4% en los 13-14 años
- Consultas por obstrucción bronquial en atención primaria constituyen el 23% de todas las atenciones de morbilidad en menores de 15 años.
- Al cumplir un año de edad, el 43.1% de los niños ha presentado sibilancias recurrentes (3 o más episodios).
- Mortalidad por asma ha ido en progresivo descenso en años recientes, con una tasa de 0.025x100.000 habitantes de <20 años, en tanto en los EE.UU. ha aumentado hasta 0.28x100.000 habitantes de <20 años.



## **METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE DE SO<sub>2</sub>**

- **Búsqueda de base de datos de exposición breve al SO<sub>2</sub> y efectos en la salud.**
- **Análisis crítico de literatura acerca de efectos en la salud asociados con exposición breve al SO<sub>2</sub>**
  - Selección de documentos
- **Revisión bibliográfica para la identificación de la concentración de SO<sub>2</sub> que asegura una protección de la salud pública**
  - Análisis crítico de metodología



## **BUSQUEDA BIBLIOGRÁFICA**

- **Estudio Alberta Health and Wellness, Canadá**
  - Health Effects Associated with Short-term Exposure to Low Levels of Sulfur Dioxide – A Technical Review. 2006
    - Extensa y sólida evidencia con concentraciones mínimas que producen efectos marginales de salud, a 1-5, 6-10, 11-30 min, 31min-4h, >4h exposición, sin efectos, y estudios en animales por hasta 2h.
- **Estudio NEPC, Australia. 1997.**
  - A Review of Existing Health Data on Six Pollutants. National Environment Protection Council, Australia. May 1997.
    - Colección de datos de tipo epidemiológicos. Niveles observados fueron desde 2-310 µg/m<sup>3</sup>. Nivel más bajo identificado para varios grupos de interés (general, ancianos, enfermos respiratorios, cardiovasculares) fue de 0.77 ppb por 24 horas hasta. Presencia de co-contaminantes dificulta uso de datos.



## IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO<sub>2</sub> QUE ASEGURA UNA PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA

### 1. Metodología WHO.

- **Outdoor Air Pollution. Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels Pollution. Environmental Burden of Disease Series 5. WHO, Geneva, 2004. Including worksheets for estimating attributable burden of disease from outdoor pollution.**
- **Methodology for Estimating Air Pollution Health Effects. Bart Ostro. Office of Global and Integrated Environmental Health. WHO, April 1996.**



## WHO methodology – Tool 10 Estimación de efectos en la salud asociados con SO<sub>2</sub>

### Tool 10 - Estimating the Health Effects of SO<sub>2</sub>

Please insert the information applicable for your city:

Population	Name of your city / municipality	xxxx	Year
15,000	Total Population size		
0.005	Average Mortality Rate		
0.4	Population Ratio Ages below 18		
520	Enter SO <sub>2</sub> Concentration in µg/m <sup>3</sup> :		

#### Results:

Approximate number of citizens affected by SO<sub>2</sub> per Year  
between  
8 and 47      Mortality  
312 and 817      Respiratory illness and Cough  
398 and 1170      Chest Discomfort

For detailed scenarios, please go to next worksheet (SO<sub>2</sub> Your City)

\*\*\*Disclaimer\*\*\*

These results are approximations and may vary in different scenarios and populations, as only give an indication of the seriousness of pollution. This is an indicative tool that will however be of use to policy makers and stakeholders



### Effects of SO<sub>2</sub> for Your City

Results for:      xxx  
Population:      15,000  
SO<sub>2</sub> Concentration in µg/m<sup>3</sup>:      520

Scenarios	Part of Population to be Counted		Impacts Per Year
	Average Mortality Rate	Mortality	
Low	0.005	8	Respiratory Illness and Cough
Average	0.005	19	
High	0.005	47	
	Children		Chest Discomfort
Low	0.4	312	
Average	0.4	565	
High	0.4	817	
	All		Chest Discomfort
Low	1	398	
Average	1	780	
High	1	1170	

### COMENTARIOS

- **Enfoque epidemiológico, no define biomarcadores clínicos críticos en la salud (niños asmáticos?).**
- **Metodología predefinida, no define asociación concentración-efecto.**
- **Para una concentración aérea de SO<sub>2</sub> que no produce efectos o son mínimos (= 520 µg/m<sup>3</sup> = 0.20 ppm), la metodología WHO estima una mortalidad de entre 8 y 47 por año.**
- **Sobreestimación de los efectos en la salud.**



### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Modelo no es aceptable debido a la incertidumbre (sobreestimación) de efectos.**
- **WHO Geneva me informó que el modelo se encuentra en revisión y recomendaron que no se utilice hasta que una nueva versión sea publicada.**



**IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO<sub>2</sub> QUE ASEGURA UNA PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA**

**2. Metodología USEPA - Estándar Primario Nacional de Calidad de Aire Ambiental (NAAQS).**

- **Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standard: Final Report. July 2009.**
- **40 CFR Parts 50, 53, 58. June 22, 2010. FR 20100622. pp. 35520-35603.**
- **Integrated Review Plan for the Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Oxide. March 2014.**



**Metodología**

- **El enfoque incluye mediciones, evidencia y uso de modelos y métodos de análisis, que son representativos de grupos humanos, meteorología, datos demográficos y geopolíticos, incluyendo exposición personal en EE.UU.**
- **Altamente compleja y difícil de rastrear.**



### **Resultados – Junio 22, 2010**

- **Revoca los estándares primarias existentes de 24 horas y los anuales para el SO<sub>2</sub>.**
- **La USEPA desarrolla un estándar de corto plazo basado en el promedio de 3 años del percentil 99 de la distribución anual de concentraciones máximas de SO<sub>2</sub> de 1 hora.**
- **Nuevo estándar: 75 ppb**



### **Conclusión**

- **Metodología es detallada y robusta para los EE.UU., pero altamente compleja y difícilmente aplicable y reproducible a las condiciones y recursos disponibles en Chile.**
- **Su aplicación requeriría verificar los valores de entrada al modelo, y la validación de los cambios introducidos, lo que constituye un esfuerzo mayor.**



**IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO<sub>2</sub> QUE ASEGURA UNA PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA**

**3. Metodología U.S. National Research Council.**

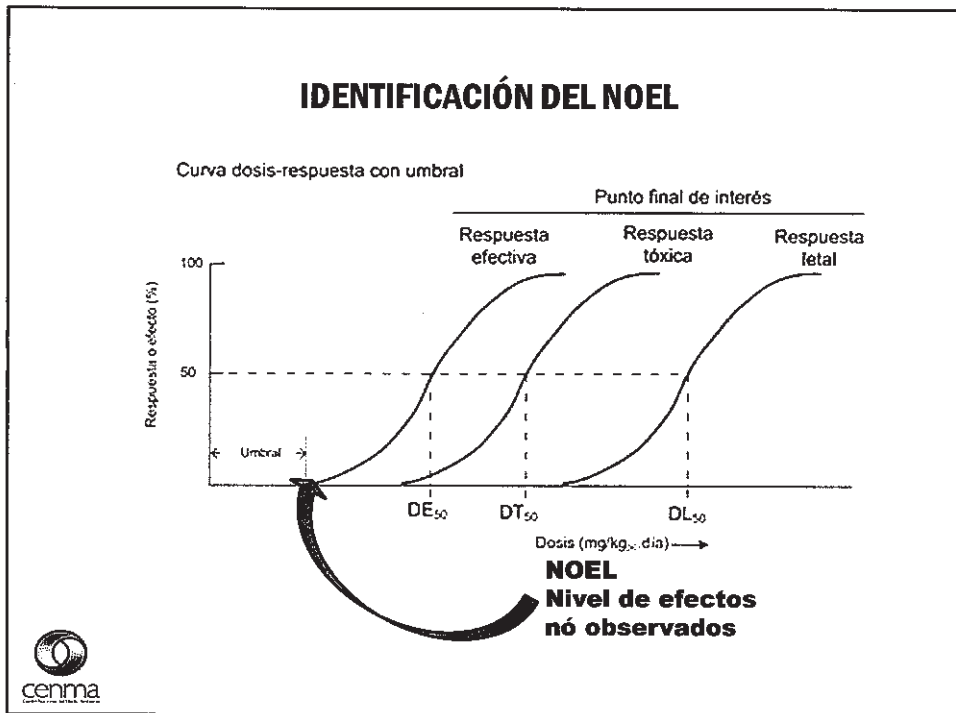
- **Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals. Volume 8. National Academy Press, 2010. ISBN: 0-309-14516-3**
- **Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards. EPA-452/R-09-007. July 2009.**



**Metodología**

- Sobre la base de estudios clínicos de exposición controlada de humanos expuestos a SO<sub>2</sub>, se identificaron períodos de exposición (10 min, 30 min, 1h, 4h, y 8 h) que están asociados con diversos grados de severidad en los efectos biológicos.
- Se trata de identificar el NOEL en asmáticos. Este es usado sin factores de incertidumbre porque los resultados provienen de población humana sensible
- Se seleccionaron estudios de calidad apropiada y luego se creó una base de datos.





### Peso de evidencia para AEGL-1 (extracto)

Concentration	Duration	Subjects	Exposure Parameters	Effect	Reference
0.2 ppm	5 min	8	23 °C, 85% RH, exercise 48 L/min	None	Linn et al., 1983b
0.25 ppm	10-40 min	10	23 °C, 70% RH, exercise 35 L/min	None	Schacter et al., 1984
0.25 ppm	5 min	19 9	23 °C, 36% RH, exercise 60 L/min  23 °C, 36% RH, exercise 80-90 L/min	SRaw ↑134% SRaw ↑139%	Bethel et al., 1985
0.25 ppm	75 min	28	26 °C, 70% RH, exercise 42 L/min intermittent	None	Roger et al., 1985
0.4 ppm	5 min	23	23 °C, 85% RH, exercise 48 L/min	SRaw ↑69% V <sub>max25-75</sub> ↓10%	Linn et al., 1983b
0.5 ppm	10-40 min	10	23 °C, 70% RH, exercise 35 L/min	None	Schacter et al., 1984



SRaw= Specific airway resistance.

V=Ventilation rate



### Definiciones

- **AEGL-1** es la concentración en aire, expresada en ppm o en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de una sustancia por sobre la cual se predice que en la población general, incluyendo personas susceptibles, ...pueden experimentar molestia notable, irritación, o ciertos efectos asintomáticos no sensoriales. Los efectos sin embargo no son discapacitante y son pasajeros y reversibles con la cesación de la exposición.
- **AEGL-2** ...pueden experimentar efectos adversos en la salud que son irreversibles o serios, de larga duración o un deterioro en la habilidad para escapar.
- **AEGL-3** ... pueden experimentar efectos en la salud que ponen en peligro la vida o pueden causar la muerte.



### Resultados para el AEGL-1

- Estudios en humanos asmáticos sugieren que el NOEL para broncoconstricción en asmáticos en ejercicio es 0.20 ppm.
- Una proporción significativa de asmáticos experimentan broncoconstricción que requiere medicamentos o cesación de actividad física a 0.4-0.5 ppm
- El máximo de respuesta ocurre dentro de los 10 min de exposición y la respuesta no aumenta o se resuelve si la exposición continúa o es repetida. Por lo tanto, los valores del AEGL-1 son constantes para todos los tiempos de exposición.
- Con cada aumento en la concentración aérea, hay un aumento en la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos para cada AEGL específico.
- Exposición al AEGL-1 no tiene efecto en individuos saludables.
- Individuos sujetos a respuestas únicas o idiosincráticas pueden experimentar efectos a concentraciones por debajo de cada AEGL respectivo.



El AEGL-1 es de 0.20ppm (=0.52  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

### Resultados para el AEGL-2

- Resultados sugieren que 0.75 ppm induce respuesta respiratoria en asmáticos en ejercicio con exposición a SO<sub>2</sub> por 10 min a 3 h.
- La respuesta parece disminuir con una exposición más extendida.
- La broncoconstricción ocurre dentro de los primeros 10 min y se resuelve si la exposición continúa. Por lo tanto, los valores del AEGL-2 son constantes para todos los tiempos de exposición.
- Exposición al AEGL-2 no tiene efecto en individuos saludables.

El AEGL-2 es de 0.75 ppm (= 1.95 mg/m<sup>3</sup>)



### Resultados para el AEGL-3

- No hay estudios en humanos relevantes para establecer un AEGL-3.
- El AEGL-3 está basado en un BMLC<sub>05</sub> (benchmark lethal conc. 5%) en ratas por 4 h a 573 ppm, modificado por un UF=3 por variabilidad entre especies, y un UF=10 debido a la variabilidad entre humanos sanos y asmáticos en las respuestas a la exposición al SO<sub>2</sub>. Los UFs son apropiados ya que no hubo muertes en los estudios citados.
- Para la extrapolación temporal (time scaling) se utilizó la relación de *ten Berge et al.* para concentración-tiempo de exposición  $C^n \times t = k$ , donde n=3 para el AEGL-3 de 1h, y n=1 para AEGL-3 de 8h. El AEGL-3 de 1h se adoptó también para los de 10 min y 30 min.

El AEGL-3 es de 30ppm (=78 mg/m<sup>3</sup>)

- Se estima que ésta es la máxima concentración bajo la cual casi todos los individuos pueden ser expuestos por hasta 1 hora sin experimentar o desarrollar efectos en la salud con riesgos a la vida.



201000

**VALORES AEGL PARA EL SO<sub>2</sub>**

Clasificación	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h	Punto crítico de referencia
<b>AEGL-1</b>	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	NOEL de broncoconstricción
No discapacitante	0.52 mg/m <sup>3</sup>	0.52 mg/m <sup>3</sup>	0.52 mg/m <sup>3</sup>	0.52 mg/m <sup>3</sup>	0.52 mg/m <sup>3</sup>	en asmáticos en ejercicio (a)
<b>AEGL-2</b>	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	Broncoconstricción moderada
Discapitante	1.95 mg/m <sup>3</sup>	1.95 mg/m <sup>3</sup>	1.95 mg/m <sup>3</sup>	1.95 mg/m <sup>3</sup>	1.95 mg/m <sup>3</sup>	en asmáticos ejercitando (b)
<b>AEGL-3</b>	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm	BMCLC05 en ratas después de
Letalidad	78 mg/m <sup>3</sup>	78 mg/m <sup>3</sup>	78 mg/m <sup>3</sup>	78 mg/m <sup>3</sup>	78 mg/m <sup>3</sup>	4 h exposición (c)



cenma

**Factores de riesgo en efectos en la salud asociados con SO<sub>2</sub>**

- **Personas que viven en las cercanías de fuentes de emisión de SO<sub>2</sub> (refinerías, fundiciones, volcanes)**
- **personas que sufren de enfermedad respiratoria pre-existente (asma ligera, moderada o severa)**
- **niños**
- **adultos de avanzada edad (>65 años)**
- **Personas que ocupan más tiempo a la intemperie**
- **Personas con tasa de ventilación pulmonar elevada (en ejercicio, trabajo o actividad física elevada)**
- **Personas que viven en altitudes elevadas**
- **grupos étnicos o raciales (mayor prevalencia de asma entre American Indians, African Americans, y comunidades de bajos recursos)**
- **Exposición a infecciones virales (frecuentes en guarderías)**
- **Ingesta de medicamentos anti-inflamatorios no esteroideos (AINEs)**



cenma

### **FACTORES DE RIESGO EN EFECTOS EN LA SALUD ASOCIADOS CON SO<sub>2</sub>**

- **Presencia de co-contaminantes aéreos**
- **Exposición a alimentos, agua, y suelos contaminados**
- **Existencia de una precondición médica, tales como broncopatía (episodio con SO<sub>2</sub> superiores a 1500 µg/m<sup>3</sup>), disnea súbita**
- **Tabaquismo en el hogar, ambiente laboral, en particular entre los padres de familia**
- **Exposición a material particulado de la combustión del diesel**
- **Exposición a alérgenos tales como polvo de la casa, ácaro, cucaracha, caspa, pelo o saliva de perro y gato, plumas de aves, hongos del polvo de la casa como Alternaria y Cladosporium, hongos de la humedad como Penicillium, Candida, etc.**
- **Contacto con humedad o plantas naturales, por la inhalación de esporas de hongos**



### **RECOMENDACIONES**

- **Enfocar estándar potencial de SO<sub>2</sub> en exposición promedio entre 5 minutos y 1 hora, y considerar máximos diarios de 1 hora para niveles de ≤250 ppb**
- **La metodología USEPA no es recomendable para Chile debido a su altísima complejidad, por lo cual requeriría validarla.**
- **Se recomienda firmemente la metodología NRC/AEGLs por ser robusta, transparente, y simple. Fue desarrollada con estudios clínicos controlados, datos "duros" de concentración de SO<sub>2</sub>, y efectos en la salud en personas saludables y con problemas respiratorios. AEGLs pueden ser aplicados directamente a problemas de contaminación en Chile ya que no requieren validación. Metodología fue ensayada en estudio C-Q-P.**



# Efectos en Salud

## Síntesis Evidencia Epidemiológica

## Antecedentes Internacionales

- Existe, desde hace más de dos décadas, una nutrida literatura referente que ha demostrado en forma consistente los daños a la salud que ella provoca.
- Los estudios epidemiológicos, a diferencia de los toxicológicos, son principalmente observacionales.
- La contaminación atmosférica, es una situación compleja (mezcla de contaminantes) ,por lo que separar los efectos de cada uno de ellos es un desafío importante. Requiere de esfuerzos analíticos y de modelación rigurosos que muchas veces no se han podido establecer en los estudios reportados.
- Por lo tanto en esta revisión se ha podido evidenciar **resultados no concluyentes** para algunos gases, entre ellos el dióxido de azufre, no ocurre lo mismo con la contundencia de los efectos descritos para el material particulado respirable.

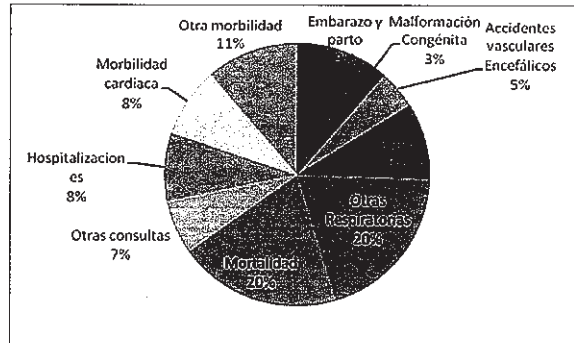
### Revisión Sistemática 2004-2014

■ Con asociación ■ Sin asociación



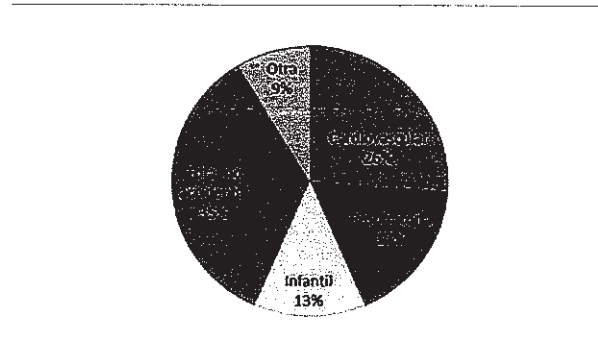
## Antecedentes Internacionales

- Otra evidencia observada de la revisión de la literatura recientemente publicada es que se ha ampliado el rango de efectos en la salud estudiados.



## Antecedentes Internacionales

Mortalidad asociada positivamente a la exposición a SO<sub>2</sub> (N= 21 estudios)



## Evidencia sobre los efectos agudos y crónicos

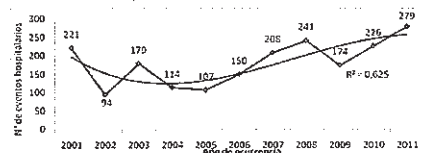
Desde un punto de vista epidemiológico, la evidencia científica muestra que se han observado **efectos agudos y efectos crónicos**:

- síntomas, consultas, hospitalizaciones, muertes, eventos agudos (infarto Agudo al Miocardio por ejemplo)
  - a eventos crónicos como la alteración al desarrollo psicomotor.
- Las revisiones sistemáticas siguen mostrando prominencia de los efectos agudos sobre los crónicos, y esto se debe al gran volumen de estudios realizados sobre los efectos agudos.
  - Sin embargo la evidencia actual sobre efectos crónicos en la salud cardiovascular, la salud infantil y la salud respiratoria de adultos permite afirmar que los efectos de exposiciones crónicas al dióxido de azufre también son relevantes para la salud pública.

Título, autor, año	Resultados entregados
Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis, Shen, 2013	Este artículo estudia los efectos de la exposición aguda a contaminantes atmosféricos ((MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>2.5-10</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono) sobre la Insuficiencia cardíaca (hospitalizaciones y mortalidad).
Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis, Vrijheid, 2011	Entrega los resultados de la re- evaluación de 4 estudios sobre <b>malformaciones congénitas</b> y exposición a varios contaminantes atmosféricos ((MP <sub>2.5</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono). Encontraron evidencia de asociación para los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre, <b>solamente</b> .
Drug consumption and air pollution: an overview, Mendez, 2010	El artículo analiza los resultados de 31 publicaciones sobre los efectos de exposiciones agudas en el consumo de <b>medicamentos de pacientes asmáticos y respiratorios</b> .
Air pollution, aeroallergens, and emergency room visits for acute respiratory distress and gastroenteric disorders among young children in six Italian cities, Orsi, 2009	Este artículo estudia exposiciones y efectos agudos. Se refiere a la asociación entre las consultas de niños a servicios de emergencia por causas respiratorias y digestivas en seis ciudades italianas. Evalúa el efecto de varios contaminantes (MP <sub>2.5</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono). Encontrando efecto para la presencia de <b>sibilancias</b> .
Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults, Forast, 2009	Evalúa en qué medida la exposición crónica a contaminantes ambientales (MP <sub>2.5</sub> , dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono) produce efecto sobre la <b>función pulmonar</b> . Se analizaron los resultados de 4 encuestas poblacionales (1995, 1996, 1997 y 2001).
Exposiciones ambientales for health effects in ambient air pollution applicable for China - a meta-analysis, Austin, 2004	Este artículo propone funciones dosis/respuesta sobre la base de estudios epidemiológicos realizados en China. Deriva funciones para efectos agudos (hospitalizaciones respiratorias y cardiovasculares; y muertes totales, respiratorias y cardiovasculares) tanto para SO <sub>2</sub> , como material particulado. Deriva también una función para efectos crónicos, <b>solamente para el material particulado</b> .

## Estudios epidemiológicos sobre el Asma en Chile

- A partir de las hospitalizaciones
- A partir de Encuesta Nacional de Salud



N° de eventos hospitalarios por Asma, Chile 2001-2011.

## Prevalencia percibida de Asma, ENS (2009-2010)

r22 ¿Alguna vez un médico o doctor le ha dicho que tiene o que padece de asma?

Región	Sí		No		No sabe/No responde		Total	
	N°	% Fila	N°	% Fila	N°	% Fila	N°	% Fila
I	7.641	4,4	163.104	94,6	1.726	1,0	172.471	100,0
II	26.764	6,9	362.778	93,1	0	0,0	389.542	100,0
III	16.419	7,0	217.706	92,8	523	0,2	234.648	100,0
IV	37.983	6,6	535.920	93,0	2.383	0,4	576.287	100,0
V	61.283	4,5	1.293.693	95,0	7.461	0,5	1.362.437	100,0
VI	38.518	5,8	621.500	93,2	7.172	1,1	667.190	100,0
VII	38.035	4,8	755.187	94,7	4.074	0,5	797.296	100,0
VIII	107.407	6,8	1.464.246	93,2	0	0,0	1.571.653	100,0
IX	44.758	5,8	720.621	93,7	3.950	0,5	769.328	100,0
X	15.622	2,8	539.110	97,2	0	0,0	554.731	100,0
XI	5.155	6,7	71.310	93,3	0	0,0	76.465	100,0
XII	17.847	11,0	144.508	89,0	0	0,0	162.355	100,0
RIV	362.932	6,9	4.882.853	92,5	34.194	0,6	5.279.979	100,0
XIV	35.457	13,5	226.387	86,5	0	0,0	261.845	100,0
XV	11.661	7,1	152.954	92,6	477	0,3	165.092	100,0
Total	827.482	6,3	12.151.877	93,2	61.961	0,5	13.041.319	100,0

## Carga Global de enfermedad atribuible a contaminación por SO<sub>2</sub>

- El análisis de las publicaciones científicas realizadas en Chile permitió identificar las siguientes condiciones:
  - Síntomas Respiratorios en niños
  - Mortalidad no accidental
  - Hospitalizaciones por Migraña
  - Hospitalizaciones por Embolía Pulmonar
  - Hospitalizaciones por complicaciones agudas de la Diabetes.
- Como ninguna publicación chilena se refirió al asma, se decidió estimar la carga de enfermedad, utilizando la dosis- función del estudio de Pan G, 2010 (Tabla 5).
- Para el cálculo de los AVISA se utilizaron las referencias señaladas en la Tabla 9 y 10.



Publicaciones científicas sobre efectos del SO<sub>2</sub>  
en Chile

Tipo de efecto estudiado, autor, año	Resultados
Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncaví, Chile. Sanchez, Rev Panam Salud 1999.	por 50 microg/m <sup>3</sup> de SO <sub>2</sub> -1,42 L/min (-2,84 a-0,71) FEM 5% (RP = 1,05: 1,00 a 1 expectoración)
Air Pollution and Mortality in Chile: Suceptibility among the Elderly, Cakmack EHP 2007	14,08 ppb SO <sub>2</sub> <65 años 4.77% > 85 años 7.92%
Air Pollution and Hospitalization for Headache in Chile, Dales AJ Epid 2009	6.20-ppb en SO <sub>2</sub> 1.10 ( 1.04, 1.17)
Air Pollution and Hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile, Dales J Throm 2010	Para 5.85 p.p.b. de SO <sub>2</sub> 1.08 (1.03, 1.12)
Air Pollution and hospitalization for acute complications of diabetes in Chile, Dales Environ Int, 2012	(IQR=5.88) RR 1.14 (1.06, 1.22)

Funciones de riesgo del SO<sub>2</sub> utilizadas para el  
cálculo de los AVISA

Efecto, autor, año	Resultados
Asma, Pan G, Resp Med 2010	1.52(1.21-1.92)
Bajo peso de nacimiento, Dugandzic Env H 2006	RR: 1.36, (1.04 - 1.78)
Consultas por Depresión, Szyszkowicz 2007	1.5 (0.1% - 9.1%)
Malformaciones congénitas, Gilboa SM Am J epid 2005	OR = 2.16( 1.51- 3.09)
Atenciones de Urgencia Respiratoria, Tramuto, Env Health, 2011	OR= 1.068(1.014-1.126)

Estimación de AVISA atribuible por enfermedades asociadas a la exposición a SO<sub>2</sub>

Enfermedades	Total AVISA(2007)	Función de riesgo	IQR SO <sub>2</sub>	AVISA Atribuible
ASMA	21168	1,52 (1,21-1,92)	69 g/m <sup>3</sup>	7242
Diabetes Mellitus	72230	1,14 (1,06-1,22)	5,88 ppb	8870
Migraña	34112	1,1 (1,04-1,17)	6,20 ppb	3101
Enfermedad Cerebrovascular	70811	1,08 (1,03-1,12)	5,85 ppb	5245
Bajo Peso Nacimiento	18354	1,36 (1,04 -1,78)	14 - 7 ppb	4858
Malformación Congénita Cardíaca	11270	2,16 (1,51-3,0)	2,7 -1,3 ppb	6052
Depresión	168929	1,045 (1,001-1,09)	1,9 ppb	7274

Carga global de Enfermedad atribuible a la exposición a SO<sub>2</sub>, estimación país

Indicador	Número observado, (año)	Número Atribuible al SO <sub>2</sub>
AVISA	3.741.798 (2007)	42.644 (15.918 - 65.467)
Asma	1.115.793 (2009)	381.719 (193.650 -534.651)
Mortalidad	94.985 (2011)	4.646 - 7715
Hospitalizaciones por Diabetes	20.372 (2011)	2.502(1.153-3.674)
Urgencias Respiratorias	202.402(2013)	12.987 (2.795 - 22649)

## Discusión y Conclusión

- La mayoría de los antecedentes, tanto toxicológicos como epidemiológicos, recogidos a nivel internacional y en el país muestran en forma consistente que la exposición a  $\text{SO}_2$  atmosférica representa un peligro para la salud pública.

Esto debido a los efectos dañinos causales que produce principalmente en la función respiratoria. Es así como exposiciones a cortos períodos de duración producen efectos sobre la población más sensible que son los portadores de asma bronquial. Sin embargo niveles más elevados de contaminación por este gas también han mostrado efectos sobre población general.

- Los efectos sobre la salud se refieren a enfermedades que provocan consultas en los servicios de urgencia y hospitalizaciones, especialmente exacerbaciones de cuadros asmáticos.

## Discusión y Conclusión

- Estos resultados llevaron en el año 2005 a la Organización Mundial de la Salud a establecer nuevas guías para el contaminante, y en particular fijar un nivel horario además de ajustar el nivel para promedio diario. Estados Unidos en su revisión del 2010, también establece una norma horaria para dar cuenta de los efectos agudos que provoca el contaminante.
- La revisión de publicaciones científicas más modernas a las contempladas en las revisiones de la OMS y de la EPA, confirman los efectos respiratorios y amplían el rango de daños a la salud relacionados con la exposición al  $\text{SO}_2$ .
- Además de los efectos respiratorios, se han descrito resultados que asocian la exposición a este contaminante con muertes prematuras, tanto a nivel nacional como internacional y efectos cardio-vasculares. También se han publicado varios estudios que muestran los efectos crónicos de la exposición al  $\text{SO}_2$  sobre patología respiratoria crónica y malformaciones congénitas. Por lo que no se puede mantener el planteamiento de que el dióxido de azufre solo produce efectos agudos sobre la salud de la población.



cenma

# **Evaluación de Calidad del Aire y Meteorología Asociada a SO<sub>2</sub> y Evaluación de Escenarios Regulatorios**

**Diego Campos – Carlos Mancilla**  
07 – Noviembre - 2014



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## **Introducción**

- Despliegue gráfico a la mejor resolución temporal posible.
- Análisis de percentiles (P99) con resolución horaria.
- Selección de las 'peores' estaciones por zona industrial.
- Evaluación de los escenarios normativos propuestos
  - Norma horaria
  - Norma diaria
  - Norma anual
- Análisis meteorológico
- Conclusiones



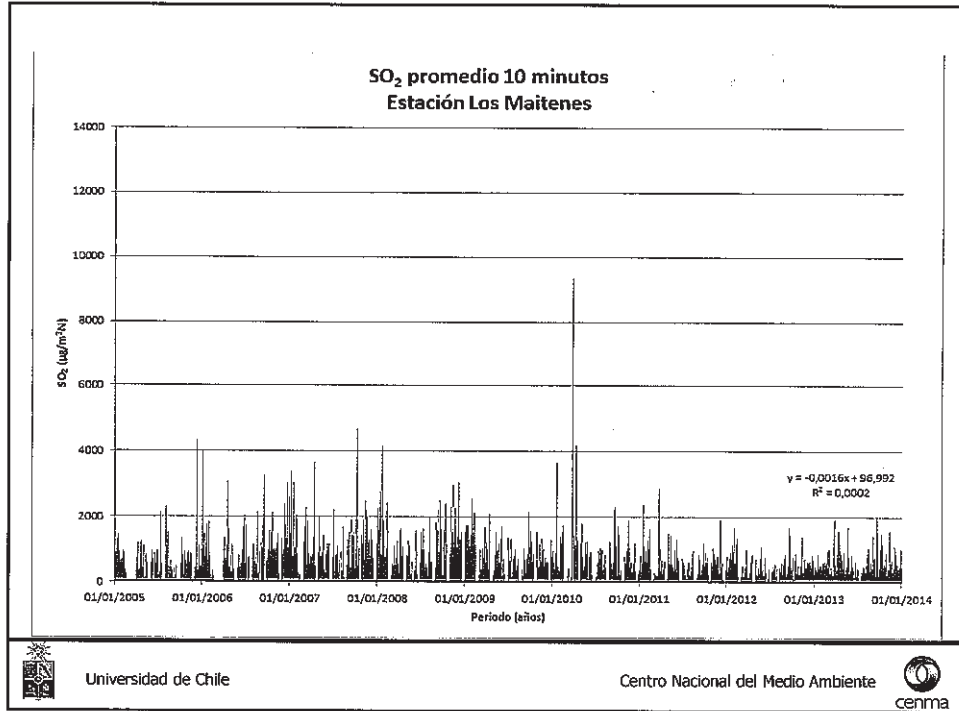
Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



000201

VTA.



### Percentil 99 para estaciones de calidad del aire

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
<b>TOCOPILLA</b>											
<i>Escuela - E10</i>	--	--	--	--	--	256	493	622	457	457	
<i>Gobernación</i>	--	--	--	--	--	70	44	105	54	68	67.8
<b>CALAMA</b>											
<i>Hospital</i>	--	--	33	54	42	49	43	41	56	45	47
<i>SML</i>	--	--	26	34	30	32	41	49	71	40	54
<b>MEJILLONES</b>											
<i>Ferrocarril</i>	--	--	--	--	--	29	55	53	46	46	46
<i>JJ Latore</i>	--	--	--	--	--	58	77	82	72	72	72
<i>Sub Electrica</i>	--	--	--	--	--	65	105	102	90	90	90
<b>ANTOFAGASTA - LA NEGRA</b>											
<i>Covifri</i>	--	--	--	--	57	16	8	11	402	99	140
<i>Noite</i>	--	--	--	--	128	12	234	58	266	140	186
<i>Sur</i>	--	--	--	--	1831	3429	1412	862	1196	1746	1157
<b>COPIAPO - PAIPOTE - TIERRA AMARILLA</b>											
<i>Copiapo</i>	--	--	--	--	--	59	38	89	206	98	111
<i>Los Volcanes</i>	--	--	--	--	--	75	131	161	317	171	203
<i>Pabellón</i>	--	--	--	--	--	54	43	50	195	85	98
<i>Paipote</i>	--	--	--	--	--	521	462	498	859	585	607
<i>San Fernando</i>	--	--	--	--	--	48	46	86	158	84	96
<i>Tierra Amarilla</i>	--	--	--	--	--	188	269	329	448	308	349
<b>HUASCO</b>											
<i>Vertedero</i>	151	87	78	140	180	132	142	153	95	129	130
<i>Quinta La Rosa</i>	165	145	140	184	166	79	49	85	81	121	72
<i>Zona Bomberos</i>	181	135	163	202	199	146	124	170	161	164	151
<i>Km 40</i>	177	110	98	148	162	161	110	166	147	142	141
<i>Parcela 5</i>	143	145	108	159	142	137	115	134	130	135	126
<i>Parcela B. Esperanza</i>	144	95	89	145	136	141	102	138	126	124	122
<i>Los Loros</i>	155	134	219	209	138	130	109	124	131	150	121
<i>Calle Thompson</i>	59	44	53	85	158	104	98	107	119	92	108
<i>Escuela JMC</i>	134	89	91	148	190	168	143	199	163	147	168
<i>Cuerpo Bomberos</i>	138	116	83	142	194	140	126	192	155	143	158

Universidad de Chile
Centro Nacional del Medio Ambiente

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Prom. hist.	Prom. 2011-2013
<b>CATEMU - LLAYLLAY</b>											
<i>Catemu</i>	--	--	--	--	106	96	109	87	89	97	95
<i>Lo Campo</i>	--	--	--	--	217	213	245	224	246	229	238
<i>Margarita</i>	--	--	--	--	370	408	425	375	395	394	398
<i>Romeral</i>	--	--	--	--	110	120	115	112	130	117	119
<b>QUINTERO - PUCHUNCAVI</b>											
<i>La Greda</i>	164	276	284	388	271	308	155	182	242	252	193
<i>Los Maitenes</i>	406	547	628	710	589	449	392	324	355	489	357
<i>Puchuncavi</i>	151	224	240	270	201	136	132	123	150	181	135
<i>Quintero</i>	--	--	--	--	74	189	267	386	388	261	347
<i>Sur</i>	297	399	428	498	330	449	330	258	150	349	246
<i>Valle Alegre</i>	129	179	184	247	194	75	102	86	389	176	192
<i>Ventanas</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	234	234	234
<i>GNL Quintero</i>	--	--	--	--	--	1475	1799	988	388	1163	1059
<b>MACHALI - COYA</b>											
<i>Coya</i>	549	812	768	545	651	627	431	381	322	565	378
<i>Población</i>	158	209	212	141	180	187	126	103	70	154	100
<i>Cauquenes</i>	100	158	161	79	131	158	87	92	66	115	82
<i>Cipreses</i>	97	132	120	94	112	114	63	76	55	96	65
<b>CORNEL - LOTA - HUALPÉN - TALCAHUANO</b>											
<i>Junji</i>	290	271	330	342	246	134	121	133	155	225	136
<i>Impesca</i>	145	161	123	162	129	71	86	59	61	109	62
<i>Indura</i>	--	277	170	148	116	74	--	71	60	131	65
<i>PRICE</i>	--	--	--	--	144	75	70	92	113	89	92
<i>CAP</i>	--	--	--	--	148	170	85	94	83	112	81
<i>C Sur</i>	--	--	--	--	83	--	97	119	83	95	100
<i>C Norte</i>	--	--	--	--	165	--	178	178	155	166	170
<i>Lagunitas</i>	--	--	--	--	75	44	93	80	75	73	83
<i>Cerro Merquín</i>	--	--	--	--	59	--	46	81	59	56	55
<i>Urbano</i>	--	--	--	--	70	110	86	83	70	84	80
<i>Rural</i>	--	--	--	--	84	82	81	125	84	91	87



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## Evaluación de escenarios regulatorios

**1 hora ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )**

500

350

197

**24 horas ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )**

125

50

20

**Anual ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )**

Mantener 80

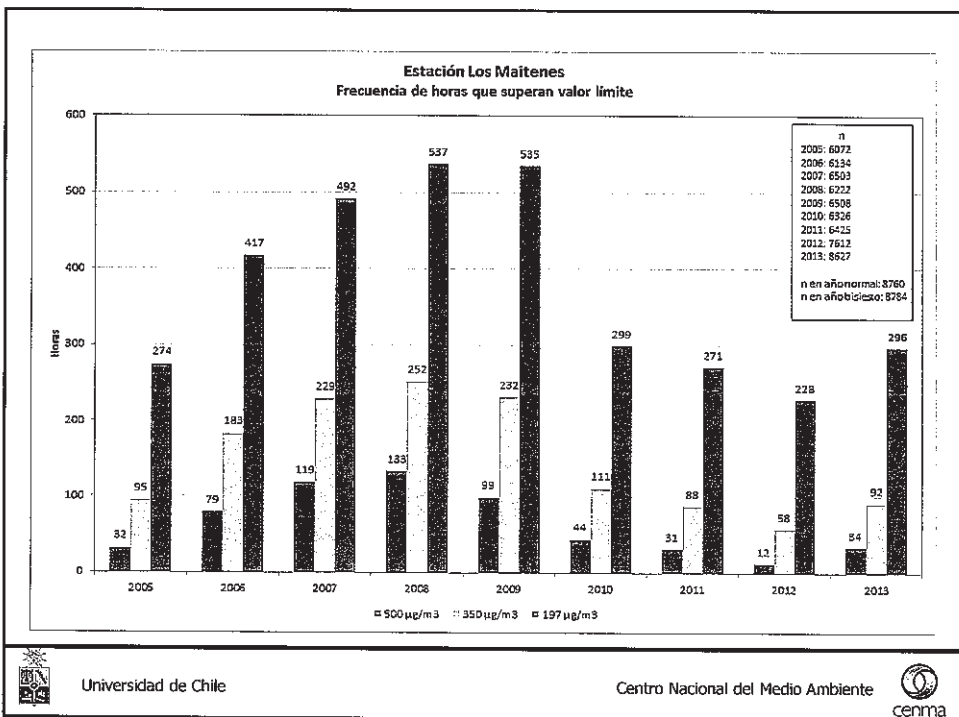
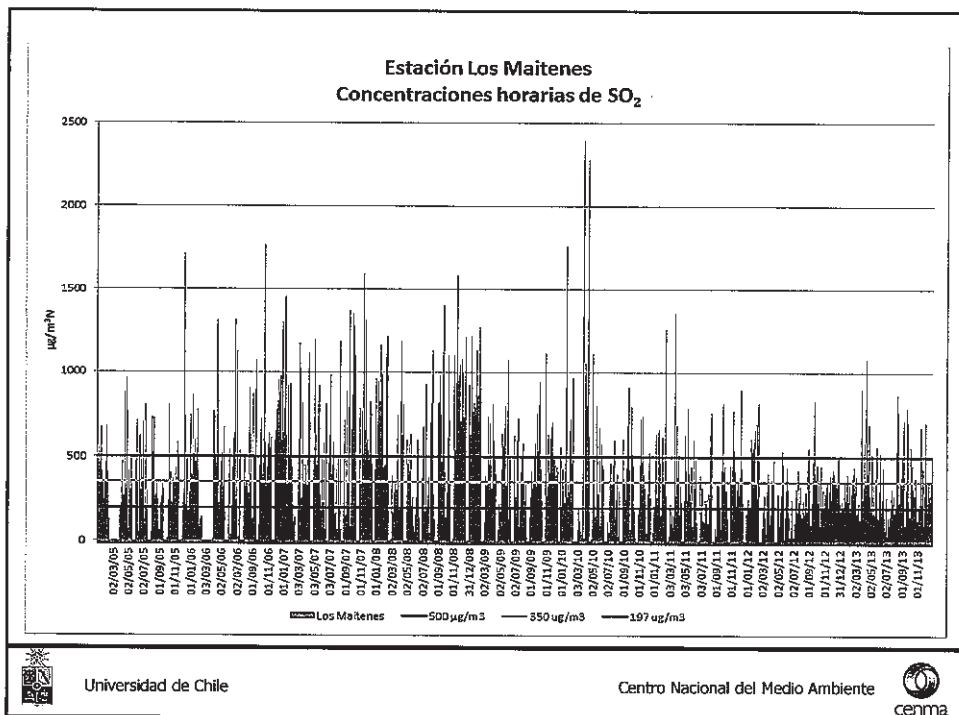
66

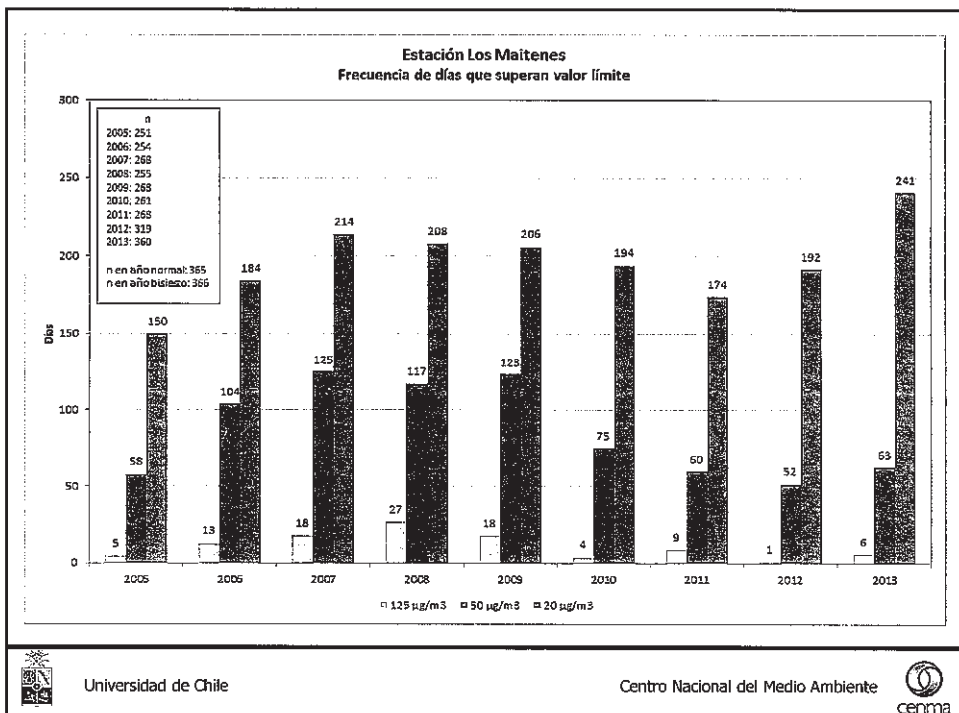
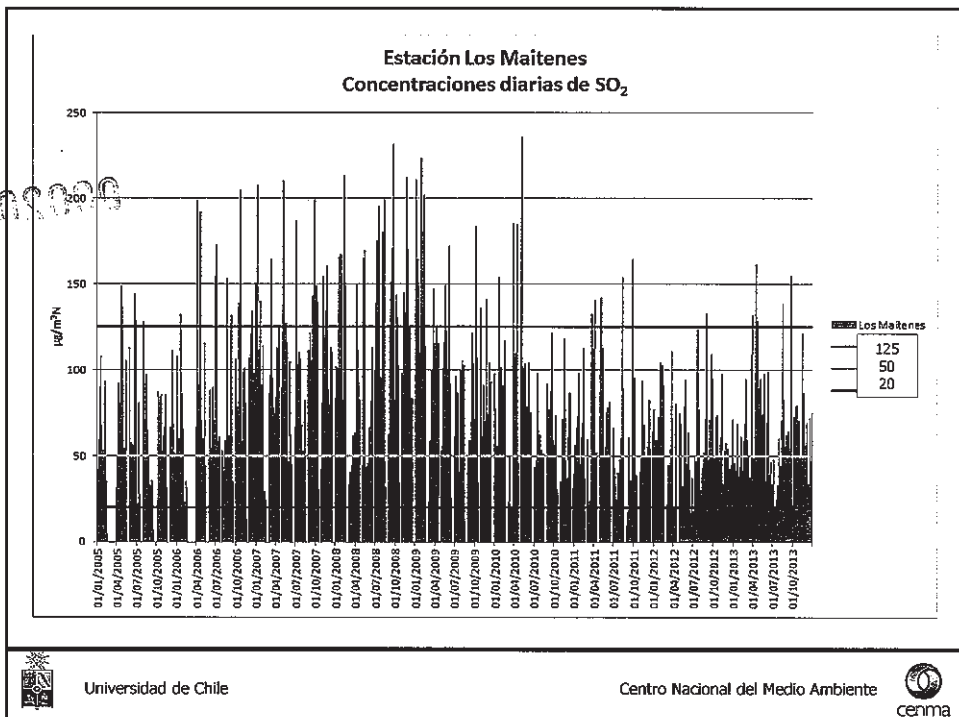
Dejar sin efecto  
estándar anual

Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



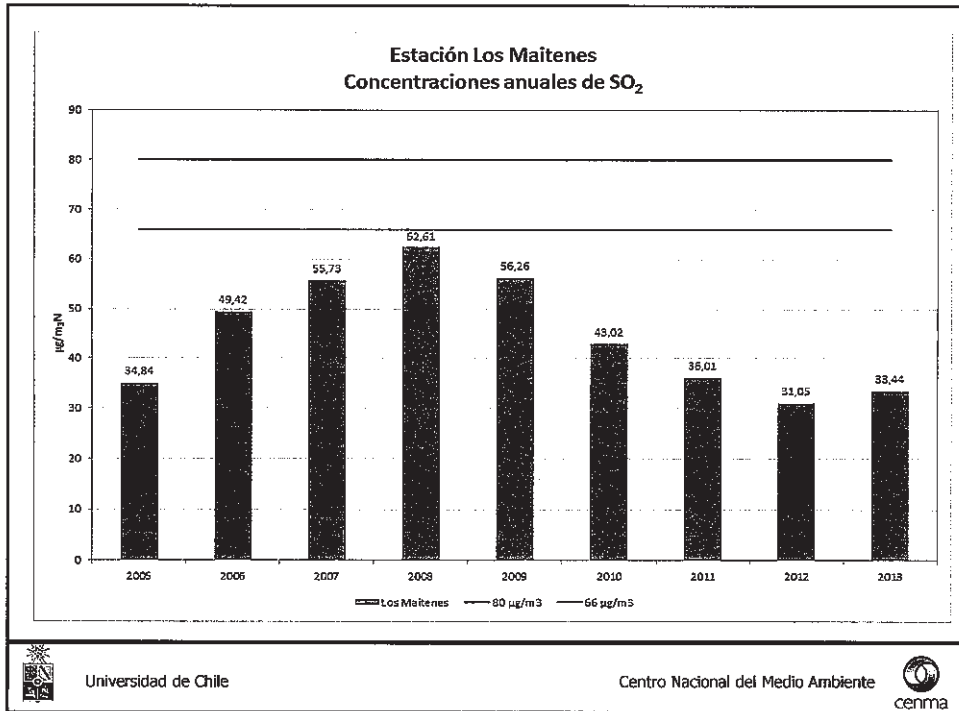






000203

VTA



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



#### Escenario Norma Horaria

		2011				2012				2013			
		197	350	500	n	197	350	500	n	197	350	500	n
Tocopilla	Horas	162	35	9	8309	615	200	85	8664	1900	453	179	8647
Escuela E-10	%	1.95	0.42	0.11		7.10	2.31	0.98		15.03	5.24	2.07	
Calama	Horas	1	0	0	9230	3	0	0	7919	12	2	2	8400
SMT	%	0.01	0.00	0.00		0.04	0	0		0.14	0.02	0.02	
Mejillones	Horas	5	0	0	8588	17	5	1	8711	10	0	0	8692
Sub. Eléctrica	%	0.06	0.00	0.00		0.20	0.06	0.01		0.12	0.00	0.00	
Antofagasta	Horas	1454	772	520	8760	481	285	195	8783	940	575	381	8756
Ser	%	16.60	8.81	5.94		5.25	3.24	2.22		10.74	6.57	4.35	
Antofagasta	Horas	0	0	0	8758	16	4	3	8783	131	125	85	8754
Coviefi	%	0	0	0		0.18	0.05	0.03		1.50	1.43	0.74	
Copiapó	Horas	321	142	74	8665	517	154	85	8645	621	365	242	8675
Paipote	%	3.70	1.64	0.85		3.78	1.79	0.99		7.16	4.21	2.79	
Copiapó	Horas	155	49	18	8690	187	79	36	8714	320	132	60	7980
Tierra Amarilla	%	1.78	0.56	0.21		2.15	0.91	0.41		4.01	1.65	0.75	
Huasco	Horas	28	2	0	8570	45	4	0	8690	48	6	3	8605
SM3	%	0.33	0.02	0		0.52	0.05	0		0.56	0.07	0.03	
Huasco	Horas	34	6	0	8620	71	11	2	8670	69	13	3	8602
SM9	%					0.82	0.13	0.02		0.80	0.15	0.03	
Catemu	Horas	996	200	34	8520	719	11	23	8548	888	144	20	8574
Santa Margarita	%	11.69	2.35	0.40		8.411	0.120	0.269		10.30	1.68	0.28	
Puchuncaví	Horas	271	88	31	8425	128	58	11	7612	296	92	34	8627
Los Maitenes	%	4.22	1.37	0.48		3.00	0.76	0.16		3.43	1.07	0.39	
Quintero	Horas	1203	819	585	8283	761	481	316	8415	284	121	58	8509
GNL	%	14.52	9.89	7.06		9.04	5.72	3.76		9.34	1.42	0.62	
Coya	Horas	446	164	53	8677	585	108	39	8664	259	81	14	8492
Coya Club	%	5.14	1.89	0.61		4.56	1.25	0.33		3.05	0.72	0.16	
Hualpén	Horas	10	0	0	8626	6	0	0	8290	24	1	0	8382
Junji	%	0.12	0.00	0.00		0.07	0.00	0.00		0.29	0.01	0.00	



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



		Escenario Norma Diaria											
		2011				2012				2013			
		20	50	125	n	20	50	125	n	20	50	125	n
Tocopilla	Horas	240	66	5	344	309	192	39	364	343	264	99	364
	%	69.77	19.19	1.45		84.89	52.75	10.71		94.23	72.53	27.20	
Calama	Horas	2	0	0	357	3	0	0	363	14	1	0	350
	%	0.56	0	0		0.83	0.00	0.00		4.00	0.29	0	
Mejillones	Horas	15	0	0	360	30	5	0	366	35	2	0	365
	%	4.17	0	0		8.20	1.37	0.00		9.59	0.55	0	
Antofagasta Sur	Horas	300	267	153	365	195	103	21	366	319	218	71	365
	%	82.19	73.15	41.92		53.28	28.14	5.74		87.40	59.73	19.45	
Antofagasta	Horas	0	0	0	364	6	2	0	366	10	8	7	365
	%	0	0	0		1.64	0.55	0.00		2.74	2.19	1.92	
Copiapó	Horas	136	54	15	365	126	54	12	366	167	108	42	365
	%	37.26	14.79	4.11		34.43	14.75	3.28		45.75	29.59	11.51	
Copiapó	Horas	109	19	1	365	115	24	1	366	148	69	6	337
	%	29.86	5.21	0.27		31.42	6.56	0.27		40.92	18.69	1.78	
Huasco	Horas	55	2	0	361	74	4	0	364	110	8	0	365
	%	15.24	0.55	0		20.33	1.10	0.00		30.14	2.19	0	
Huasco	Horas	121	4	0	362	110	14	0	364	119	16	0	364
	%	33.43	1.10	0		30.12	3.85	0.00		32.69	4.40	0	
Catemu	Horas	315	257	44	365	303	227	20	362	324	252	23	363
	%	86.30	70.41	12.05		83.14	62.36	5.49		89.26	69.42	6.34	
Puchuncavi	Horas	174	60	9	288	192	52	1	319	241	68	8	360
	%	64.93	22.89	3.36		60.19	16.30	0.31		66.94	17.50	1.67	
Quintero	Horas	277	210	115	346	201	131	64	349	226	81	8	350
	%	80.06	60.59	33.24		57.59	37.54	18.34		64.57	23.14	2.29	
Coye	Horas	158	82	23	359	138	74	19	349	128	61	10	340
	%	39.44	22.84	6.41		39.54	21.20	5.44		37.65	17.94	2.94	
Hualpén	Horas	97	14	0	362	96	19	0	342	136	22	0	344
	%	26.80	3.87	0		28.07	5.56	0.00		39.53	6.40	0	



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## Análisis meteorológico

- Dirección del viento
  - Serie completa
  - Horas con valores superiores a 197  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el  $\text{SO}_2$
- Valores de  $\text{SO}_2$  en función de la dirección del viento
  - Serie completa
  - Horas con valores superiores a 197  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el  $\text{SO}_2$
- Velocidad del viento
  - Serie completa en función de la dirección del viento
  - Horas con valores superiores a 197  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el  $\text{SO}_2$



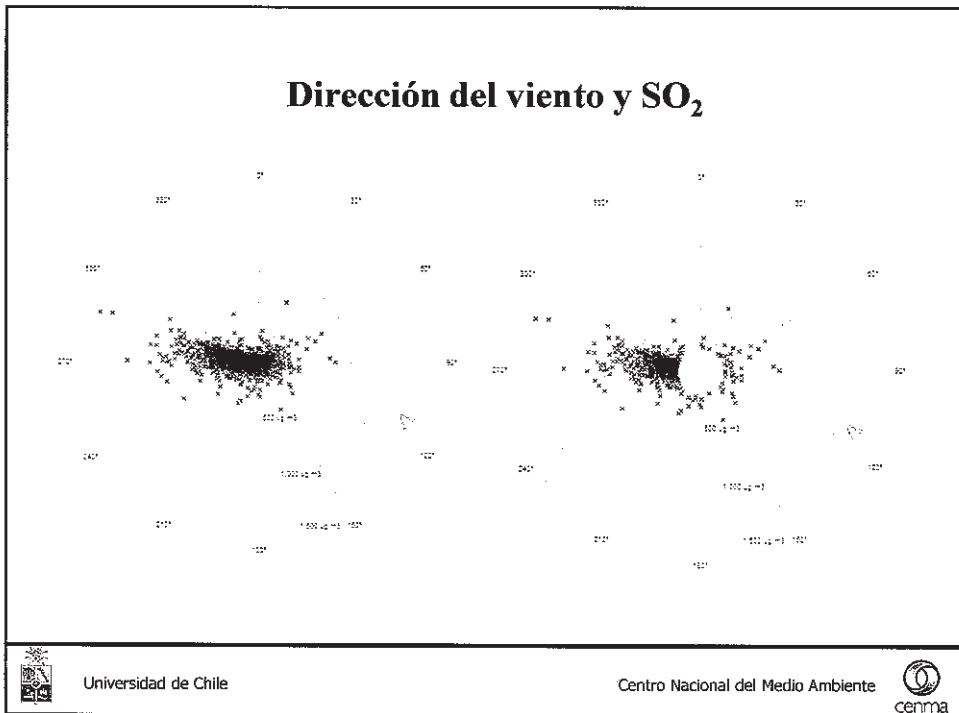
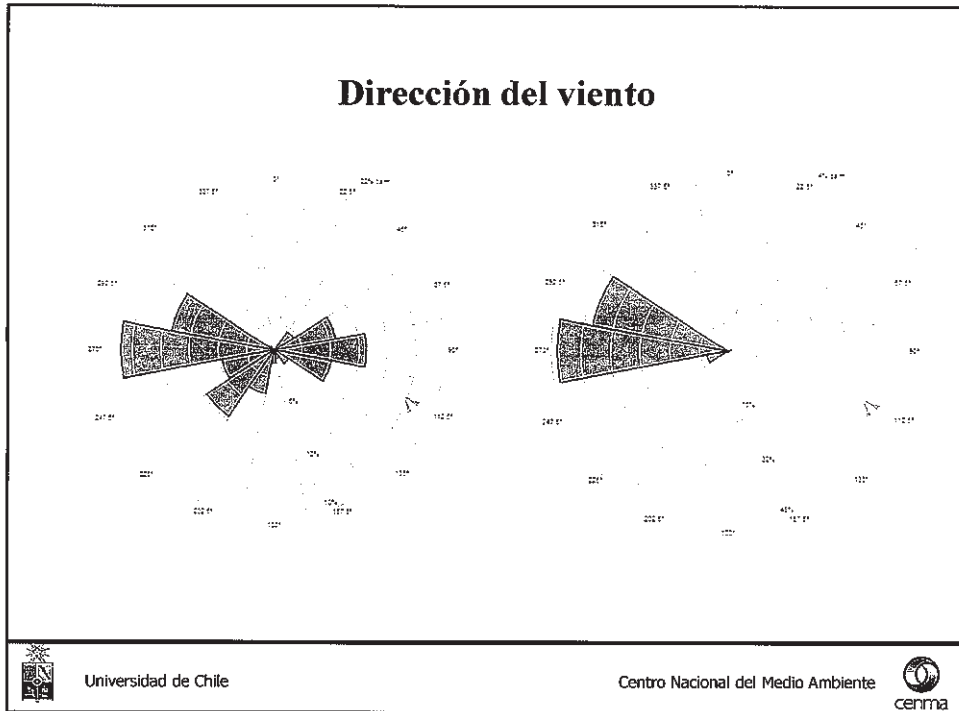
Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



000204

VTA.



## Conclusiones

El promedio del percentil 99 de los tres últimos años es un buen indicador del estado de la calidad del aire asociado al dióxido de azufre. Desde esta perspectiva, al ordenar las zonas en forma descendente se obtiene:

ZONA	ESTACION	P99 (2011-2013) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Antofagasta - La Negra	Sur	1157
Quintero - Puchuncaví	GNL	1059
Copiapó - Paipote - Tierra Amarilla	Paipote	607
Tocopilla	Escuela E-10	457
Catemu - Ulay Ulay	Santa Margarita	398
Machalí - Coya	Coya Club	378
Huasco	Escuela JM Carrera	168
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano	Junji	136
Mejillones	Sub. Eléctrica	90
Calama	SML	54



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



El viento es un factor importante en el transporte de  $\text{SO}_2$ . En todas las zonas se encuentra una relación entre la velocidad y la dirección, las mayores concentraciones se favorecen a una cierta dirección y a un cierto umbral de viento. Se obtiene:

ZONA	ESTACION	DIRECCION	VELOCIDAD (m/s)
Tocopilla	Escuela E-10	Oeste	0.5 - 4
Calama	SML	Noreste	1.5 - 3
Mejillones	Sub. Eléctrica	Noroeste	0.8 - 2.5
Antofagasta	Sur	Norte - Noreste	1 - 2
	Coviefi	Oeste	< 5
Copiapó - Paipote - Tierra Amarilla	Paipote	Este	0.6 - 1.6
	Tierra Amarilla	Noreste	0.8 - 1.8
Huasco	Compañía Bomberos	Noroeste	3 - 5
	Escuela JM Carrera	Suroeste	1 - 3
Catemu - Ulay Ulay	Santa Margarita	Suroeste	1 - 3
Quintero - Puchuncaví	Los Maitenes	Oeste	1 - 3
	GNL Quintero	Sureste	0.5 - 2
Machalí - Coya	Coya Club	Norte	1 - 3
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano	Junji	Suroeste	4 - 8

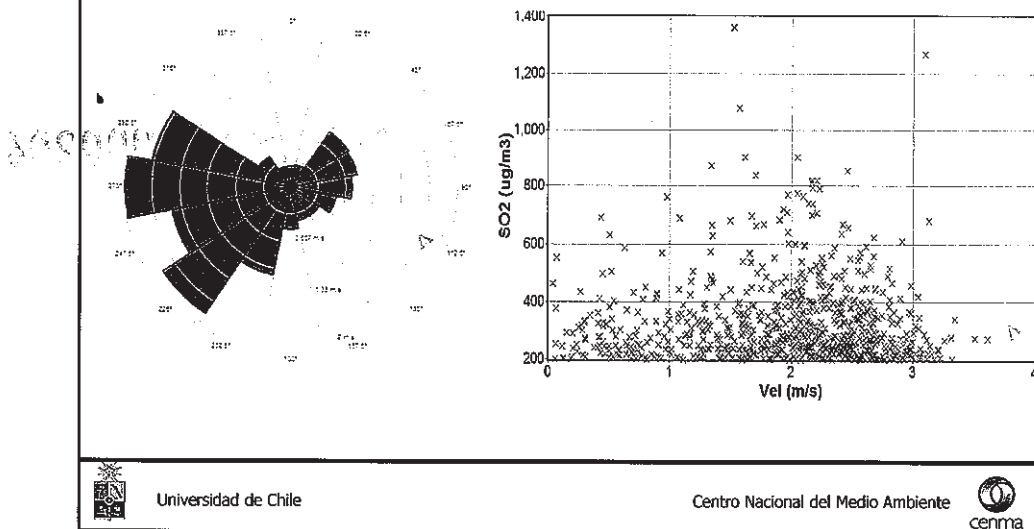


Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



## Velocidad del viento y SO<sub>2</sub>



## Velocidad del viento y SO<sub>2</sub>

Dirección	SO <sub>2</sub>		Velocidad del viento	
	Mediana (ug/m <sup>3</sup> )	Máximo (ug/m <sup>3</sup> )	Mediana (m/s)	Máximo (m/s)
348.75° - 11.25°	12,8	274,3	0,3	0,7
11.25° - 33.75°	12,4	550,6	0,3	1,5
33.75° - 56.25°	9,1	326,3	0,6	3,4
56.25° - 78.75°	9,1	565,4	0,8	3,2
78.75° - 101.25°	9,9	629,7	0,7	3,0
101.25° - 123.75°	9,0	334,2	0,5	2,9
123.75° - 146.25°	9,2	375,8	0,3	2,9
146.25° - 168.75°	8,1	434,0	0,3	5,1
168.75° - 191.25°	8,5	291,4	0,4	4,7
191.25° - 213.75°	8,0	379,8	0,9	5,3
213.75° - 236.25°	7,8	430,3	1,8	5,9
236.25° - 258.75°	12,6	772,9	1,5	4,7
258.75° - 281.25°	37,0	1078,5	2,1	4,3
281.25° - 303.75°	26,7	1362,0	1,7	9,4
303.75° - 326.25°	12,7	323,0	0,4	9,2
326.25° - 348.75°	12,4	461,6	0,3	1,2

1001100



Universidad de Chile

Centro Nacional del Medio Ambiente



**Minuta: Aspectos a considerar en la revisión la Norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre****1. Armonización de la norma primaria de SO<sub>2</sub> con otros instrumentos de gestión ambiental**

Los estándares primarios de calidad del aire aplican en todo el territorio nacional y propenden a mantener la calidad del aire en niveles considerados aceptables para proteger la salud de la población. Lo anterior implica que al constatarse una condición de latencia o superación de los estándares, se activan otros instrumentos de regulación, tales como los planes de prevención o los planes de descontaminación. Los planes, son instrumentos de carácter obligatorio, contienen exigencias y plazos con el fin de reducir las emisiones de un conjunto de actividades económicas o fuentes emisoras, de modo de evitar la saturación (plan de prevención) o restablecer la calidad del aire (plan de descontaminación).

La norma vigente de calidad primaria de SO<sub>2</sub>, se cumplen en la mayor parte del territorio (donde se monitorea); y en los lugares en donde se han constatado excedencias a la norma, corresponden a zonas en donde se ubican fundiciones de cobre, como ocurre en Paipote y en Ventanas. Actualmente, estas dos localidades cuentan con planes de descontaminación en procesos de reformulación.

Otro instrumento preventivo corresponde al sistema de evaluación de impacto ambiental, a través del cual se obliga a algunos tipos de proyectos o ampliaciones de los mismos, a evaluar los impactos que producirían sobre el medio ambiente y a tomar medidas para minimizarlos, con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas ambientales.

**2. Niveles de emergencia de SO<sub>2</sub>**

¿Cuál es el objetivo de los niveles de emergencia<sup>1</sup>? ¿Para qué se establecen como parte de la norma primaria de SO<sub>2</sub>? A nivel local e internacional, se usan los niveles de emergencia para gestionar acciones durante episodios de corta duración y de altos niveles de contaminación. Es decir, se utilizan para evitar efectos de contaminación en situaciones excepcionales, no permanentes ni recurrentes. Se usan habitualmente con el fin de informar a la población para que ella adopte conductas que minimicen la exposición a dichos niveles de contaminación. De esta forma, también pueden gatillar medidas de restricción a las fuentes o actividades económicas que generan la contaminación (por ejemplo se puede citar que durante un episodio en una ciudad de Italia, se liberó el pasaje del transporte público, con el fin que los usuarios optarán por dejar su vehículo en casa). En sí corresponden a niveles de actuación. Es decir su superación gatilla actividades o acciones.

En Chile, los niveles de emergencia activan acciones a través de: 1) la existencia de un plan de descontaminación o prevención y 2) las alertas sanitarias (que se amparan en el Código Sanitario). Ambos instrumentos no son de aplicación automática. El primero requiere un largo tiempo para su implementación, pues debe cumplir procedimientos y plazos fijados por reglamento. Las alertas sanitarias, corresponden a un instrumento de gestión más rápido, pero al igual que el anterior requiere la dictación de una resolución de emergencia sanitaria previa, que dependen de la autoridad sanitaria del lugar en donde ocurre la emergencia (SEREMI de salud de la región respectiva).

Dependiendo del tipo y vía de exposición del contaminante, la norma de calidad primaria respectiva establece los niveles de emergencia. Por ejemplo, la norma de calidad primaria de plomo en el aire, no incluye niveles de emergencia, pero si incorpora la obligación de realizar vigilancia de los niveles de plomo en la sangre en grupos vulnerables de niños. Esto debido a que la exposición al plomo en aire produce un efecto acumulativo lento en el organismo humano. Intoxicaciones agudas de este contaminante se pueden dar vía digestiva en población general. En cambio el dióxido de azufre, puede alcanzar concentraciones que configuran situaciones de emergencia para la población en muy cortos períodos.

---

<sup>1</sup> La ley de Bases del Medio Ambiente establece que las normas primarias "definirán los niveles que originan situaciones de emergencias". Sin establecer ninguna definición ni característica para ellos.

Los valores de emergencia que contiene la **norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre**, actualmente vigentes en Chile, no logran el objetivo que se proponen, por lo tanto, no protegen a la población. Esto se fundamenta en la evidencia científica disponible tanto de la epidemiología como de la toxicología; y también al comparar los valores de emergencia de la norma con otros valores o indicadores de emergencia usados a nivel internacional.

### 3. Reducción de concentraciones de SO<sub>2</sub> gatillados por otros instrumentos regulatorios

En el país, se logrará una significativa reducción de las concentraciones en el aire de SO<sub>2</sub>, al dar cumplimiento a la norma de emisión de termoeléctricas a inicios del año 2017 y a la norma de emisión de fundiciones de cobre, para inicios del año 2019. Además, es posible observar ganancias ambientales debido a la implementación de las normas técnicas que reducen el contenido de azufre, tanto en los combustibles que se utilizan en el transporte<sup>2</sup> y en la industria<sup>2</sup>. Así como también, en los cinco planes de descontaminación que están en zonas donde se localizan fundiciones de cobre (Chuquicamata, Ventanas, Potrerillos, Caletones y Hernán Videla Lira).

A continuación se muestra un cronograma de la implementación de los instrumentos antes mencionados.

Tabla 1. Cronograma de la implementación de instrumentos que reducen concentraciones de SO<sub>2</sub>

Instrumento regulatorio	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Termoeléctricas											
Reducción de SO <sub>2</sub> (23 de junio 2016)											
Fundiciones											
Reducción de SO <sub>2</sub> (12 de diciembre del 2018)											
País											
Combustible transporte diésel S < 15 ppm											
RM											
Combustible transporte diésel S < 15 ppm											
País											
Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM											
Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM: Combustibles industria											
Combustible petróleo N° 5 -N° 6 1% de S											
País: Combustible industria											
Combustible petróleo N°5 -N°6: de 5% paso a 3% de S											

Fuente: Departamento de Normas.

Se puede citar, por ejemplo, que las reducciones logradas de SO<sub>2</sub> a partir de la implementación del plan de descontaminación de Ventanas (primer plan del país y hoy se encuentra en reformulación), que la fundición Ventanas cumplió con todas las exigencias y plazos establecidos en el plan. De 1996 al 2002, la fundición redujo las emisiones de SO<sub>2</sub> en un 76% respecto a un escenario sin plan. Para esto, durante el mismo período, la fundición invirtió en promedio US\$1.137 por tonelada de azufre abatido. Al 2002, la fundición logró por la venta de ácido sulfúrico, recuperar la inversión y los costos ambientales estimados en US\$131,5 millones<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Cabe destacar que estas normas se han establecido dentro del marco del Plan de Descontaminación Ambiental para otro contaminante como es el material particulado.

<sup>3</sup> COCHILCO, 2004. "Análisis de las inversiones ambientales de las fundiciones Estatales. Comisión Chilena del Cobre". Unidad de Asuntos Internacionales y Medio Ambiente. Dirección de Evaluación de Gestión Estratégica.



Producto del cumplimiento de las exigencias del Plan, se registró una importante reducción de los episodios de emergencia ambiental por concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>. Por ejemplo, de 1.774 episodios ocurridos en 1996, se constataron 175 episodios de alta contaminación el año 2002.

Al 2014, la fundición implementa un nuevo plan de inversión con el fin de dar cumplimiento a las exigencias contenidas en la norma de emisión para fundiciones de cobre.

#### 4. Norma primaria de SO<sub>2</sub> y norma secundaria de SO<sub>2</sub>

Amerita observar lo que ocurre con la norma secundaria de SO<sub>2</sub>, que establece un estándar horario, lo cual genera una situación de inconsistencia en el diseño regulatorio, debido a que la norma primaria no establece un estándar horario que proteja a la población para el mismo contaminante. Al comparar el valor horario de la norma secundaria (1.000 o 700 µg/N-m<sup>3</sup>) con el primer nivel de emergencia (1.960 µg/N-m<sup>3</sup>), que se establece en la norma primaria, se tiene que la norma secundaria asume un nivel de protección mayor que la norma primaria<sup>4</sup>.

#### 5. ¿Cómo se reparten los costos y los beneficios de los instrumentos de gestión ambiental que reducen SO<sub>2</sub>?

Los costos se pueden clasificar en: 1) **costos administrativos**, corresponden a aquellos para demostrar cumplimiento de la regulación asumidos por el regulado y/o el fiscalizador, por ejemplo costos de papeleo, trabajo administrativo, entre otros, 2) **costos de cumplimiento**, relacionados con el capital requerido de equipamiento y mantención para tecnologías o técnicas de control, medición, capacitación, entre otros, 3) **costos financieros**, que se pagan a través de multas por incumplimiento o cuando se demuestra daño, 4) **costos de vigilancia**, se relaciona con la vigilancia en la calidad del aire y la exposición de las personas, tales como: monitoreo, validación y procesamiento, mantención, campañas de salud (ver por ejemplo artículo 16 de la norma SO<sub>2</sub>).

La tabla 2 describe cómo se reparten los distintos tipos de costos con diferentes instrumentos de gestión de la calidad del aire que reducen concentraciones de SO<sub>2</sub>.

**Tabla 2 Instrumento de gestión ambiental y tipos de costos observados**

Instrumentos de gestión ambiental que reducen concentraciones de SO <sub>2</sub>	1. Costos administrativos de cumplimiento	2. Costos de cumplimiento	3. Costo financieros que se pagan a través de multas (por no cumplimiento)	4. Costos de vigilancia
1. Planes vigentes que incluyen reducciones de SO <sub>2</sub> y están siendo reformulados: Paipote, Ventanas, Chuquicamata, Caletones y Potrerillos.	SI	SI	SI	SI
2. Norma de emisión de termoeléctricas	SI	SI	SI	NO
3. Norma de emisión de fundiciones de cobre	SI	SI	SI	NO
4. Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial	SI	SI	NO	NO
5. Proyecto que ingresa al SEIA	SI	SI	SI	SI
<b>6. Estándares de la norma primaria de SO<sub>2</sub></b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>

Fuente: Departamento de Normas.

<sup>4</sup> Esto no es de extrañar, pues la vegetación no posee los mecanismos de protección que el organismo humano posee.

La tabla 3 muestra la relación entre los niveles de emergencia y los instrumentos de gestión ambiental

**Tabla 3 relación entre los niveles de emergencia y los instrumentos de gestión ambiental**

	Planes vigentes que incluyen reducciones de SO <sub>2</sub>	Alertas Sanitarias <sup>5</sup>	Norma de emisión de termoeléctricas	Norma de emisión de fundiciones de cobre	Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial
¿Qué instrumento se podrían activar debido a la superación de los niveles de emergencia?	SI	SI	NO	NO	NO
¿Existen costos de acciones informativas para cambiar conductas y minimizar la exposición? ¿Quién asume los costos?	SI El Estado	SI El Estado	NO	NO	NO
¿Se establecen en el instrumento, para las fuentes reguladas, exigencias en episodios de emergencia?	SI	SI	NO	NO	NO
¿Existen costos por parte de las fuentes o actividades económicas, para reducir las emisiones durante el episodio de emergencia?	SI	SI	NO	NO	NO
En la evaluación económica del instrumento ¿Se identificaron y evaluaron los costos por acciones a implementar durante episodios de emergencia?	Algunos costos fueron identificados y valorados	Solamente, los costos en salud pública.	NO	NO	NO

**Tabla 4 Sobre los beneficios de los instrumentos que reducen SO<sub>2</sub>**

Instrumentos de gestión ambiental que reducen las concentraciones de SO <sub>2</sub>	¿Los beneficios fueron identificados?	¿Los beneficios fueron cuantificados o descritos cualitativamente?	¿Los beneficios fueron monetarizados (\$)?	Comentario
1. Planes vigentes que incluyen reducciones de SO <sub>2</sub> y que están en proceso de reformulación	SI	SI	ALGUNOS	Los beneficios son incluidos en la evaluación del Plan, debido a que el plan persigue salir de la condición de saturación o latencia por SO <sub>2</sub> .  ¿Qué pasa en aquellas zonas que no hay plan y se cumplen los estándares?, se realiza vigilancia de los estándares de SO <sub>2</sub> , y se contabiliza como ganancia ambiental.
2. Norma de emisión de termoeléctricas	SI	SI	ALGUNOS	La norma de emisión logra una mejora en la reducción de SO <sub>2</sub> , no implica que sea suficiente para dar cumplimiento a los estándares de calidad del aire.
3. Normas de emisión de fundiciones de cobre	SI	SI	ALGUNOS	La norma de emisión logra una mejora en la reducción de SO <sub>2</sub> , no implica que sea suficiente para dar cumplimiento a los estándares de calidad del aire.

<sup>5</sup> Las alertas sanitarias se amparan en el Código Sanitario.

## Continuación

Instrumentos de gestión ambiental que reducen las concentraciones de SO <sub>2</sub>	¿Los beneficios fueron identificados?	¿Los beneficios fueron cuantificados o descritos cualitativamente?	¿Los beneficios fueron valorados (\$)?	Comentario
4. Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial	ALGUNOS	CUALITATIVO	NO	Las normas técnicas logran una mejora en la reducción de SO <sub>2</sub> , no implica que sea suficiente para dar cumplimiento a los estándares de calidad del aire. A pesar que se demuestra una permanente ganancia ambiental en el caso de la RM, donde hay un importante parque vehicular.
5. Evaluación de impacto ambiental (SEIA) de proyectos que aportan SO <sub>2</sub>	POCAS VECES	NO	NO	El proyecto compara la línea de base con un escenario "con" proyecto, debe demostrar que "con" proyecto se cumple la normativa ambiental vigente.

## Conclusiones:

- Dependiendo del tipo y vía de exposición del contaminante, la norma de calidad primaria respectiva establece los niveles de emergencia. El SO<sub>2</sub> puede alcanzar concentraciones que configuran situaciones de emergencia para la población en muy cortos períodos.
- Los niveles de emergencia que se establecen en el decreto de la norma primaria de SO<sub>2</sub>, impone requisitos que están sujetos en otros instrumentos de gestión ambiental. De esta forma, se debe tener cautela en la contabilidad de los costos y/o beneficios y no generar duplicación de estos.
- En las zonas del país donde no hay planes y se cumple con los estándares de SO<sub>2</sub>, se realiza la vigilancia de la calidad del aire de SO<sub>2</sub> (costo para el Estado o Privado) y se contabiliza el cumplimiento de la norma como ganancia ambiental.
- La aplicación de las normas de emisión (termoeléctricas y fundiciones) y las normas técnicas de calidad del combustible (para transporte e industria), logran una mejora en la reducción de SO<sub>2</sub>, sin embargo, no implica que sea suficiente para dar cumplimiento con los estándares de calidad del aire.
- Los niveles de emergencia son definidos como uno de los contenidos de la norma de SO<sub>2</sub>. Sin embargo, los costos vinculados a la implementación de los niveles de emergencia, se materializan a través de un plan o por la aplicación de alertas sanitarias.

CGC/PUM/CIF//...

**Minuta****Niveles de emergencia: revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)****1. Antecedentes**Antecedentes Nacionales:

En el artículo 19<sup>1</sup> del D.S. N°185/1991 del Ministerio de Minería, se establece para los establecimientos regulados un Plan de Acción Operacional en caso de episodios críticos. Además, se establecen niveles de concentración horaria de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para activar medidas de precaución a la población.

**Tabla 1: Medidas de precaución contenidas en el D.S. N°185/1991 del Ministerio de Minería**

Concentración horaria ppm (µg/m <sup>3</sup> )	Situación	Medidas de precaución
0,75 ( 1.962 )	Aviso de alerta	Ancianos y personas con enfermedades cardiacas y respiratorias deberán permanecer en sus casas. En ellas se deberán cerrar puertas y ventanas.
1,00 ( 2.616 )	Aviso de advertencia	Adicionalmente a lo anterior los escolares deberán suspender las clases de gimnasia y las actividades en el exterior.
1,50 ( 3.924 )	Aviso de emergencia	Adicionalmente a lo anterior, todas las personas deben permanecer en sus casas minimizando las actividades físicas, desplazándose sólo para concurrir a su trabajo o por razones de fuerza mayor.

Luego, en la norma primaria de SO<sub>2</sub>, artículo 5 del D.S. N°113/2003, se establecen niveles en concentración de una hora, que originan situaciones de emergencia ambiental. Los valores de los niveles vigentes mantienen los valores contenidos en el D.S. N°185/1991, definiéndose de la siguiente forma:

**Tabla 2: Niveles de emergencia ambiental de la norma primaria de SO<sub>2</sub> actualmente en revisión**

Nivel	Concentración horaria ppbv (µg/m <sup>3</sup> )
Nivel 1	750 - 999 ( 1.962 - 2.615)
Nivel 2	1.000 - 1.499 ( 2.616 - 3.923)
Nivel 3	1.500 o superior ( 3.924 o superior)

Los niveles de emergencia para dióxido de azufre pueden ser obtenidos mediante aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada en el marco del Plan de Prevención o de Descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Por otra parte, el año 2014, la Ilustre Municipalidad de Quintero de la región de Valparaíso, a través de un Decreto Alcaldicio (N°3437, de agosto 2014), define cuatro estados de calidad del aire para dióxido de azufre (bueno, moderado, alto y muy alto), con la finalidad de establecer protocolos preventivos de protección de salud de la población vulnerable de la comuna.

Los niveles son definidos a partir de concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de 15 minutos y sus rangos corresponden a:

<sup>1</sup> Este artículo se encuentra vigente.

Tabla 3: Niveles de emergencia establecidos en el decreto alcaldicio de la Municipalidad de Quintero

Nivel	Rango de concentraciones en períodos de 15 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Recomendación
Bueno	0 - 265	No existen restricciones de actividad física para ningún grupo de la población.
Moderado	266 - 531	Cuidado para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se recomienda reducir la actividad física extenuante al aire libre.
Alto	532 - 1.063	Crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se debe reducir esfuerzo físico y la actividad física aire libre. La población no vulnerable que experimente molestias asociadas a ardor ocular, tos o dolor de garganta, debe considerar la reducción de esfuerzo físico y asistir al centro asistencial.
Muy Alto	1.064 o más	Muy crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Toda la población debe evitar realizar actividad física al aire libre, en especial si presenta molestias como ardor ocular, tos o dolor de garganta y asistir al centro asistencial.

Otra situación se presenta en la región de Atacama, donde la SEREMI de Salud utiliza el siguiente criterio (figura 1) para determinar los niveles que activan el aviso de riesgo en la salud a la población, debido al aumento de las concentraciones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

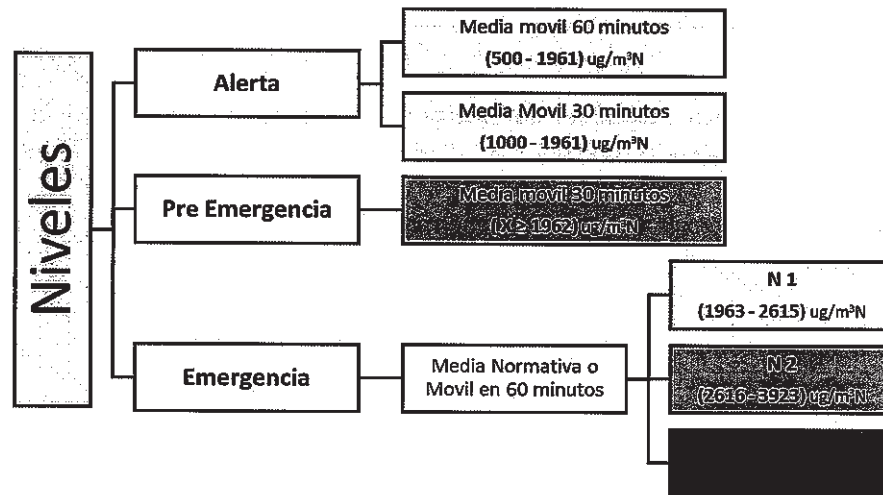


Figura 1: Niveles de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) para episodios de corta duración usados por SEREMI de Salud Atacama  
Fuente: Entregado por el Sr. Omar Maldonado al Sr. Cristián Ibarra del Ministerio en reunión sostenida con la SEREMI de Salud de la región de Atacama, el 21 de octubre del 2014, en dependencias de la SEREMI de Salud de Atacama, Copiapó.

Antecedentes Internacionales:

- a. **Estados Unidos:** a través de su Agencia de Protección Ambiental (USEPA, United States Environmental Protection Agency) ha desarrollado un índice de calidad del aire (AQI, Air Quality Index). Este índice se basa en un algoritmo y esta categorizado en 6 niveles, hasta el nivel insalubre se calcula a partir de concentraciones horarias, en los niveles siguientes se calcula a partir de concentraciones diarias.

( <http://www.airnow.gov/> )

**Tabla 4: Niveles del índice de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Estados Unidos**

Nivel	AQI	Rango de concentraciones ppb (µg/m <sup>3</sup> )	Algoritmo
Bueno	0 - 50	0 - 35 (0 - 92) <sup>(1h)</sup>	$AQI = ((I_{high} - I_{low}) / (C_{high} - C_{low})) * (C - C_{low}) + I_{low}$ <p>C : concentración del contaminante  C<sub>low</sub> : valor de concentración donde cambia de estado y es menor a C  C<sub>high</sub> : valor de concentración donde cambia de estado y es mayor a C  I<sub>low</sub> : valor del índice correspondiente a C<sub>low</sub>  I<sub>high</sub> : valor del índice correspondiente a C<sub>high</sub></p>
Moderado	51 - 100	36 - 75 (93 - 197) <sup>(1h)</sup>	
Insalubre para grupos sensibles	101 - 150	76 - 185 (198 - 484) <sup>(1h)</sup>	
Insalubre	151 - 200	186 - 304 (485 - 795) <sup>(1h)</sup>	
Muy insalubre	201 - 200	305 - 604 (796 - 1580) <sup>(24h)</sup>	
Peligroso	301 - 500	605 - 1004 (1581 - 2626) <sup>(24h)</sup>	

(1h): el algoritmo se calcula a partir de concentraciones horarias

(24h): el algoritmo se calcula a partir de concentraciones diarias

- b. **China:** utiliza un algoritmo semejante al utilizado por Estados Unidos (documento HJ633, 2012), pero sus niveles son algo diferentes como se muestra en la tabla 5.

( <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhbh/cefffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> )

**Tabla 5: Niveles del índice de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en China**

Nivel	IAQI	Rango de concentraciones (µg/m <sup>3</sup> )
Excelente	0 - 50	(0 - 150) <sup>(1h)</sup>
Bueno	51 - 100	(151 - 500) <sup>(1h)</sup>
Ligeramente contaminado	101 - 150	(501 - 650) <sup>(1h)</sup>
Moderadamente contaminado	151 - 200	(651 - 800) <sup>(1h)</sup>
Altamente contaminado	201 - 300	(801 - 1600) <sup>(24h)</sup>
Severamente contaminado	> 300	> 1600 <sup>(24h)</sup>

(1h): el algoritmo se calcula a partir de concentraciones horarias

(24h): el algoritmo se calcula a partir de concentraciones diarias

- c. **Unión Europea (UE):** utiliza el Common Air Quality Index (CAQI), este índice se basa en concentraciones horarias de dióxido de azufre y tiene 5 niveles (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto).  
( <http://www.airqualitynow.eu> )

**Tabla 6: Niveles del índice Common Air Quality Index para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Unión Europea (UE)**

Nivel	CAQI	Rango de concentraciones (µg/m <sup>3</sup> )
Muy Bajo (Very Low)	0 - 25	0 - 50
Bajo (Low)	25 - 50	51 - 100
Medio (Medium)	50 - 75	101 - 350
Alto (High)	75 - 100	351 - 500
Muy Alto (Very high)	> 100	> 500

- d. **Reino Unido (UK):** utiliza el Daily Air Quality Index recomendado por Committee on Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP). El cual contiene 10 puntos (breakpoints) agrupados en 4 niveles. Este índice se basa en concentraciones de dióxido de azufre de **15 minutos**. ( <http://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqi> )

**Tabla 7: Niveles del índice Daily Air Quality Index para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el Reino Unido (UK)**

Nivel	Rango de concentraciones (µg/m <sup>3</sup> )
Bajo (Low)	0 - 266
Moderado (Moderate)	267 - 532
Alto (High)	533 - 1064
Muy Alto (Very high)	> 1065

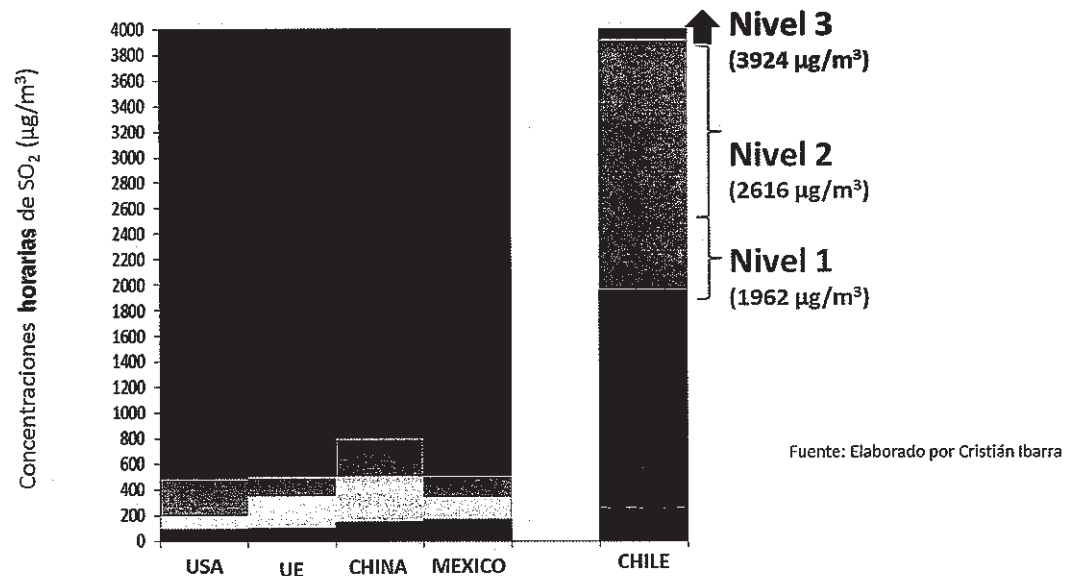
- e. **México:** utiliza el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), este índice se emplea para comunicar el grado de contaminación y el nivel de riesgo en la salud de la población, así como las recomendaciones o acciones que pueden realizar para su protección. El IMECA se calcula a partir de los **promedios horarios** de la medición de contaminantes como: ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y material particulado. Para el caso de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se tiene:

**Tabla 8: Niveles del índice IMECA para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), usado en México**

Nivel	IMECA	Rango de concentraciones horarias ppm (µg/m <sup>3</sup> )	Algoritmo
Bueno	0 - 50	0 - 0,065 (0 - 170)	IMECA = [ SO <sub>2</sub> ] * 100 / 0,13  [SO <sub>2</sub> ]: concentración horaria de dióxido de azufre en ppm
Regular	51 - 100	0,066 - 0,130 (171 - 340)	
Malo	101 - 150	0,131 - 0,195 (341 - 510)	
Muy malo	151 - 200	0,196 - 0,260 (511 - 680)	
Extremadamente malo	> 200	> 0,260 (> 680)	

## 2. Comparación entre los niveles de emergencia utilizados a nivel internacional y los nacionales

La figura 2 compara los niveles de emergencia en concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de Estados Unidos (USA), Unión Europea (UE, consta de 28 países), China, México con los niveles establecidos en la norma primaria de SO<sub>2</sub> de Chile.



Moderado	Nivel aceptable, de cuidado para grupos vulnerables.
Insalubre (población sensible)	Nivel crítico para grupos vulnerables, produce irritaciones y efectos de salud en los grupos sensibles.
Insalubre	Nivel muy crítico para grupos vulnerables, repercusiones nocivas en miembros de grupos de riesgo (niños, de edad avanzada o personas débiles), también causa molestias desagradables en el público en general.
Muy Insalubre	Nivel que puede tener un grave impacto en miembros de grupos de riesgo en caso de exposición aguda.
Peligroso	Nivel que puede tener efectos nocivos sobre la población en general.

**Figura 2: Comparación de niveles de emergencia en concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Fuente: Elaborado por el Sr. Cristián Ibarra, profesional del Departamento de Normas, de la División de Calidad del Aire, del Ministerio del Medio Ambiente a partir de:

- Estados Unidos: Air Quality Index (AQI) desarrollado por United States Environmental Protection Agency (USEPA) ( <http://www.airnow.gov/> )  
EPA, 2013, Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)
- Unión Europea: Common Air Quality Index (CAQI) ( [http://www.airqualitynow.eu/about\\_indices\\_definition.php](http://www.airqualitynow.eu/about_indices_definition.php) )  
CiteAir, 2007, Comparing Urban Air Quality Across Borders, a review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative
- China: Ministry of Environmental Protection of China, documento HJ633-2012, Technical Regulation on Ambient Air Quality Index ( <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhbh/jcffffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> )
- México: Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). NADF-009-AIRE-2006. Norma ambiental para el distrito federal, que establece los requisitos para elaborar el índice metropolitano de la calidad del aire
- Chile: Artículo 5, Decreto Supremo N° 113 del MINSEGPRES, del 2003

En la figura 2, se aprecia que Chile tiene una gran tolerancia en los niveles considerados de emergencia por concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (1962 µg/m<sup>3</sup> es 10 veces superior, si se compara con el nivel insalubre para población sensible de los Estados Unidos de 197 µg/m<sup>3</sup> y 5 veces más que nivel malo de México de 340 µg/m<sup>3</sup>).

El nivel de emergencia actualmente vigente en Chile, no cumple con la protección de la población frente a episodios de alta contaminación y de corta duración.

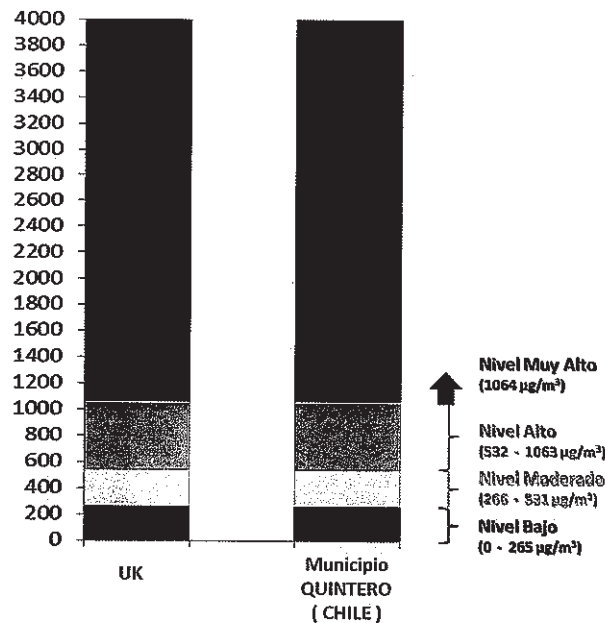


000212

VTA

Departamento de Normas, 18 de noviembre del 2014.

En particular, para el caso de los niveles de emergencia que se indican en el decreto alcaldicio del Municipio de Quintero, se puede deducir que estos se construyeron de acuerdo a lo establecido en el modelo de Reino Unido (UK), considerando concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) promedio de 15 minutos (figura 3).



Fuente: Elaborado por Cristián Ibarra..

**Figura 3: Comparación del modelo adoptado por el Municipio de Quintero**

Fuente: Elaborado por el Sr. Cristián Ibarra, profesional del Departamento de Normas, de la División de Calidad del Aire, del Ministerio del Medio Ambiente a partir de:

1. Reino Unido: Daily Air Quality Index, Department for Environment Food and Rural Affairs, United Kingdom, 2013 (<http://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqj>)
2. Decreto Alcaldicio N°3437, de la Ilustre Municipalidad de Quintero de la Región de Valparaíso, 26 de agosto del 2014

En resumen, hay evidencia de que la Municipalidad de Quintero y la Autoridad Sanitaria de Copiapó, aplican **niveles de emergencia** más restrictivos respecto a los que establece el D.S. 113, generando conflictos de coordinación y de carácter jurídico (no se cumple principio de legalidad) y de las competencias de los organismos del Estado. Estos antecedentes se suman a la pérdida de credibilidad y desconfianza por parte de la ciudadanía al rol regulador del Estado.

Uno de los principales desafíos del presente proceso de revisión corresponde a **establecer un nivel de emergencia que al activarse a través de planes operacionales, reduzca efectivamente la exposición de la población en las zonas afectadas**. Cabe señalar, que se registran episodios en las zonas donde se localizan la fundición de Ventanas (Puchuncaví–Quintero) y la fundición Hernán Videla Lira (Paipote-Tierra Amarilla). En estas dos zonas ya existen planes de descontaminación que están en proceso de revisión. El nivel de emergencia activará los planes operacionales contenidos en los planes de descontaminación.

Pero ¿qué sucedería en aquellas zonas donde no hay plan y se registrase un episodio por SO<sub>2</sub>? En este caso, la autoridad sanitaria puede reaccionar a través de alertas sanitarias, esto es, se actúa para reducir la exposición de la población, sin la necesidad que exista un plan de descontaminación. De aquí la importancia de definir niveles de emergencia efectivos y eficientes que permitan proteger a la población.

Minuta elaborada por:

- Cristián Ibarra, coordinador del proceso de revisión de la norma primaria de calidad SO<sub>2</sub>, del Departamento de Normas.
- Priscilla Ulloa, profesional del Departamento de Normas.
- Carmen Gloria Contreras, Jefa del Departamento de Normas.

## **Anexo I: Referencias de la minuta niveles de emergencia, revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

A continuación se listan las referencias de la información utilizada para confeccionar la minuta de niveles de emergencia para dióxido de azufre:

### Estados Unidos

1. USEPA, 2013.  
Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI), páginas 8 y 9.

### Unión Europea

2. CiteAir, 2007.  
Comparing Urban Air Quality Across Borders, a review of existing air quality índices and the proposal of a common alternative, tabla 3, Capítulo 4, página 9.

### China

3. Ministry of Environmental Protection of China, HJ633-2012.  
Technical Regulation on Ambient Air Quality Index, tabla 1, página 2.

### México

4. Gaceta Oficial del Distrito Federal de México, 2006.  
NADF-009-AIRE-2006, Norma ambiental para el distrito federal, que establece los requisitos para elaborar el índice metropolitano de la calidad del aire, página 159.

### Reino Unido

5. Department for Environment, Food and Rural Affairs, United Kingdom, 2013.  
Update on Implementation of the Daily Air Quality Index, tabla 1, página 4.

### Chile

6. Ministerio Secretaria General de la Presidencia de Chile, 2003.  
Decreto Supremo N° 113/2003 del MINSEGPRES, artículo 5.
7. Municipalidad de Quintero, 26 agosto 2014.  
Decreto Alcaldicio N°3437.

EPA-454/B-13-001  
December 2013

**Technical Assistance Document  
for the Reporting of Daily Air Quality –  
the Air Quality Index (AQI)**

Contact:  
David Mintz  
U.S. Environmental Protection Agency  
Research Triangle Park, North Carolina

U.S. Environmental Protection Agency  
Office of Air Quality Planning and Standards  
Research Triangle Park, North Carolina 27711

000214  
VTA



**Technical Assistance Document  
for the Reporting of Daily Air Quality –  
the Air Quality Index (AQI)**

## TABLE OF CONTENTS

Reporting Guidance.....	1
Table 1: Pollutant-Specific Groups.....	2
Pollutant-Specific Health Effects Statements .....	8
Pollutant-Specific Sub-indices and Cautionary Statements .....	10
Table 2: Breakpoints for the AQI .....	14
Table 3: Metropolitan Statistical Areas.....	20
Frequently Asked Questions.....	23

This guidance is designed to aid local agencies in reporting the air quality using the Air Quality Index (AQI) as required in Part 58.50 of 40 CFR and according to Appendix G to Part 58 of 40 CFR.

**Do I have to report the AQI?**

Part 58.50 states that Metropolitan Statistical Areas (MSAs) with a population of more than 350,000 are required to report the AQI daily to the general public. Table A-1 in the Appendix lists all metropolitan areas with a population of more than 350,000.

**How often do I report the AQI?**

Appendix G states that MSAs must report the AQI on a daily basis. The appendix further defines daily as at least five times each week. This definition allows for days when personnel are not available to provide the AQI report or for equipment failures.

**How do I provide the AQI report to the general public?**

You may distribute the report to the local media (newspapers, radio, television), provide a recorded telephone message, or publish the report on a publicly accessible Internet site. Other efforts, including real-time data reporting and community action programs (e.g., ozone action day programs) that provide timely air quality information to the public, may be used to meet reporting requirements.

**What is in my AQI report?**

Your AQI report must contain:

- The reporting area(s),
- The reporting period,
- The critical pollutant,
- The AQI,
- The category descriptor and, if reported in a color format, the associated color.<sup>1</sup> Use only the following names and colors for the six AQI categories:

For this AQI....	use this descriptor...	and this color
0 to 50	..... "Good"	Green
51 to 100	..... "Moderate"	Yellow
101 to 150	..... "Unhealthy for Sensitive Groups"	Orange
151 to 200	..... "Unhealthy"	Red
201 to 300	..... "Very Unhealthy"	Purple
301 and above	..... "Hazardous"	Maroon

- Statements cautioning sensitive groups for all pollutants with an index value over 100. Use Table 1 on page on the following page to caution sensitive groups. Statements may be combined so that each group is mentioned only once.

---

<sup>1</sup> Although a recorded phone message or a radio broadcast can't show colors, it can name a color in the report (e.g. this is a "red" air quality day).

**Table 1: Pollutant Specific Sensitive Groups**

<u>When this pollutant has an index above 100...</u>	<u>Report these Sensitive Groups</u>
Ozone	People with lung disease, children, older adults, and people who are active outdoors are the groups most at risk
PM2.5	People with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower socioeconomic status (SES) are the groups most at risk
PM10	People with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower socioeconomic status are the groups most at risk
CO	People with heart disease are the group most at risk
NO2	People with asthma, children, and older adults are the groups most at risk
SO2	People with asthma, children, and older adults are the groups most at risk

An AQI report may also contain, but does not require:

- The name and index value for other pollutants, particularly those with an index value greater than 100,
- The index for sub-areas of the reporting area,
- Actual pollutant concentrations,
- Causes for unusual AQI values,
- Health effects and cautionary language,
- Statements that "blend" health effects and cautionary information for more than one pollutant, if there is more than one pollutant with an index value greater than 100.

It is important to inform the public when the AQI is above 100. This is why EPA strengthened the reporting provisions in section 6 of Appendix G in 1999. In particular, whenever the AQI exceeds 100, reporting agencies should expand reporting to all major news media, and at a minimum, should include notification to the media with the largest market coverage for the area in question.

000216

UTA.

**What does an AQI report look like?**

NEWSPAPER

**Example 1. Newspaper short form in color**

Air Quality for Raleigh, N.C.

**Air Quality Index**

Yesterday's report: 66

Main pollutant: **Particulate Matter**



Today's ozone forecast : 38

**Example 2. Newspaper short form in black and white**

Chicago Tribune

**AIR QUALITY**

**Illinois EPA's air quality index (AQI):**

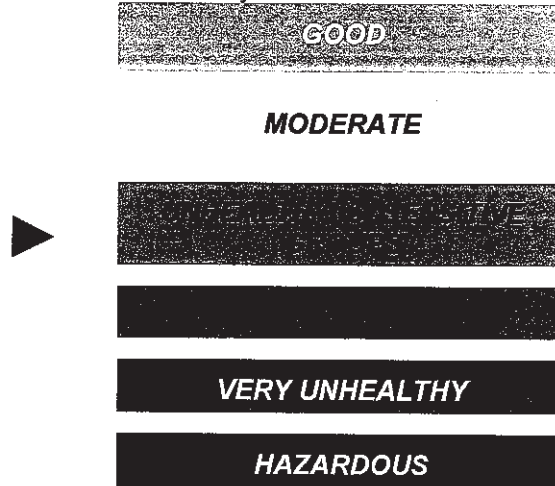
0-50 is good; 51-100 moderate; 101-150 unhealthy for sensitive groups; 151-200 unhealthy; 200+ very unhealthy

Tuesday's reading	na
Wednesday's forecast	Good
Critical pollutant	<b>Particulate Matter</b>

**Example 3. Newspaper longer form**

The Air Quality in Baltimore Yesterday

The AIR QUALITY yesterday in Northeast Baltimore was Unhealthy for Sensitive Groups due to ozone. Groups likely to be sensitive to ozone include active children and adults, and people with respiratory disease such as asthma. The Air Quality Index was 109 resulting from an ozone concentration of 0.079 ppm. Elsewhere in Baltimore, the air quality index was 87 or Moderate. Since today's air quality is expected to be much the same, sensitive groups should consider limiting prolonged or heavy outdoor exertion.





### TELEVISION

The following is a short script that could be used for a television evening news/weather report. The graphics used in the report could be much the same as the graphics used in newspaper reports. The weathercaster must use the descriptors and, if a color format is used, colors for the categories that are listed above.

#### ***Example 4. A short form for television (morning)***

"Yesterday the air quality was unhealthy due to ozone, and we expect similar air quality today – in the red range or around an index of 160, which is unhealthy. Active adults and children and people with asthma or other respiratory diseases should avoid prolonged physical exertion outside today. In fact, everyone should consider limiting the time they spend on outdoor exercise or those outside jobs..."

#### ***Example 5. A short form for television (evening)***

"The air quality index today was 156, a red air quality day. The air stagnation caused a buildup of ozone to unhealthy levels."

#### ***Example 6. Two long forms for television (evening)***

"Air quality today was unhealthy due to ozone, with an index value of 156. The cool front we expected to come through here tomorrow and blow all this ozone away isn't going to make it, so the stagnant air will still be here, making air quality unhealthy. Active children and adults and people with asthma or other respiratory diseases should avoid prolonged exertion outside tomorrow. In fact, everyone should consider limiting the time they spend on outdoor exercise or those outside jobs..."

"Tomorrow will be a code red air quality day for Center City. The cold winter air, morning traffic, and wood smoke are expected to cause particle pollution to rise to unhealthy levels. People with heart or lung disease, older adults, and children should avoid strenuous activities."

### TELEPHONE

Recorded telephone messages can be used to give more up-to-date information on the air quality. For example, the following script has been used:

#### ***Example 7. A script for telephone***

"As of 10:00 a.m., the air quality index is 45 which is a good or "green" air quality day. The responsible pollutant is ozone."

### INTERNET

Most State and local agencies report the AQI on their public Web sites. The data available on the Web site are typically up to the most recent hour. Links to these sites can be found in the "Where I Live" section of the AirNow Web site, at [www.airnow.gov](http://www.airnow.gov).

#### ***Example 8. A short form for a Web page***

000217

VTA

**Air Quality Index for St. Louis, MO**

Time of this report:  AQI:  Code:

Responsible pollutant:  Category:

**Example 9. A long form for a Web page- ozone**

**Air Quality Index for Chicago, IL for August 2**

Report as of:  AQI:  Responsible pollutant:

Code:  Category:

Sensitive groups:

Health effects:

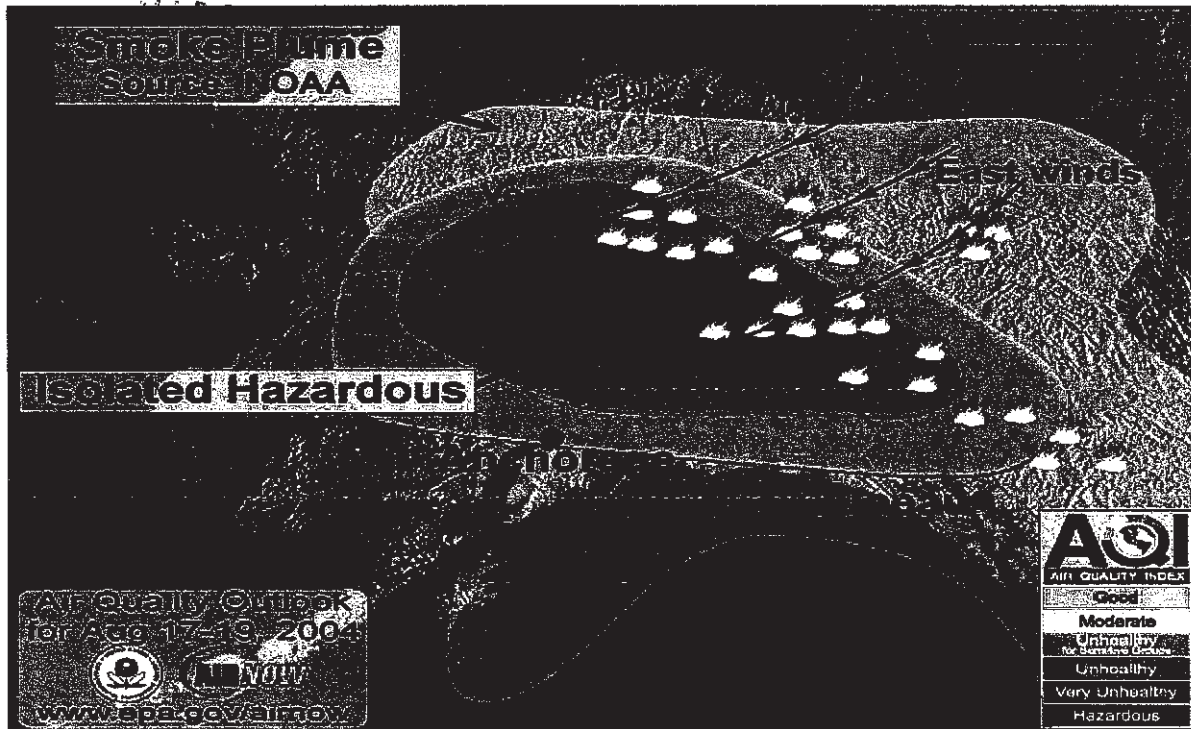
**HEALTH ADVISORY**

Air Quality in South Chicago - Gary, IL AQI:  (Unhealthy for Sensitive Groups)

Tomorrow's air quality in Chicago is predicted to be:  Code:

**Example 10. A long form for a Web page- particulate matter**

**Anchorage, Alaska**



**Alaska Department of Environmental Conservation (DEC) Issues Statewide Air Quality Advisory-**

The AQI levels have been steadily increasing from Moderate to Unhealthy. Dense smoke advisory has been issued by the National Weather Service for the Fairbanks area for today and tonight. Poor air quality conditions are expected to persist for the next several days as a high pressure system to the northeast drives easterly winds and smoke to the Fairbanks area.

**Health Tip:** Everyone should avoid any outdoor exertion; people with respiratory or heart disease, the elderly, and children should remain indoors.

**Source:** Alaska Department of Environmental Conservation and United States Environmental Protection Agency.

### What colors do I use in my AQI report?

If you report the Air Quality Index in a color format, the appropriate colors are specified in Appendix G as the following:

For this category ...	... use this color
Good	Green
Moderate	Yellow
Unhealthy for Sensitive Groups	Orange
Unhealthy	Red
Very Unhealthy	Purple
Hazardous	Maroon

Specific colors are defined in the table below for red, green, blue (RGB) and cyan, magenta, yellow, and black (CMYK) color formulas:

Color	R	G	B	C	M	Y	K
Green	0	228	0	40	0	100	0
Yellow	255	255	0	0	0	100	0
	255	126	0	0	52	100	0
	255	0	0	0	100	100	0
Purple	143	63	151	51	89	0	0
Maroon	126	0	35	30	100	100	30

Notes: The RGB model is traditionally used for screen colors, while CMYK is traditionally used for printing processes. The color models are based on a 0 - 255 scale (e.g. 50% is 126).

### What health effects and cautionary statements should I use in my report?

The most recent health effect information used with the AQI is pollutant-specific. The following table lists the different health effects messages, sensitive groups, and cautionary statements for each pollutant in the AQI.

**Pollutant-Specific Sub-indices and Health Effects Statements  
for Guidance on the Air Quality Index (AQI)**

AQI Categories: Index Values	Ozone (ppm)		Particulate Matter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide (ppm) [8-hour]	Sulfur Dioxide (ppb) [1-hour]	Nitrogen Dioxide (ppb) [1-hour]
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]			
Good (Up to 50)	0 - 0.059 None	-	0 - 12.0 None	0 - 54 None	0 - 4.4 None	0 - 35 None	0 - 53 None
Moderate (51 - 100)	0.060 - 0.075 Unusually sensitive individuals may experience respiratory symptoms.	-	12.1 - 35.4 Respiratory symptoms possible in unusually sensitive individuals, possible aggravation of heart or lung disease in people with cardiopulmonary disease and older adults.	55 - 154	4.4 - 9.4 None	36 - 75 None	54 - 100 None
Unhealthy for Sensitive Groups (101 - 150)	0.076 - 0.095	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360
	Increasing likelihood of respiratory symptoms and breathing discomfort in people with lung disease, such as asthma, children, older adults and outdoor workers.		Increasing likelihood of respiratory symptoms in sensitive individuals, aggravation of heart or lung disease and premature mortality in people with cardiopulmonary disease, older adults, and people of lower SES.		Increasing likelihood of reduced exercise tolerance due to increased cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with heart disease.	Increasing likelihood of respiratory symptoms, such as chest tightness and breathing discomfort, in people with asthma.	Increasing likelihood of respiratory symptoms, such as chest tightness and breathing discomfort, in people with asthma.
Unhealthy (151 - 200)	0.096 - 0.115	0.165 - 0.204	55.5 - 150.4	254 - 354	12.5 - 15.4	186 - 304	361 - 649
	Greater likelihood of respiratory symptoms and breathing difficulty in people with lung disease, such as asthma, children, older adults, and outdoor workers; possible respiratory effects in general population.		Increased aggravation of heart or lung disease and premature mortality in people with cardiopulmonary disease, older adults, and people of lower SES; increased respiratory effects in general population.		Reduced exercise tolerance due to increased cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with heart disease.	Increased respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing in people with asthma; possible aggravation of other lung diseases.	Increased respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing in people with asthma; possible aggravation of other lung diseases.

Very Unhealthy (201 - 300)	0.116 - 0.374	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355 - 424	15.5 - 30.4	305 - 604 [24-hour]	650 - 1249
	Increasingly severe symptoms and impaired breathing likely in people with lung disease, such as asthma, children, older adults, and outdoor workers; increasing likelihood of respiratory effects in general population.				Significant aggravation of heart or lung disease and premature mortality in people with cardiopulmonary disease, older adults, and people of lower SES; significant increase in respiratory effects in general population.	Significant aggravation of cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with heart disease.	Significant increase in respiratory symptoms, such as wheezing and shortness of breath, in people with asthma; aggravation of other lung diseases.
Hazardous (301 - 500)	-	0.405 - 0.604	250.5 - 500.4	425 - 604	30.5 - 50.4	605 - 1004 [24-hour]	1249 - 2049
	Severe respiratory effects and impaired breathing likely in people with lung disease, such as asthma, children, older adults and outdoor workers; increasingly severe respiratory effects likely in general population.				Serious aggravation of heart or lung disease and premature mortality in people with cardiopulmonary disease, older adults, and people of lower SES; serious risk of respiratory effects in general population.	Serious aggravation of cardiovascular symptoms, such as chest pain, in people with heart disease; impairment of strenuous activities in general population.	Severe respiratory symptoms, such as wheezing and shortness of breath, in people with asthma; increased aggravation of other lung diseases; possible respiratory effects in general population.

**Pollutant-Specific Sub-indices and Cautionary Statements for Guidance on the Air Quality Index (AQI)**

AQI Categories (Index Values)	Ozone (ppm)		Particulate Matter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Carbon Monoxide (ppm) [8-hour]	Sulfur Dioxide (ppb) [1-hour]	Nitrogen Dioxide (ppb) [1-hour]
	[8-hour]	[1-hour]	PM <sub>2.5</sub> [24-hour]	PM <sub>10</sub> [24-hour]			
Good (Up to 50)	0 - 0.059 None		0 - 12.0 None	0 - 54 None	0 - 4.4 None	0 - 35 None	0 - 53 None
Moderate (51 - 100)	0.060 - 0.075		12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4 None	36 - 75 None	54 - 100 Unusually sensitive individuals should consider limiting prolonged exertion especially near busy roads.
	Unusually sensitive people should consider reducing prolonged or heavy outdoor exertion.		Unusually sensitive people should consider reducing prolonged or heavy exertion.				
Unhealthy for Sensitive Groups (101 - 150)	0.076 - 0.095	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4 People with heart disease, such as angina, should limit heavy exertion and avoid sources of CO, such as heavy traffic.	76 - 185 People with asthma should consider limiting outdoor exertion.	101 - 360 People with asthma, children and older adults should limit prolonged exertion especially near busy roads.
	People with lung disease, such as asthma, children, older adults, and outdoor workers should reduce prolonged or heavy outdoor exertion.		People with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower SES should reduce prolonged or heavy exertion.				

Unhealthy (151 - 200)	0.096 - 0.115	0.165 - 0.204	55.5 - 150.4	255 - 354	12.5 - 15.4	186 - 304	361 - 649
	People with lung disease, such as asthma, children, older adults, and outdoor workers should avoid prolonged or heavy outdoor exertion; everyone else should reduce prolonged or heavy outdoor exertion.			People with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower SES should avoid prolonged or heavy exertion; everyone else should reduce prolonged or heavy exertion.	People with heart disease, such as angina, should limit moderate exertion and avoid sources of CO, such as heavy traffic.	Children, people with asthma, or other lung diseases, should limit outdoor exertion.	People with asthma, children and older adults should avoid prolonged exertion near roadways; everyone else should limit prolonged exertion especially near busy roads.
Very Unhealthy (201 - 300)	0.116 - 0.374	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355 - 424	15.5 - 30.4	305 - 604 [24-hour]	650 - 1249
	People with lung disease, such as asthma, children, older adults, and outdoor workers should avoid all outdoor exertion; everyone else should reduce outdoor exertion.			People with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower SES should avoid all physical activity outdoors. Everyone else should avoid prolonged or heavy exertion.	People with heart disease, such as angina, should avoid exertion and sources of CO, such as heavy traffic.	Children, people with asthma, or other lung diseases should avoid outdoor exertion; everyone else should reduce outdoor exertion.	People with asthma, children and older adults should avoid all outdoor exertion; everyone else should avoid prolonged exertion especially near busy roads.
Hazardous (301 - 500)	-	0.405 - 0.604	250.5 - 500.4	425 - 604	30.5 - 50.4	604 - 1004 [24-hour]	1250 - 2049
	Everyone should avoid all outdoor exertion.			Everyone should avoid all physical activity outdoors; people with heart or lung disease, older adults, children, and people of lower SES should remain indoors and keep activity levels low.	People with heart disease, such as angina, should avoid exertion and sources of CO, such as heavy traffic; everyone else should limit heavy exertion.	Children, people with asthma, or other lung diseases, should remain indoors; everyone else should avoid outdoor exertion.	People with asthma, children and older adults should remain indoors; everyone else should avoid all outdoor exertion.



**Classifications and cautionary statements in Spanish:**

Use estas tarjetas para entender los efectos de la contaminación del aire cuando escuche las noticias del Índice de la Calidad del Aire.

Valores del Índice	Clasificación	Precauciones para Protegerse del Ozono
0 a 50	Buena	Ninguna
51 a 100	Moderada	Las personas extraordinariamente sensitivas deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
101 a 150		
151 a 200		
201 a 300	Muy Dañina a la Salud	Los niños y adultos activos; y las personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre; todos los demás, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos al aire libre.

Se ha asignado un color específico a cada categoría de AQI. Por ejemplo, el rojo significa condiciones "dañinas a la salud" y el púrpura significa condiciones "muy dañinas a la salud". Este esquema de colores puede ayudarle a determinar rápidamente si los contaminantes del aire están alcanzando niveles muy dañinos a la salud en su zona.

### How do I calculate the AQI from pollutant concentration data?

The AQI is the highest value calculated for each pollutant as follows:

a. Identify the highest concentration among all of the monitors within each reporting area and truncate as follows:

Ozone – truncate to 3 decimal places

PM2.5 – truncate to 1 decimal place

PM10 – truncate to integer

CO – truncate to 1 decimal place

SO2 – truncate to integer

NO2 – truncate to integer

b. Using Table 2, find the two breakpoints that contain the concentration.

c. Using Equation 1, calculate the index.

d. Round the index to the nearest integer.

#### Equation 1:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Where  $I_p$  = the index for pollutant p

$C_p$  = the rounded concentration of pollutant p

$BP_{Hi}$  = the breakpoint that is greater than or equal to  $C_p$

$BP_{Lo}$  = the breakpoint that is less than or equal to  $C_p$

$BP_{Hi}$  = the breakpoint that is greater than or equal to  $C_p$

$I_{Hi}$  = the AQI value corresponding to  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$  = the AQI value corresponding to  $BP_{Lo}$

**Table 2: Breakpoints for the AQI**

These Breakpoints...							...equal this AQI	...and this category
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hour	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hour <sup>1</sup>	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24-hour	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO <sub>2</sub> (ppb) 1-hour	NO <sub>2</sub> (ppb) 1-hour	AQI	
0.000 - 0.059	-	0 - 54	0.0 - 12.0	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good
0.060 - 0.075	-	55 - 154	12.1 - 35.4	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate
0.076 - 0.095	0.125 - 0.164	155 - 254	35.5 - 55.4	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.096 - 0.115	0.165 - 0.204	255 - 354	(55.5 - 150.4) <sup>3</sup>	12.5 - 15.4	(186 - 304) <sup>4</sup>	361 - 649	151 - 200	Unhealthy
0.116 - 0.374	0.205 - 0.404	355 - 424	(150.5 - 250.4) <sup>3</sup>	15.5 - 30.4	(305 - 604) <sup>4</sup>	650 - 1249	201 - 300	Very unhealthy
( <sup>2</sup> )	0.405 - 0.504	425 - 504	(250.5 - 350.4) <sup>3</sup>	30.5 - 40.4	(605 - 804) <sup>4</sup>	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous
( <sup>2</sup> )	0.505 - 0.604	505 - 604	(350.5 - 500.4) <sup>3</sup>	40.5 - 50.4	(805 - 1004) <sup>4</sup>	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous

<sup>1</sup> Areas are generally required to report the AQI based on 8-hour ozone values. However, there are a small number of areas where an AQI based on 1-hour ozone values would be more precautionary. In these cases, in addition to calculating the 8-hour ozone index value, the 1-hour ozone value may be calculated, and the maximum of the two values reported.

<sup>2</sup> 8-hour O<sub>3</sub> values do not define higher AQI values (≥ 301). AQI values of 301 or higher are calculated with 1-hour O<sub>3</sub> concentrations.

<sup>3</sup> If a different SHL for PM<sub>2.5</sub> is promulgated, these numbers will change accordingly.

<sup>4</sup> 1-hour SO<sub>2</sub> values do not define higher AQI values (≥ 200). AQI values of 200 or greater are calculated with 24-hour SO<sub>2</sub> concentrations.

**How do I use the table and the equation and my concentration data to calculate the AQI?**

Suppose you have an 8-hour ozone value of 0.08753333. First, round off the value to 0.087. Then refer to the 8-hour ozone in table 2 for the values that fall above and below your value (0.076-0.095). In this case, the 0.087 value falls within the index values of 101 to 150. Now you have all the numbers needed to use the equation.

$$\frac{(150 - 101)}{(0.095 - 0.076)}(0.087 - 0.076) + 101 = \frac{49}{.019}.011 + 101 = 129.368 = 129$$

So an 8-hour value of 0.08753333 corresponds to an index value of 129.

**What if I have values for more pollutants?**

Suppose you have an 8-hour ozone value of 0.077 ppm, a PM<sub>2.5</sub> value of 35.9 µg/m<sup>3</sup>, and a CO value of 8.4 ppm. You apply the equation 3-times:

$$O_3: \frac{(150 - 101)}{(0.095 - 0.076)}(0.077 - 0.076) + 101 = 104$$

$$PM: \frac{(150 - 101)}{(55.4 - 35.5)}(35.9 - 35.5) + 101 = 102$$

$$CO: \frac{(100 - 51)}{(9.4 - 4.5)}(8.4 - 4.5) + 51 = 90$$

The AQI is 104, with ozone as the responsible pollutant.

**How do I use both ozone 1-hour and 8-hour values?**

You must calculate the 8-hour values, and you may also calculate the 1-hour values. If you calculate both, you must report the higher AQI value.

Suppose you had a 1-hour value of 0.162 ppm and an 8-hour value of 0.141 ppm. Then you apply the equation twice:

$$1 - hr: \frac{(300 - 201)}{(0.404 - 0.155)}(0.162 - 0.155) + 201 = 204$$

$$8 - hr: \frac{(300 - 201)}{(0.374 - 0.116)}(0.141 - 0.116) + 201 = 211$$

In this case, the index is 211 (the maximum of 204 and 211) and the responsible pollutant is ozone.

### How do I calculate AQI values for SO<sub>2</sub>?

EPA strengthened the primary standard for SO<sub>2</sub> in 2010. Because there was not enough health information to inform changing the upper end of the AQI for SO<sub>2</sub>, the upper end continues to use the 24-hour average SO<sub>2</sub> concentration. The lower end of the AQI uses the new daily max 1-hour SO<sub>2</sub> concentration.

If you have a daily max 1-hour SO<sub>2</sub> concentration below 305 ppb, then use the breakpoints in Table 2 to calculate the AQI value.

If you have a 24-hour average SO<sub>2</sub> concentration greater than or equal to 305 ppb, then use the breakpoints in Table 2 to calculate the AQI value. If you have a 24-hour value in this range, it will always result in a higher AQI value than a 1-hour value would.

On rare occasions, you could have a day where the daily max 1-hour concentration is at or above 305 ppb but when you try to use the 24-hour average to calculate the AQI value, you find that the 24-hour concentration is not above 305 ppb. If this happens, use 200 for the lower and upper AQI breakpoints (I<sub>Lo</sub> and I<sub>Hi</sub>) in Equation 1 to calculate the AQI value based on the daily max 1-hour value. This effectively fixes the AQI value at 200 exactly, which ensures that you get the highest possible AQI value associated with your 1-hour concentration on such days.

### What do I do with concentrations for pollutants that have blank places in the table for Breakpoints for the AQI?

Disregard those numbers. Suppose you had a 1-hour ozone value of 0.104ppm and an 8-hour ozone value of 0.087ppm. First you disregard the 1-hour ozone value because it is less than 0.125ppm. Then you calculate the index for the 8-hour ozone value as before:

$$\frac{(150 - 101)}{(095 - .076)} (.087 - .076) + 101 = 129.368$$

This value rounds to 129.

### Are there exceptions to these reporting requirements?

Yes. When you have low index values that meet the following criteria, you do not have to meet all the requirements. If the index for a specific pollutant remains below 50 for an extended period of time (for example, for that particular season), then you are not required to include this pollutant in the calculation of the AQI.

The final rule allows agencies to discontinue reporting for any pollutant if index values for that pollutant have been below 50 for an entire season or a year. However, this does not hold if in subsequent years' pollutant levels rise so that index values for that pollutant would be above 50 and the criteria for an exemption are no longer met. In these cases, section 8 of appendix G now requires that the responsible agency must again report the AQI.

### **Do I have to forecast pollutant concentrations for the AQI report?**

Although not required, you are encouraged to forecast values at least 24 hours in advance. The AQI is designed to inform members of sensitive groups and the general population so that they may choose to reduce or avoid exposure to certain levels and types of air pollution. If the information is not timely, the public cannot make this choice. However, good forecasts may require data, computational resources and expertise that may be unavailable to you. The EPA provides guidance if you are interested in starting a forecasting program for AQI reporting in your Metropolitan Statistical Area (MSA).

Since ozone is a dominant pollutant in AQI reporting and the form of the ozone standard is an 8-hour average, the timing of how the public is informed is an important issue, even if you have decided not to forecast 24 hours in advance. In order for potentially affected people to take advantage of this information, it is necessary to consider at least a short term forecast or prediction of 8-hour ozone levels for the purposes of reporting the AQI. You can do this with very little additional resources; the method you can use relies on the high correlation between daily maximum of 8-hour ozone and 1-hour ozone values. A simple linear regression can be calculated on daily max data at any site. From this regression, you can predict that the 8-hour ozone maximum for a day will be at least the corresponding maximum 8-hour value, given the present 1-hour value. From this information, you can estimate the AQI without having to wait for the full 8-hour maximum to be observed.

### **What if the correlation at my site is low- can I still forecast the AQI?**

The lowest observed correlation at any site reporting to AIRS data was 0.86, which is adequate to predict the maximum 8-hour values from the maximum 1-hour for reporting the AQI. However, if you feel uncomfortable from either a public health or cost viewpoint, you may want to use a confidence interval for the decision you make based on the predicted 8-hour maximum. For example, if your ozone action day is declared when you reach the unhealthy category and you predict an unhealthy day but are unsure whether or not you should call an "ozone action day" based on this prediction, you can use the confidence interval of the predicted value to trigger your decision. If you are concerned about public health, you might consider calling an "ozone action day" as soon as the upper bound of the confidence interval is greater than the AQI cut-point for the unhealthy category. If you are concerned with the cost of calling an "ozone action day" unnecessarily, then you might consider calling an ozone action day only when the lower bound of the confidence interval is above the cut-point for the unhealthy category.

### **Is there anything else I should know about reporting the AQI?**

For further information, go to [www.epa.gov/airnow](http://www.epa.gov/airnow). Under "Publications," there are several informative documents to help you report the AQI, including the ones listed:

- AQI brochure
- AQI calculator program
- Forecasting guidance
- Air quality guides for:
  - Ozone
  - Particle pollution
- Pamphlets:
  - Ozone Pollution and your Health
  - Particle Pollution and your Health
  - Smog: Who does it Hurt?
- Medical poster
- Ozone web course for health care providers

How do I calculate the upper and lower bounds of the confidence interval for the predicted maximum 8-hour ozone value?

Most computer regression programs include the error variance, or the residual variance, or the variance of "Y given X" as part of the output. Call this  $S_e^2$ . Then you calculate the upper and lower bounds of the predicted value as:

$$\text{upper: } \hat{Y} + t_{1-\alpha/2, n-2} \sqrt{S_e^2 \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x' - \bar{x})^2}{(n-1)S_x^2} \right)}$$

$$\text{lower: } \hat{Y} - t_{1-\alpha/2, n-2} \sqrt{S_e^2 \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x' - \bar{x})^2}{(n-1)S_x^2} \right)}$$

Where:

- $\hat{Y}$  is the predicted 8-hour ozone maximum,
- $t_{1-\alpha/2, n-2}$  is a tabulated Student's-T value corresponding to a two sided  $(1 - \alpha)100\%$  confidence interval with  $n-2$  degrees of freedom,
- $S_e^2$  is the error variance described above,
- $x'$  is the 1-hour value used to predict the 8-hour value,
- $\bar{x}$  is the average of the 1-hour values, and
- $S_x^2$  is the variance of the 1-hour values.

The value  $\alpha$  is arbitrary, but conventionally it is set to 0.05 corresponding to a 95% confidence interval.

000224

VTA

## APPENDIX



Table 3: Metropolitan Statistical Areas with over 350,000 population (2010 Census)

CBSA code	Geographic Area	2010 Census
10420	Akron, OH	703,200
10580	Albany-Schenectady-Troy, NY	870,716
10740	Albuquerque, NM	887,077
10900	Allentown-Bethlehem-Easton, PA-NJ	821,173
11260	Anchorage, AK	380,821
11700	Asheville, NC	424,858
12060	Atlanta-Sandy Springs-Marietta, GA	5,268,860
12260	Augusta-Richmond County, GA-SC	556,877
12420	Austin-Round Rock-San Marcos, TX	1,716,289
12540	Bakersfield-Delano, CA	839,631
12580	Baltimore-Towson, MD	2,710,489
12940	Baton Rouge, LA	802,484
13140	Beaumont-Port Arthur, TX	388,745
13820	Birmingham-Hoover, AL	1,128,047
14260	Boise City-Nampa, ID	616,561
14460	Boston-Cambridge-Quincy, MA-NH	4,552,402
14860	Bridgeport-Stamford-Norwalk, CT	916,829
15180	Brownsville-Harlingen, TX	406,220
15380	Buffalo-Niagara Falls, NY	1,135,509
15940	Canton-Massillon, OH	404,422
15980	Cape Coral-Fort Myers, FL	618,754
16700	Charleston-North Charleston-Summerville, SC	664,607
16740	Charlotte-Gastonia-Rock Hill, NC-SC	1,758,038
16860	Chattanooga, TN-GA	528,143
16980	Chicago-Joliet-Naperville, IL-IN-WI	9,461,105
17140	Cincinnati-Middletown, OH-KY-IN	2,130,151
17460	Cleveland-Elyria-Mentor, OH	2,077,240
17820	Colorado Springs, CO	645,613
17900	Columbia, SC	767,598
18140	Columbus, OH	1,836,536
18580	Corpus Christi, TX	428,185
19100	Dallas-Fort Worth-Arlington, TX	6,371,773
19340	Davenport-Moline-Rock Island, IA-IL	379,690
19380	Dayton, OH	841,502
19660	Deltona-Daytona Beach-Ormond Beach, FL	494,593
19740	Denver-Aurora-Broomfield, CO	2,543,482
19780	Des Moines-West Des Moines, IA	569,633
19820	Detroit-Warren-Livonia, MI	4,296,250
20500	Durham-Chapel Hill, NC	504,357
21340	El Paso, TX	800,647
21660	Eugene-Springfield, OR	351,715
21780	Evansville, IN-KY	358,676
22180	Fayetteville, NC	366,383
22220	Fayetteville-Springdale-Rogers, AR-MO	463,204
22420	Flint, MI	425,790
23060	Fort Wayne, IN	416,257
23420	Fresno, CA	930,450
24340	Grand Rapids-Wyoming, MI	774,160

000225

VTA

24660	Greensboro-High Point, NC	723,801
24860	Greenville-Mauldin-Easley, SC	636,986
25420	Harrisburg-Carlisle, PA	549,475
25540	Hartford-West Hartford-East Hartford, CT	1,212,381
25860	Hickory-Lenoir-Morganton, NC	365,497
26180	Honolulu, HI	953,207
26420	Houston-Sugar Land-Baytown, TX	5,946,800
26620	Huntsville, AL	417,593
26900	Indianapolis-Carmel, IN	1,756,241
27140	Jackson, MS	539,057
27260	Jacksonville, FL	1,345,596
28140	Kansas City, MO-KS	2,035,334
28660	Killeen-Temple-Fort Hood, TX	405,300
28940	Knoxville, TN	698,030
29460	Lakeland-Winter Haven, FL	602,095
29540	Lancaster, PA	519,445
29620	Lansing-East Lansing, MI	464,036
29820	Las Vegas-Paradise, NV	1,951,269
30460	Lexington-Fayette, KY	472,099
30780	Little Rock-North Little Rock-Conway, AR	699,757
31100	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, CA	12,828,837
31140	Louisville/Jefferson County, KY-IN	1,283,566
31540	Madison, WI	568,593
31700	Manchester-Nashua, NH	400,721
32580	McAllen-Edinburg-Mission, TX	774,769
32820	Memphis, TN-MS-AR	1,316,100
33100	Miami-Fort Lauderdale-Pompano Beach, FL	5,564,635
33340	Milwaukee-Waukesha-West Allis, WI	1,555,908
33460	Minneapolis-St. Paul-Bloomington, MN-WI	3,279,833
33660	Mobile, AL	412,992
33700	Modesto, CA	514,453
33860	Montgomery, AL	374,536
34980	Nashville-Davidson--Murfreesboro--Franklin, TN	1,589,934
35300	New Haven-Milford, CT	862,477
35380	New Orleans-Metairie-Kenner, LA	1,167,764
35620	New York-Northern New Jersey-Long Island, NY-NJ-PA	18,897,109
35840	North Port-Bradenton-Sarasota, FL	702,281
36260	Ogden-Clearfield, UT	547,184
36420	Oklahoma City, OK	1,252,987
36540	Omaha-Council Bluffs, NE-IA	865,350
36740	Orlando-Kissimmee-Sanford, FL	2,134,411
37100	Oxnard-Thousand Oaks-Ventura, CA	823,318
37340	Palm Bay-Melbourne-Titusville, FL	543,376
37860	Pensacola-Ferry Pass-Brent, FL	448,991
37900	Peoria, IL	379,186
37980	Philadelphia-Camden-Wilmington, PA-NJ-DE-MD	5,965,343
38060	Phoenix-Mesa-Glendale, AZ	4,192,887
38300	Pittsburgh, PA	2,356,285
38860	Portland-South Portland-Biddeford, ME	514,098
38900	Portland-Vancouver-Hillsboro, OR-WA	2,226,009

38940	Port St. Lucie, FL	424,107
39100	Poughkeepsie-Newburgh-Middletown, NY	670,301
39300	Providence-New Bedford-Fall River, RI-MA	1,600,852
39340	Provo-Orem, UT	526,810
39580	Raleigh-Cary, NC	1,130,490
39740	Reading, PA	411,442
39900	Reno-Sparks, NV	425,417
40060	Richmond, VA	1,258,251
40140	Riverside-San Bernardino-Ontario, CA	4,224,851
40380	Rochester, NY	1,054,323
40900	Sacramento--Arden-Arcade--Roseville, CA	2,149,127
41180	St. Louis, MO-IL	2,812,896
41420	Salem, OR	390,738
41500	Salinas, CA	415,057
41620	Salt Lake City, UT	1,124,197
41700	San Antonio-New Braunfels, TX	2,142,508
41740	San Diego-Carlsbad-San Marcos, CA	3,095,313
41860	San Francisco-Oakland-Fremont, CA	4,335,391
41940	San Jose-Sunnyvale-Santa Clara, CA	1,836,911
42060	Santa Barbara-Santa Maria-Goleta, CA	423,895
42220	Santa Rosa-Petaluma, CA	483,878
42340	Savannah, GA	347,611
42540	Scranton--Wilkes-Barre, PA	563,631
42660	Seattle-Tacoma-Bellevue, WA	3,439,809
43340	Shreveport-Bossier City, LA	398,604
44060	Spokane, WA	471,221
44140	Springfield, MA	692,942
44180	Springfield, MO	436,712
44700	Stockton, CA	685,306
45060	Syracuse, NY	662,577
45220	Tallahassee, FL	367,413
45300	Tampa-St. Petersburg-Clearwater, FL	2,783,243
45780	Toledo, OH	651,429
45940	Trenton-Ewing, NJ	366,513
46060	Tucson, AZ	980,263
46140	Tulsa, OK	937,478
46700	Vallejo-Fairfield, CA	413,344
47260	Virginia Beach-Norfolk-Newport News, VA-NC	1,671,683
47300	Visalia-Porterville, CA	442,179
47900	Washington-Arlington-Alexandria, DC-VA-MD-WV	5,582,170
48620	Wichita, KS	623,061
48900	Wilmington, NC	362,315
49180	Winston-Salem, NC	477,717
49340	Worcester, MA	798,552
49620	York-Hanover, PA	434,972
49660	Youngstown-Warren-Boardman, OH-PA	565,773

Source: U.S. Census Bureau, Population Division, Annual Estimates of the Population of Metropolitan and Micropolitan Statistical Areas: April 1, 2010 to July 1, 2011 (CBSA-EST2011-01), Release Date: April 2012, <http://www.census.gov/popest/data/metro/totals/2011/>

## FREQUENTLY ASKED QUESTIONS

### **I want to buy an air purifier. Are the purifiers that produce ozone helpful to my indoor air quality?**

Some air cleaning devices, such as ozone generators and ionic air purifiers, can generate significant levels of ozone. Even at low levels, ozone triggers a variety of health problems, including aggravated asthma and increased susceptibility to respiratory illnesses. Additional information on the assessment of the effectiveness and health consequences of ozone generators that are sold as air cleaners can be found at <http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html>, and also at the California Air Resources Board Web site at [http://www.arb.ca.gov/research/indoor/ozone\\_gen\\_fact\\_sheet-a.pdf](http://www.arb.ca.gov/research/indoor/ozone_gen_fact_sheet-a.pdf).

If you're having issues with mold and moisture, solutions and preventative tips are offered at <http://www.epa.gov/mold/index.html>. For additional questions about indoor air quality, please use the EPA Office of Indoor Air Quality hotline at 1-800-438-4318.

### **Why is my area not covered in the Air Quality Index?**

Towns and cities with 350,000 or fewer inhabitants are not required to report the AQI. Also, AirNow is a voluntary program based upon state and local air quality monitoring networks. Some networks don't submit their data, or don't have any monitors in the area.

### **The other day, the air quality in my area was reported as green, or good air quality. However, it was pretty hazy outside. Why didn't the AQI report this accurately?**

There are a couple of reasons why this may have occurred, depending on what was "reported." If this was an AQI forecast, there are still some parts of the United States that only forecast for ozone and not particle pollution. It is possible that the forecast ozone AQI was "GOOD" and the hazy conditions experienced were due to particle pollution. In this instance, the "reported" AQI forecast may have only represented ozone. As more and more areas begin forecasting for PM2.5 and ozone together, this discrepancy should diminish.

In the case of real-time data, the AirNow program provides separate maps for ozone and PM2.5 AQI. It is possible that the ozone AQI maps were showing "GOOD" conditions and the PM2.5 maps showing "MODERATE" or above conditions. It is important to check both maps for a specific geographical area to cover both primary pollutants. In the future, AirNow plans to have combined AQI maps of both ozone and PM2.5 that will eliminate this problem, but will continue to provide the separate pollutant AQI maps to allow for people to identify the pollutant of concern.

Finally, it should be noted that there are occasions where hazy conditions may be due primarily to high humidity and not pollution. On these days, it is still good to check the AQI maps and forecasts to make sure that pollution is not the primary cause of the haze.

### **How do I get my newspaper to publish the AQI?**

Most newspaper weather pages and graphics are developed and produced by private weather service providers. We recommend that you direct your initial approach to the newspaper editors, since they are the customers of the weather provider company. In general, newspapers want to provide more health-based information to their readers. However, it may take some effort to educate decision makers about the importance of providing air quality information to the public. When you meet with the newspaper staff, bring along this guidance document or several examples showing how other

newspapers publish the AQI. In addition, most weather service providers already have access to the air quality data through AirNow, which makes it easier for them to acquire and publish the information. Space on weather pages is limited, so a small, compact graphic might be a better choice for a crowded weather page.

#### **If the AQI reported in the newspaper is incorrect, what should I do?**

Common problems with AQI reporting in newspapers include either reporting data values that are wrong or reporting pollutant concentrations instead of the AQI. Another frequent mistake is to report inconsistent AQI colors or terminology, as well as incorrect pollutant names. Establishing a good working relationship with the newspaper and educating them about how misleading or erroneous AQI information can impact their readers could help minimize potential problems. We recommend that you first notify the newspaper directly about any error so they can relay discrepancies to their weather service provider as a paying customer. If you have difficulty getting the newspaper to correct the issue, you could team with other health and nongovernmental organizations to approach the newspaper editor with a united message and request.

#### **Should I report yesterday's observed value, today's forecast, or tomorrow's forecast to the newspaper?**

Let's assume that today is Monday, and you are submitting data for Tuesday morning's paper. Let's also assume that the paper is willing to carry both the observed AQI and the forecast. In such a case:

- Send the paper the most recent observed AQI. If it's midnight to midnight, that means Sunday's data.
- Send the Tuesday forecast so there is a "day-of" forecast in the Tuesday paper.
- If you have the Wednesday forecast and they're willing to carry that, include it too.

#### **My local newspaper has a deadline of 2 pm for the next day's paper. Should I report the AQI value through 1 pm, or report the forecast?**

Again, since the true AQI is a midnight to midnight calculation, we recommend that you report tomorrow's forecast. If this is not possible, then report the AQI value through a certain time, but make sure the newspaper includes the reporting period to avoid confusion.

#### **How do I get my local TV station to show the AQI?**

Similar to the newspaper industry, television reporting reflects the culture of the local community and what competing stations show. Television stations use weather service providers to provide graphics and data support for their weathercasts. All of the weather service companies have access to the air quality data through AirNow, which makes it easy for them to acquire and provide these data to their television station customers. There are several questions that need to be addressed: Does the station want to show air quality information? Do other stations in your market show air quality information? Is the station news director on board with providing this information? Does the station have the proper software to access the air quality data?

For stations that have never shown these data on the air, you will need to establish a relationship and educate them about the benefits of providing air quality information to their viewers. Air quality is weather, news and health all in one. Once a station in your market begins to provide air quality information, chances are good that other stations will follow suit. However, even if the weathercasters want to provide this information in their weathercasts, the station news director controls the content of



000227

VTA.

what goes on the air. In addition, if the station wants to show the AQI on the air, they need to have the proper software version of weather graphics products to access and display the AQI. Keep in mind that air quality information could be displayed only during periods of high pollution levels, when it is considered more "newsworthy."

**Can we still use the Pollutant Standards Index?**

No. The Air Quality Index is required by law.

**Does providing our data and forecasts to AirNow meet the AQI reporting requirements?**

No. Even though the air quality information that you provide to AirNow is distributed on a national basis to the media and weather service provider companies, there is no guarantee that this information ends up within the media (newspaper, radio, or web site) in your local community as required.

**Why doesn't the AQI cover toxic air pollutants or air toxics?**

While the AQI is an excellent indicator of the air quality resulting from ozone and particulate matter, it does not directly include health implications from air pollutants such as air toxics. Adverse health effects from air toxics are generally not believed to be episodic in nature like ozone and particulate matter, and are usually evaluated on a longer term, or chronic, basis. For information on concentrations of air toxics, refer to EPA's National Air Toxics Assessment (NATA) Website at: <http://www.epa.gov/ttn/atw/nata/>.

**Why does EPA issue AQI forecasts only for ozone and particle pollution?**

AQI reporting is required for all criteria pollutants when they have an index value of 50 or above. Most cities forecast for ozone and particle pollution as these pollutants are the major sources of unhealthy air quality around 99% of the time. However, several cities forecast for all five pollutants- ground-level ozone, particle pollution, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide.

**Should I use particulate matter or particle pollution when speaking with the public?**

Based on focus group testing by EPA, people better understand and prefer the term "particle pollution" than "particulate matter."

---

United States  
Environmental Protection  
Agency

Office of Air Quality Planning and  
Standards  
Research Triangle Park, NC 27711

Publication No. EPA-  
454/B-13-001  
December 2013

---

North East South West  
**INTERREG III C**



# **Comparing Urban Air Quality Across Borders**

**A review of existing air quality indices and the proposal of a common  
alternative**





000229

VTA.

North East South West  
**INTERREG III C**



## **Component 3**

# **Comparing Urban Air Quality Across Borders**

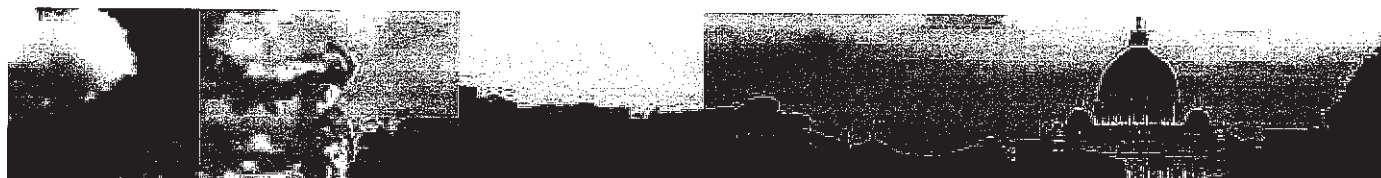
**A review of existing air quality indices and the proposal of a common  
alternative**

June-2007, final version

Sef van den Elshout and Karine Léger

With contributions from: Fabio Nussio, Marco Cagnoli, Dominique Gombert, Silvia Anselmi,  
Eugenio Donato, Hermann Heich, Chetan Lad, Martin Lutz and André Snijder.

DCMR, Environmental Protection Agency Rijnmond  
PO Box 843  
3100 AV Schiedam  
The Netherlands  
Phone (+31) (0)10-246800  
Fax (+31) (0)10-246283





# Table of content

<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>2</b>
<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2 REVIEW OF AIR QUALITY INDICES.....</b>	<b>4</b>
<b>3 COMPARING CITIES ON THE INTERNET .....</b>	<b>6</b>
3.1 COMPARING AIR QUALITY USING DIFFERENT INDICES .....	6
3.2 SCOPE OF THE COMMON INDEX.....	7
<b>4 A COMMON AIR QUALITY INDEX (CAQI) .....</b>	<b>9</b>
4.1 DEFINITION OF THE CAQI .....	9
4.2 CONSISTENCY BETWEEN HOURLY AND DAILY INDEX FOR PM <sub>10</sub> .....	10
4.3 SAMPLE APPLICATION OF THE CAQI .....	11
<b>5 A YEAR AVERAGE INDEX .....</b>	<b>14</b>
5.1 INTRODUCTION .....	14
5.2 CALCULATION AND PRESENTATION.....	14
5.3 THE YACAQI APPLIED TO SOME CITIES IN 2003 .....	16
<b>6 FUTURE DEVELOPMENTS .....</b>	<b>19</b>
<b>LITERATURE.....</b>	<b>20</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>21</b>
ANNEX 1 REVIEW OF SOME INDICES FOUND ON THE INTERNET .....	21
ANNEX 2 SUMMARY OF INDICES ( <i>SITUATION 2003-2004!!</i> ) .....	23
ANNEX 3 WEBSITES CONSULTED DURING THE REVIEW .....	29
ANNEX 4 AVERAGING TIME RATIO'S .....	30
ANNEX 5 THE RELATION BETWEEN THE TWO PM <sub>10</sub> LIMIT VALUES.....	31
ANNEX 6 DESCRIPTION OF THE CITEAIR PROJECT .....	32



## Executive Summary

This document is based on a paper presented in 2005 in Istanbul, during the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales (Elshout, et al. 2005). Since then the text was expanded and the calculation grid revised.

The document is one of the products of the CITEAIR project (see annex 6). This document presents a new Common Air Quality Index (CAQI), to be used to compare air quality in different countries. To our knowledge this is the first index that is not tied to national or regional authorities and has gained acceptance (for the purpose of comparing) by a wide variety of cities (see [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu)).

The first four chapters follow the sections of the AQM2005 paper and present a review of a number of existing air quality indices (chapter 2); the difficulties of comparing cities in different countries in real time (chapter 3) and the proposal of a common, international, index that facilitates comparing cities in different countries in real time (chapter 4). Chapter 5 is new and discusses the potential of an index characterising year average values. As the indices described in this document are the product of a project ending in 2007, chapter 6 concentrates on the likely future developments. One of the annexes details a number of indices collected during the development of the CITEAIR common index<sup>1</sup>.

This document and the proposed indices have been revised a number of times. An index is always a work in progress but revisions once indices are used, should be minimised. This doesn't mean that comments are not welcome, it means that we will collect them and consider them in due time (see chapter 6). Anyone considering using the index is kindly requested to register their names (at [caqi@airqualitynow.eu](mailto:caqi@airqualitynow.eu), see chapter 6). This way, users can be kept informed in case of further developments concerning the index.

### Acknowledgements

We would like to thank many people, users and potential users of the index, who have commented on various versions of the indices and the way the grids were developed.

---

<sup>1</sup> Indices keep being revised by their users. A number of indices in the annex have undergone changes since they were first included in the inventory. Sometimes grids were updated or a note is made that the presented data are no longer correct at the time of writing. However, a reader interested in the index should always consult the website to be sure to get the latest version.



# 1 Introduction

The Framework directive and associated daughter directives (EU, 2007a) on air quality in the European Union not only oblige member states to monitor and report on their air quality but also to actively inform the public on the status of the ambient air quality. The Aarhus convention, ratified by the EU in 2005 (EU, 2007b) further enforces the concept that citizens have the right to be informed on the environmental conditions they live and work in. Over the past years a good number of cities and countries have started to display monitored or modelled air quality data on the internet. For most of the monitoring organisations, the internet is the easiest way to meet the dissemination of information requirements of the European (and/or national) legislation. The fact that so much air quality information is available on the internet makes it tempting to compare different cities in different countries. However, this proves particularly difficult. Apart from the European Environmental Agency's ozone website there are no possibilities to compare cities/countries side by side (EEA, 2007). Even if one surfs from one site to the other, comparison is not easy: air quality is presented in different ways using different interpretation criteria and a different typology of stations, which is usually not clearly explained.

The most widespread way to interpret air quality on websites is the use of an index ranging from good to bad to make the detailed measurements in micrograms more understandable for the general public. A review of existing websites and the associated air quality indices shows that the way air quality is interpreted differs considerably across the world. More surprisingly, even amongst the EU member states that share common legislation, the indices in use do vary. There are a number of reasons to explain these differences. Some of them are historical and conceptual: the index existed before the EU regulations came into force and the index was based on health and exposure criteria, e.g. the UK index (DEFRA, 2007). The fact that air quality problems (sources, meteorological conditions, etc.) tend to differ is also one of the reasons. The indices tend to be calibrated to the local situation to make sure that there is some variation in the index from day to day (to attract repeated visits to a website) and that the typical range of pollutant conditions occurring locally is being covered.

To facilitate the international comparison of (near real time) air quality the CITEAIR<sup>2</sup> project has developed a common operational website ([www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu)) where cities can display their air quality information side by side. The project aims to make air quality comparable across Europe and [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu) is open for any city to join. The website was launched in 2006. The common website needs a common air quality index (CAQI). The CAQI is *not* aimed at replacing existing local indices. This would be an unrealistic ambition as in many cities the public has got used to the local, tailor-made index, and the CAQI will be, by the nature of the fact that is common, a non-specific compromise. CITEAIR envisages that there is room for two sources of air quality information on the internet: a local website<sup>3</sup>, in the national language with a dedicated presentation (using a well established and known local index relying on more detailed air quality information); and a common website aimed at comparing - in near real time - the air quality in your own city to the air quality in other European cities. The comparison possibilities offered to the public are on an hourly, daily and yearly basis and the indices were developed keeping in mind that the general public is the end user.

## *The CAQI presented*

The CAQI was compared to other indices in a review by the European Topic Centre on Air and Climate Change ETC/ACC (Leeuw and Mol, 2005). It was presented during: - the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales (2005); - Urban Air Quality (2007); - Air Pollution (2007); and shown as a poster at EnvirolInfo 2005 and 2006.

<sup>2</sup> More information on CITEAIR and its products is available in annex 5 and at <http://citeair.rec.org>

<sup>3</sup> Occasionally, websites are used to inform people for pollution episodes. E.g. people with respiratory difficulties might want to adapt their behaviour and/or medication. We believe that this is a typical role for the local websites and not for [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu).



## 2 Review of air quality indices

There are a substantial number of different ways to interpret air quality in near real time. The most common way to do so is the use of an index. The index is generally based on a number of sub-indices for individual pollutants<sup>4</sup>. There is a wealth of indices and even countries that share the same legislation, or sometimes areas/cities within the same country have different indices. Some of the differences can be explained by the local differences in the nature of the air quality problems. Some other differences are due to fundamentally different approaches. The UK and the US indices (US-EPA, 2007) for example are strongly related to perceivable effects. The bands in the index are explained in health terms. This implies that the index covers a very wide range of pollutant concentrations and that actual concentrations are very often in the "good" or "moderate" end of the scale. Air quality in Europe, fortunately, is rarely bad enough to cause acute health effects in the general public so any index based on health impacts tends to trail at the lower end of the scale for most of the time.<sup>5</sup>

Other indices take a different approach. For example the ATMO index, based on a national regulation concerning all French cities larger than 100 000 inhabitants (Airparif, 2007) has bands that are somehow linked to values that are also used in the current EU directives. The alert thresholds in the directives tend to define the higher end of the scale. In these cases the top end of the index scale ends somewhere in the middle of the health effect based scales. For example the worst end (very poor) of the NO<sub>2</sub>-index in France corresponds to 400 µg/m<sup>3</sup>. In the UK this is in the lower end of the "moderate" band and in the US it is even considered too low to calculate an index value.

Communication-wise the health-based indices have both a clear advantage and a disadvantage. The advantage is that the index value displayed at the website is easy to interpret: it does or does not cause health effects. The disadvantage is that the index is almost always indicating that air quality is good and pollution is low whereas the limit values for long-term exposure are often exceeded. This leads to an apparent paradox: a citizen regularly checking the local air quality website will always get the message that the air quality is good whereas at the end of the year local government puts out a report that he or she is living in a hotspot area for which an action plan is required. This is the paradox between short- and long-term air quality criteria. The criteria for short-term exposure are often met except for episodes, like for example in the summers of 2003 and 2006. The criteria for long-term exposure are often not met in Europe's urban areas. The ATMO-type of indices provide some differentiation at the lower end of the scale to assure that the air quality is not always "good". However in this case it is very difficult to attach some kind of health interpretation to the index and a qualification such as "moderate" or "poor" remains rather arbitrary.

The differences between the two approaches in making an index vary from one pollutant to the other. On ozone, the agreement tends to be quite reasonable but for NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> the differences are substantial. For PM<sub>10</sub> the picture is mixed partly because the way PM<sub>10</sub> affects health and on what timescale this occurs is still subject to a lot of research. This implies that during typical summer episodes the different indices tend to agree more or less. On days with less air pollution the interpretation gaps widen.

The long-term ↔ short-term paradox typically occurs on the internet. In an annual report the focus is on long term air pollution. On text TV pages dedicated to smog warnings the focus and interpretation is based on health effects. However, internet presentations often serve multiple roles: informing the public, but also making the public aware of air quality issues. In this case the paradox is difficult to resolve: highly variable hourly (or daily) data is being presented to assure an attractive and frequently changing presentation that encourages repeated visits. On the other hand, the most challenging limit values appear to be the criteria for the year average so interpreting commonly occurring hourly values in terms

<sup>4</sup> A list of indices collected in the course of the development of the CAQI is available in the annex.

<sup>5</sup> It should be mentioned that there is increasing evidence indicating that PM<sub>10</sub> has both short and long-term effects even at moderate concentration levels.



of good or bad is fairly arbitrarily. They are not bad from the short-term exposure point of view but might be bad from the long-term exposure point of view. An attempt to overcome this was described by Elshout (2004). For NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> an expected hourly pattern is established for a whole year, based on historic data. This pattern is scaled (up or down) in such a way that it provides a reference pattern that would lead exactly to the limit value. In this way a, be it hypothetical, identification of hourly values that contribute to the exceedence of the year average limit value can be made. This way the interpretation becomes somewhat less arbitrary.

Air quality indices aim to translate the chemical characteristics of a quite complex mixture of pollutants in the air into one single figure. From a scientific point of view this is obviously a gross generalisation but for communication purposes it is considered an essential generalisation.<sup>6</sup> An index is also always a compromise between several objectives and potentially occurring situations. The trade-offs in developing the CAQI indices were made keeping in mind that they should be applicable over a wide range of conditions and interesting to the public. The latter has led, for example, to the use of an hourly time scale and a grid ranging from 1 to 100. This can be justified by the need for frequent changes but is rather overambitious when considering the accuracy of the individual measurements. For additional discussion on the communication aspects of air quality indices see for example Shooter and Brimblecombe (2005) and Elshout *et al* (2007).

---

<sup>6</sup> However, this assumption has never been tested. Shooter and Brimblecombe (2005), in a review article on air quality indices, mention (citing Burden and Ellis, 1996) that in Australia, public confidence in reporting on air pollution fell following the introduction of an index.





### 3 Comparing cities on the internet

#### 3.1 Comparing air quality using different indices

Apart from the fact that the bands differ from one country/city/area to the other, the data behind the index also differ. Whereas most websites have a page explaining how the index is calculated, other methodological aspects are generally not explained. Does the index represent measurements at background stations, traffic stations, a mixture? And in case of PM, how is it monitored, if automated equipment is used is it corrected? In the UK the index for PM depends on the monitoring method (see DEFRA, 2007) but in most cases there is no way of knowing how PM concentrations were established.

CITEAIR aims to provide a common index (the CAQI) in addition to the existing local indices. A second step to make data more comparable is that the CAQI distinguishes between background and traffic stations. The potential of having one common index will be illustrated in the following example in which we try to compare air quality at a given day in four cities. These indices are described in table 1.

Table 1: Indices used on the internet in Paris, Leicester, Rome and Rotterdam

ATMO Paris	ozone- 1h	PM10-24h	NO2-1h	index	UK	ozone- 8h	PM10-24h	NO2-1h	index
Very good	29	9	29	1	low	32	21	95	1
	54	19	54	2		66	42	190	2
good	79	29	84	3	moderate	99	64	286	3
	104	39	109	4		126	74	381	4
average	129	49	134	5	high	152	86	477	5
	149	64	164	6		179	96	572	6
mediocre	179	79	199	7	very high	239	107	635	7
	209	99	274	8		299	118	700	8
poor	239	124	399	9		359	129	763	9
	Very poor	>=240	>=125	>=400	10		>=360	>=130	>=764

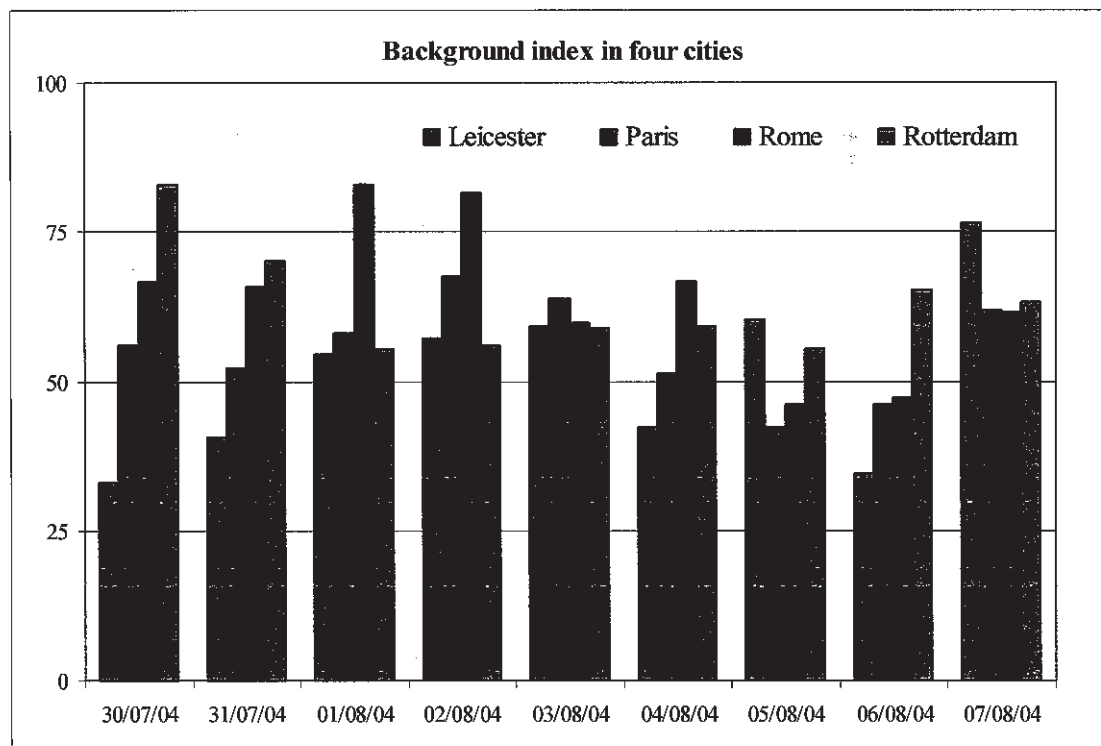
Rome	ozone- 1h	PM10-24h	NO2-1h	index	Rotter- dam*	ozone- 1h	PM10-24h	NO2-1h	index
good	90	100	100	50	good		20	100	-
moderate	135	150	150	75	moderate	180	40	200	-
mediocre	180	200	200	100	bad	240	60	400	-
unhealthy	360	400	400	200	very bad	>240	>60	>400	-
very unhealthy	> 360	> 400	> 400	>200					

\* Ozone classification from the national smog pages, other classes from a local traffic website.

Three out of four cities have an index, two indices range from 1 to 10, the other from 1 to 200. Two cities have 10 classes, one has 5, one has 4. Two describe air quality in terms of good and bad, one in terms of health and the fourth in terms of pollution levels. The class boundaries are very different. If someone would want to compare these four cities at a given moment he or she would not only have to visit four websites but also be faced with four completely different presentations and qualifications.



Figure 1: The CAQI applied to background stations in four cities July-August 2004



As an example, look at the period end of July - early August 2004. The background index was quite high in all cities. On the 3rd of August the cities would have had a similar CAQI value. The cause of the elevated background concentrations was different though: PM10 in Leicester and Paris, and ozone in Rome and Rotterdam. If someone had looked at the four different websites he or she would have had no possibility of comparing the information. Paris looks substantial worse than Leicester as both seem to have a similar scale (1 to 10) and how to compare the score of 79 of Rome to the others: is it safe to assume that 79 out of 200 would amount to 4 on a 1 to 10 scale?

Table 2: the CAQI and the local indices on a day with above average concentrations

	City index		Pollutant	City classification	CAQI	Pollutant
	value	scale				
Leicester	4	1-10	Ozone	low-moderate	59	PM10
Paris	6	1-10	PM10	mediocre	64	PM10
Rome	79	1-200	Ozone	mediocre	60	Ozone
Rotterdam	-	-	PM10	Bad	59	Ozone

### 3.2 Scope of the common index

The CAQI is not aimed at replacing existing local indices. This would be an unrealistic ambition as in many cities the public has got used to the local, tailor-made index, and the CAQI will be, because it is "common", a non-specific compromise. CITEAIR envisages that there is room for two sources of air



000233

VTA.



quality information on the internet: a local website, in the national language with a dedicated presentation (using a well established and known local index relying on more detailed air quality information); and a common website aimed at comparing - in near real-time - the air quality in your own city to the air quality in other European cities.

Another approach at comparing cities on the internet was demonstrated by the MARQUIS project. Marquis also has a common website (currently not available) where regions from different countries contribute their air quality data. The index for all regions is calculated by using the index from the user's own region. E.g. a German visitor would see Spanish data displayed with the German index and vice versa. Though this is a very interesting approach, it might potentially lead to strange results if a local index was tailored to local conditions that might not occur in the place of interest.



## 4 A common air quality index (CAQI)

### 4.1 Definition of the CAQI

The CAQI is calculated according the grid in table 3 and by linear interpolation between the class borders. The final index is the highest value of the sub-indices for each component. As can be seen there are two CAQI-s: one for traffic monitoring sites and one for city background sites. The traffic index comprises NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>, with CO as an auxiliary component. The background index obligatory comprises NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub>, with CO and SO<sub>2</sub> as auxiliary components. In most cities the auxiliary components will rarely determine the index (that is why they are auxiliary) but in a city with industrial pollution or a seaport SO<sub>2</sub> might occasionally play a greater role. Benzene is considered a long-term exposure issue. The number of cities with online monitoring of benzene is limited and it is therefore not included in the short-term indices.

Table 3: Pollutants and calculation grid for the CAQI

Index class	Grid	Traffic				City Background					
		Mandatory pollutant			Auxiliary pollutant	Mandatory pollutant				Auxiliary pollutant	
		NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	
		hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly
Very low	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	50	25	12	5000	50	25	12	60	5000	50
Low	26	51	26	13	5001	51	26	13	61	5001	51
	50	100	50	25	7500	100	50	25	120	7500	100
Medium	51	101	51	26	7501	101	51	26	121	7501	101
	75	200	90	50	10000	200	90	50	180	10000	300
High	76	201	91	51	10001	201	91	51	181	10001	301
	100	400	180	100	20000	400	180	100	240	20000	500
Very High*	> 100	> 400	>180	>100	>20000	> 400	>180	>100	>240	>20000	>500
NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> :		hourly value / maximum hourly value in µg/m <sup>3</sup>									
CO		8 hours moving average / maximum 8 hours moving average in µg/m <sup>3</sup>									
PM <sub>10</sub>		hourly value / daily value in µg/m <sup>3</sup>									

\* An index value above 100 is not calculated but reported as "> 100"

Comparing air quality in different cities is a complex issue: is the air quality being determined in the same way (this mainly applies to particulate matter) and at comparable locations? This is not an issue that we, as the CITEAIR project and the proponents of the QACI, can solve. The website will accept the values supplied by a city as input in either category. However, as a first step to improve comparability, the index will be reported both for roadside and city background locations. This is considered an important improvement over city averages: some monitoring networks are designed to monitor or spot areas of poor air quality (with possibly a high number of roadside stations) whereas others are aimed at providing an average city picture.

The CAQI is used both for a daily index and for an hourly index. In the website the daily index will be shown for the past day (D-1). For the current day, the past 24 values of the hourly index will be available, to be updated every hour. A daily index for today would need forecasting or 'nowcasting' a facility that is not available in each city with a monitoring network, hence the option of an hourly index.



The hourly index is also a reasonably dynamic parameter, enticing repeated visits to a website. This is considered important for a website mainly in support of raising awareness on air quality. In this respect  $PM_{10}$  is a troublesome component. As the EU guidelines focus on daily average values many networks only provide daily concentration readings or 24-hour moving averages. From a communication point of view this is not ideal: one cannot see the rush-hours and even incidents like a fire, or the fire-works celebrating New Year are impossible to observe (the effect is limited and the timing is delayed). Some networks do provide hourly measurements so two different index grids are needed (see section 4.2).

Participating cities are advised to submit average data from the stations they qualify as city background and traffic. The use of averages leads to more representative data and a reduction in missing data. However, if a city wants to select (or only has) one station in each category, that data will be used as a sole source.

The choice of the classes in the CAQI is heavily inspired by the EU legislation and based on a compromise between the participating cities. The dividing line between medium and high is often linked mainly to the values mentioned in the directives: alert thresholds ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ) or air quality objectives when available on a daily basis ( $CO$  and  $PM_{10}$ ). Class borders were regularly spaced for the main components. For the setting of the  $CO$  and  $SO_2$  borders additional inspiration was sought from the DAPPS (Cairncross and John, 2004) index which aims to define the component sub-indices based on the relative risks attributed to each component.

The CAQI resembles for example the ATMO index discussed above and it differs substantially from for example the UK and US-EPA indices. It therefore shares the drawbacks of the ATMO (no clear link with health effects, fairly arbitrarily quality interpretation of hourly values). But it also shares its advantage: frequently changing index values that capture the hour-by-hour changes and make a website dynamic. The latter was of overriding importance as raising awareness is a key objective of the common website.

## 4.2 Consistency between hourly and daily index for $PM_{10}$

The calculation grid for the hourly and daily values is the same for most components. However, for  $PM_{10}$  the averaging time increases from 1 to 24 hours and hence the concentration readings decrease. Using a selection of 52 urban and suburban monitoring stations from Airbase for the period 2001-2004, the average ratio between daily maximum hourly concentration and daily average concentration appears to be 0.55. See table 4. This ratio is lower than a previously reported figure based on 1 year of data for Leicester, Paris, Rome and Rotterdam. This new figure, based on a wider selection of stations, is used to link the hourly and daily index grids. For the cities providing hourly data this implies that, on average, the  $PM_{10}$  sub-index based on hourly values on a given day will be (on average) consistent with the daily value once it is calculated (the next day). However, due to the variation in the ratio, minor inconsistencies on a daily basis cannot be avoided. This is considered less important than the consequences of switching to a purely daily index calculation for  $PM_{10}$ .

Table 4: Ratio between daily average and daily maximum hourly concentration<sup>7</sup>

	minimum	maximum	Average ratio	Average std
Urban background	0.08	1.0	0.54	
Traffic	0.07	1.0	0.55	0.12

<sup>7</sup> See annex 4 for more details.



### 4.3 Sample application of the CAQI

To test and demonstrate the CAQI during the development phase, yearly data (April 2004 - March 2005) from Leicester, Paris, Rome and Rotterdam was analysed using the CAQI. Currently the CAQI is operational on [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu).

Table 5: Percentage of hours that a pollutant determines the final index

Traffic Index	Leicester	Paris	Rome	Rotterdam
NO <sub>2</sub>	85	53	31	49
PM <sub>10</sub>	14	47	69	51
CO	1	0	0	0
	100	100	100	100

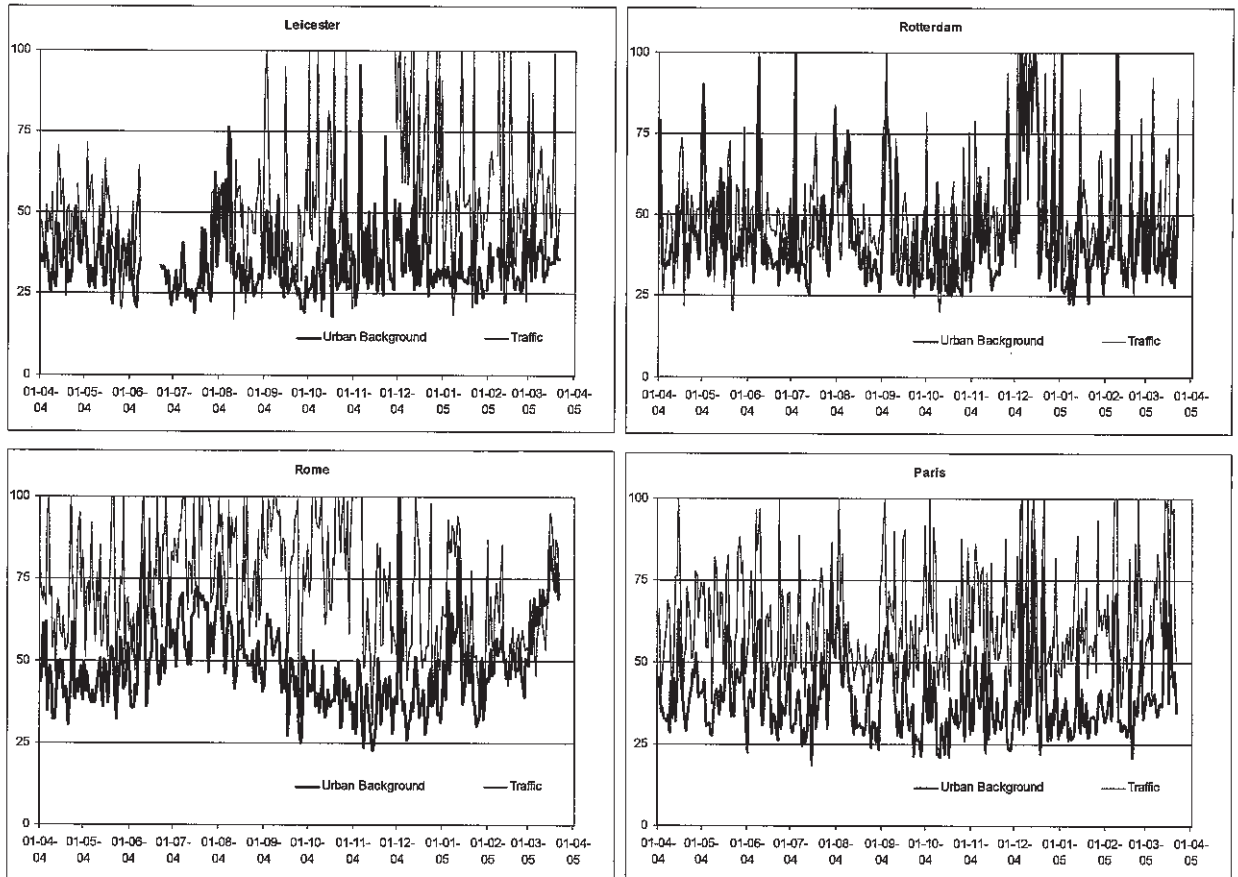
City background Index	Leicester		Paris		Rome		Rotterdam	
	main	main + auxiliary	main	main + auxiliary	main	main + auxiliary	main	main + auxiliary
NO <sub>2</sub>	30	33	35	35	24	24	21	20
PM <sub>10</sub>	24	25	27	27	36	35	46	45
O <sub>3</sub>	46	42	38	38	40	42	34	26
CO		0		0		0		0
SO <sub>2</sub>		0		0		0		9
	100	100	100	100	100	100	100	100

The tables show that in these four cities CO almost never plays a determining role in neither the traffic nor the background index. For the second auxiliary variable SO<sub>2</sub> the situation is slightly different. In Rotterdam, with a seaport and a petrochemical industry, in 9 % of the hours SO<sub>2</sub> would have determined the index<sup>8</sup>.

Figure 2 shows the daily indices in the four test cities for a period of twelve months. The Rome background index shows a distinct seasonal pattern. In summer the background index is mainly determined by ozone, in winter by PM<sub>10</sub> and, to a lesser extent, NO<sub>2</sub>. The seasonal pattern is absent in the other cities, though the shift in pollutants is fairly identical. The winter of 2004/2005 was rather mild so only some days with a higher index can be seen. The winter doesn't show up clearly. The traffic index is significantly higher than the background in Rome and Paris. This was to be expected in large cities with a big vehicle fleet, typical street-canyons, large ring roads, etc. In the much smaller city of Rotterdam the traffic index is only slightly higher than the background index. Leicester provides a mixed picture. With NO<sub>2</sub> being the dominant traffic pollutant in Leicester, the traffic index is relatively low in summer and higher in winter.

<sup>8</sup> In fact even in Rotterdam this is exceptional. SO<sub>2</sub> determined the index in a short period with flares due to unexpected maintenance in a petrochemical plant and otherwise low concentrations.

Figure 2: The CAQI (traffic and background) in four cities

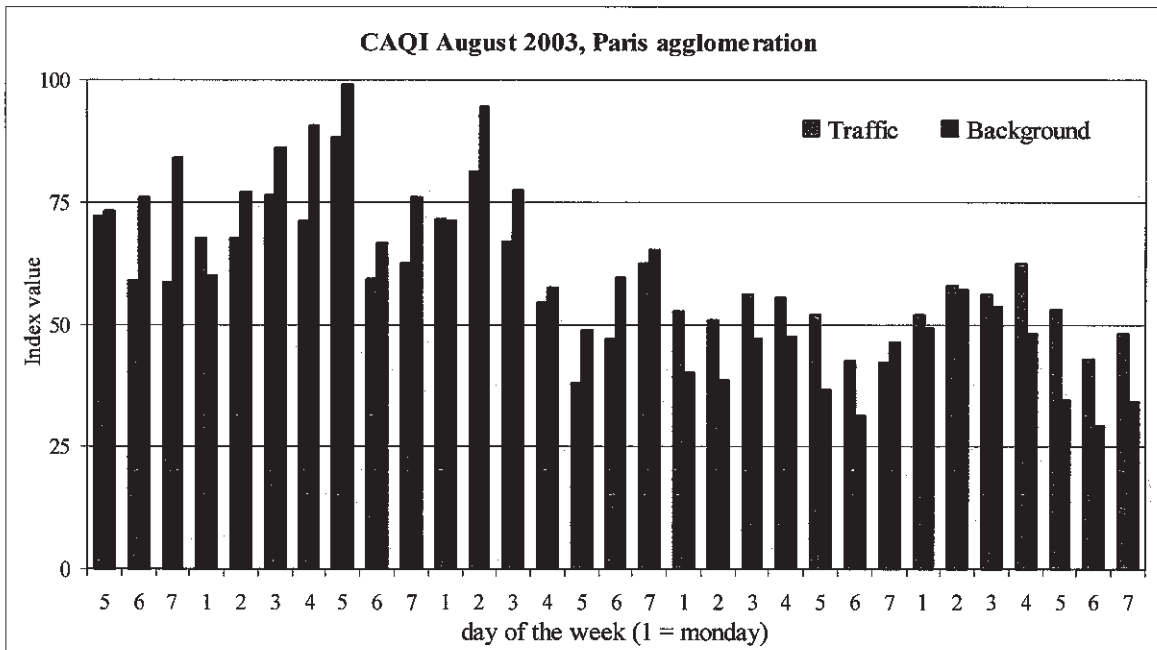


The usefulness of a separate background and traffic index can be seen from figure 3 showing the daily index in Paris in August 2003. August 2003 was characterised by hot weather and poor dispersion conditions, leading to very high ozone concentrations. Except for a few days at the end of the month the background index was dominated by ozone. The traffic index was mainly determined by nitrogen dioxide with a few days of  $PM_{10}$ .

The poor dispersion conditions, combined with a large amount of imported ozone, are evident from the fact that the background index is similar or even higher than the traffic index, whereas normally (e.g. good dispersion conditions) there would be a gap of 15 to 25 index points between traffic and background. From the graph it can be seen that the traffic index drops in weekends (days labelled 6 and 7) whereas the background index rises. In this ozone-dominated month, the relative lack of fresh exhaust (NO) emissions, leads to higher ozone concentrations in the weekend. This weekend ozone effect is well documented (Lawson, 2003).



Figure 3: The traffic and background indices during an episode in Paris





## 5 A year average index

### 5.1 Introduction

Year average indices are not very common in air quality reporting but they are nevertheless a useful indicator, facilitating the comparison of cities at a glance. Comparing cities by their individual pollutant levels is difficult as one city might do better on one pollutant and worse on the other. In addition, some cities might monitor other pollutants than others. Even comparing progress in a single city from one year to the other is difficult as progress might be made for one pollutant whereas in another field things might have deteriorated. E.g., was the progress on NO<sub>2</sub> more important than the drawback on PM<sub>10</sub>? How to judge progress in such a case? The year average index is obviously a generalisation but it does provide an easy way to make a relative assessment of one city to the other or for one city from year to year.

A year average index can be devised according to a concentration grid in the same way as the traditional short-term indices discussed before. Akkan *et al* (2004) propose such an index for Baden-Württemberg in Germany (Long-term Air Quality index - LAQx). This index uses long-term exposure (one year) health risks as a guiding principle for classifying air quality. Like the short-term exposure indices, the worst pollutant determines the index. Apart from its methodological merits, health (risks) being the main public concern, this is a very interesting approach.

Another way of making a (long-term) index is the "distance to target" principle. One advantage of the distance to target principle is that each parameter considered contributes to the index (unlike the principle where the worst parameter determines the index). A distance to target indicator calculates for each pollutant (or other parameter, in other disciplines) a ratio of how far the actual measurement is away from the target value, for example a limit value. The overall index/indicator is the average of the sub-indices. A distance to target index is based on policy targets or limit values and, as such, it has only an indirect link to health risks. Still, it is considered an appropriate way to present air quality in a European context. The limit values have important implications both for environmental policy makers and for the public<sup>9</sup>. The year average index presented in this paper and used on [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu) is of the distance to target type.

### 5.2 Calculation and presentation

Like the hourly and daily index, the Year Average Common Air Quality Index (YACAQI) is calculated for traffic and city background sites. Preferably a city's data for each index is based on the average of a number of sites, however it is up to each city what they want to contribute and how they determine their contribution<sup>10</sup>. The [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu) website will accept whatever a city submits as their city year average concentrations for each pollutant for traffic and city background situations (or for one of the indices if they don't want to supply both). In most cases, but this is up to individual cities, the data provided to the website will be based on the situation at one or more monitoring sites. This implies that it is not necessarily the complete and balanced picture a city reports under the EU-guidelines. Inferences on city compliance should therefore be based on the official city report and not on the index values on the website as they might not show the full picture. The website indices are generalised data for comparison purpose, between cities in the same year or for a city from year to year.

<sup>9</sup> In several countries all kind of economic developments, road construction and housing developments are being blocked by non-compliance to the limit values.

<sup>10</sup> Though all data analyses made in this document are based on monitored data, a city without a network for which modelled data are available (for instance delivered by the relevant authority) could even consider providing modelled year average concentrations for the sake of participating on the website and making themselves comparable relative to the other cities participating.





The sub-indices are calculated as follows:

- For each index, sub-indices are calculated for each pollutant by dividing the actual year average by the EU limit value for the year average.
- For ozone, the number of days with an 8-hour above  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  are divided by 25 days. This is the provisional target value. The long-term target value is 0 days. Using the long term target in the calculation provides conceptual difficulties: all sub-indices have a value of 1, once the target value is reached, and drop below 1 if the air pollution drops even further. Using 0 exceedences for ozone would lead to an index of 0 once the target is achieved and the index cannot improve any further. By using the provisional target of 25 days to calculate the index, the calculation mechanism of the other sub-indices is mimicked.
- For  $\text{PM}_{10}$  two criteria are used: the year average and the number of exceedences of the daily average of  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Though both criteria were originally meant to be more or less equivalent in many places the daily parameter appears to be a much more critical one. This unbalance is further aggravated if the distance-to-target parameter is calculated as the number of daily averages above  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  divided by 35, the limit value. It appears that there is a relation between the number of exceedences of a daily average above  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and the year average concentration (See annex 5). A year average concentration of approximately  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  seems to correspond to 35 days of exceedences. The sub-index is thus calculated as year average/31.
- For  $\text{SO}_2$  the limit value for human health (a daily average of  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  not to be exceeded for more than 3 times a year) should be used. However in many cities this would lead to a sub-index of 0. Alternatively the year average limit values for eco-systems could be used though this might be a difficult target for cities with a lot of old industries. For the time being the eco-system limit value is being used and depending on the actual readings in the subscribing this might be changed at a later date.
- For CO, no year average index is being calculated, as it is really a short-term exposure concern.

The calculation of the sub-indices is straightforward. See table 6.

Table 6: Calculation basis for the year average index

Pollutant	Target value / limit value	Calculation
$\text{NO}_2$	Year average is $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Year average / 40
$\text{PM}_{10}$	Year average is $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Year average / 40
	Max. number of daily averages above $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 35 days $\approx$ year average of $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Year average / 31
Ozone	25 days with an 8-hour average value $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	# days with 8-hour average $\geq 120$ / 25
$\text{SO}_2$	Year average is $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Year average / 20
Benzene	Year average is $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Year average / 5
CO	-	Not calculated

The overall city index is the average of the sub-indices for  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  (both year average and daily averages) and ozone for the city background index. For the traffic year average index the averages of the sub-indices for  $\text{NO}_2$  and  $\text{PM}_{10}$  (both year average and daily averages) are being used. The other pollutants, if data are available, are used in the presentation of the YACAQI but do not enter the calculation of the city average index. They are treated as additional pollutants like in the hourly and daily indices. The main reason is that not every city is monitoring the full range of pollutants. Furthermore for  $\text{SO}_2$  we expect that the situation in different kinds of cities is very far apart, being no problem in most cities and a concern in others.

Table 7 presents an imaginary example for two cities. The two cities in the example have the same YACAQI but different air quality problems. This can be visualised by the bar charts shown in figure 4.



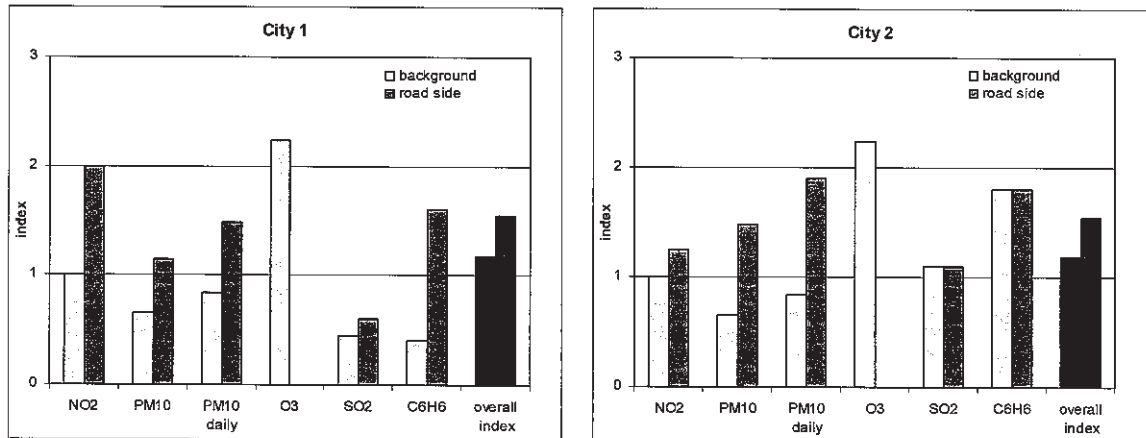


The presentation provides valuable additional information when comparing two cities or the same city over two years. It is instantly evident what the main problems are and/or where progress for the situation is satisfactory. Note that the background index is the same in both cities despite the fact that SO<sub>2</sub> and benzene are very different: they don't enter into the calculation of the average index. For traffic city 1 has a NO<sub>2</sub> problem and city 2 a PM<sub>10</sub> problem.

Table 7: An example of the calculation of the YACAQI

	NO <sub>2</sub>		PM <sub>10</sub> -year average		PM <sub>10</sub> -exceed. daily av.		Ozone days with 8h av. >120		SO <sub>2</sub>		Benzene		Index = average of sub-indices	
Target value	40		40		31		25		20		5			
	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
year average city 1	40	80	26	46			56		9	12	2	8		
year average city 2	40	50	26	59			56		22	22	9	9		
Target index	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.00
Index city 1	1.0	2.0	0.7	1.2	0.8	1.5	2.2		0.5	0.6	0.4	1.6	1.18	1.54
Index city 2	1.0	1.3	0.7	1.5	0.8	1.9	2.2		1.1	1.1	1.8	1.8	1.18	1.54

Figure 4: Presentation of the YACAQI and its components



### 5.3 The YACAQI applied to some cities in 2003

For several years the city of Lintz has been collecting year average air quality data from various cities in Europe (Sameh and Hager, 2003, 2004). Like [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu) this is a bottom-up initiative to make air quality comparable. In the following figures and tables a selection of their data has been used to calculate the YACAQI as an example of the application of the urban background index<sup>11</sup>.

2003 was a notoriously bad year for air quality. Comparing the YACAQI for 2002 and 2003 indeed shows that most indices (Milan being an exception) were better in 2002 than in 2003. The graphs show a city where the YACAQI hardly changed from 2002 to 2003 (Milan), and a city with a marked change (Lintz). The case of Lintz shows that if a city is in compliance with the limit values in one year there is no guarantee that the air quality is satisfactory. In fact to be sure that the limit values

<sup>11</sup> The city of Lintz does not collect the number of days with an 8-hour average ozone concentration  $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In this example the ozone index was calculated as the maximum hourly value divided by 180!



will always be met one has to aim at air quality standards that are somewhat lower than the limit values. The Linz graph also shows that all pollutants were higher in 2003 than in 2002, indicating that poor dispersion has probably played a major role.

Figure 5: YACAQI urban background in 2002 (left) and 2003 (right) in the cities of Linz and Milan<sup>12</sup>

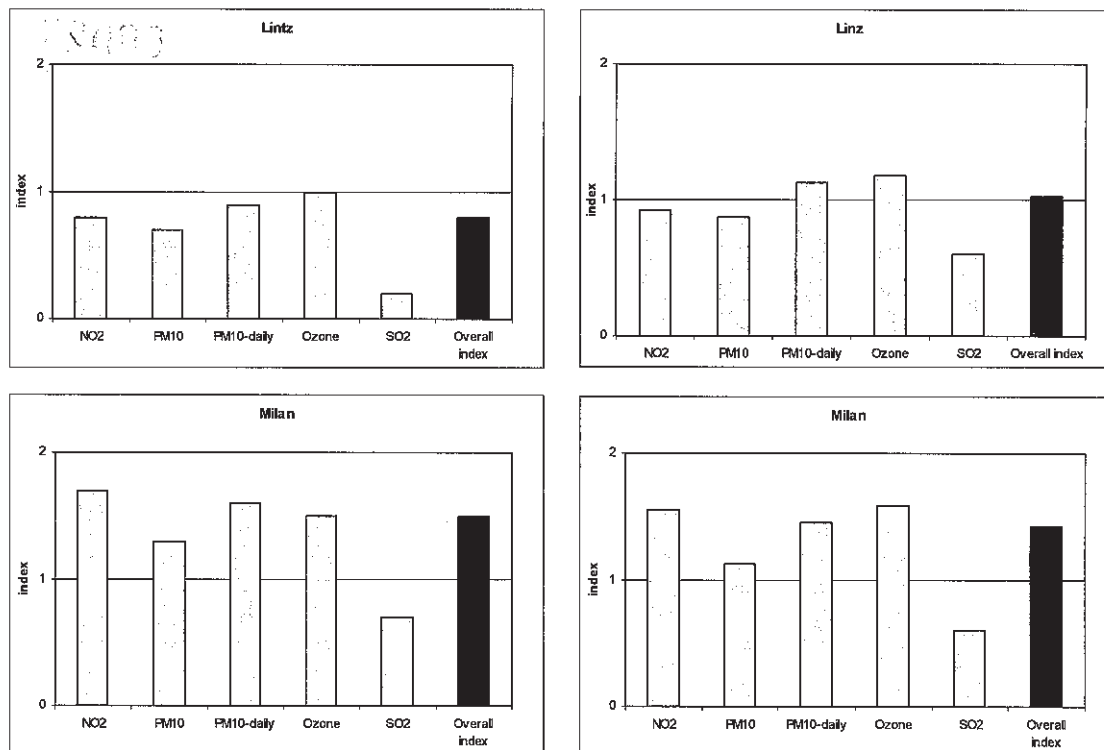


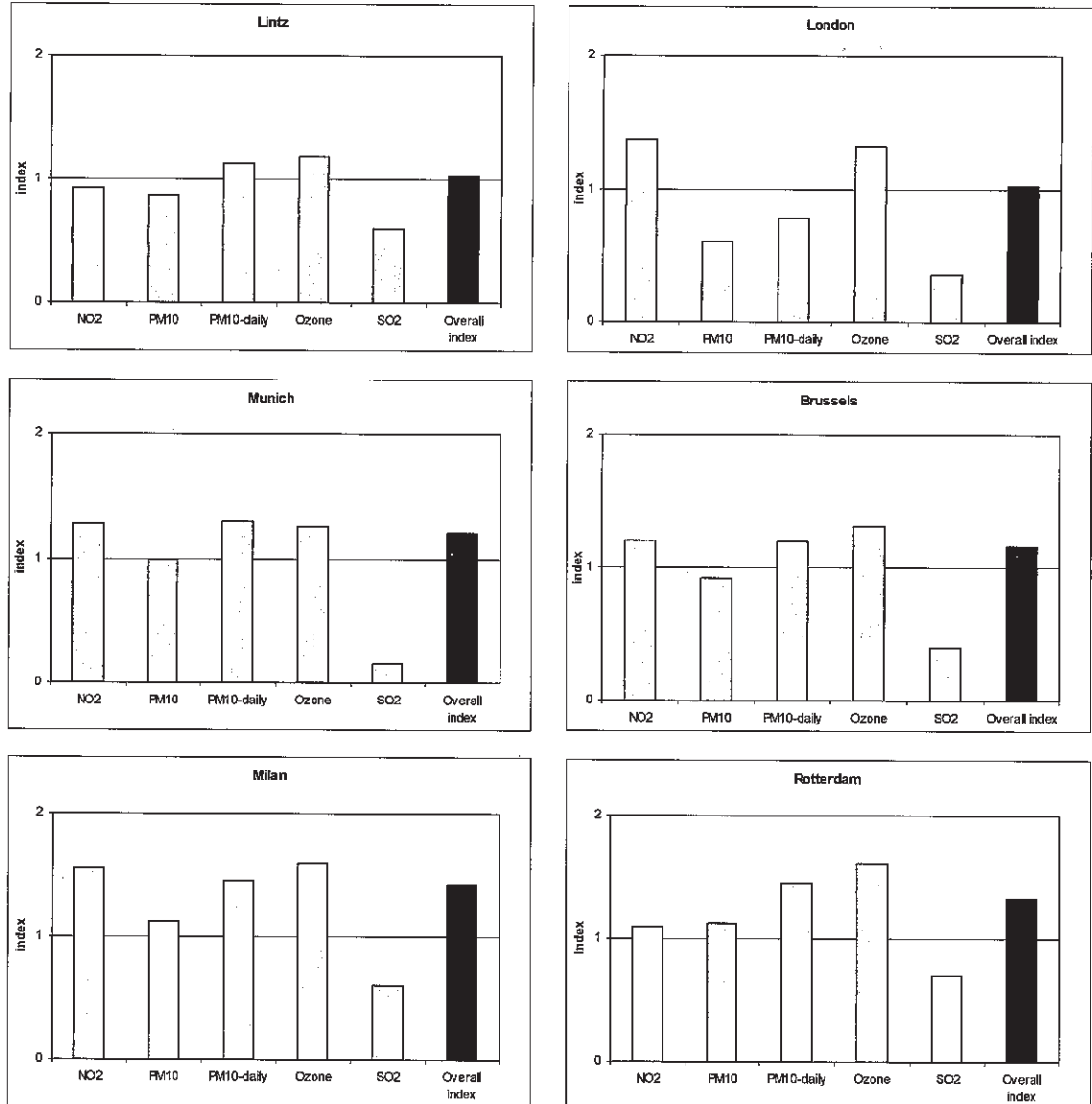
Table 8: Year average index applied to urban background data from 6 cities in the annual Linz survey for 2002 and 2003 (see footnote).

2003	Sub-indices					City Index
	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> -daily	Ozone (max)	SO <sub>2</sub>	
Brussels	1,2	0,9	1,2	1,3	0,4	1,2
Linz	0,9	0,9	1,1	1,2	0,6	1,0
London	1,4	0,6	0,8	1,3	0,4	1,0
Milan	1,6	1,1	1,5	1,6	0,6	1,4
Munich	1,3	1,0	1,3	1,3	0,2	1,2
Rotterdam	1,1	1,1	1,5	1,6	0,7	1,3

2002	Sub-indices					City Index
	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> -daily	Ozone (max)	SO <sub>2</sub>	
Brussels	1,0	0,9	1,1	1,2	0,4	1,0
Linz	0,8	0,7	0,9	1,0	0,2	0,8
London	1,2	0,6	0,7	1,0	0,4	0,9
Milan	1,7	1,3	1,6	1,5	0,7	1,5
Munich	1,2	0,8	1,0	1,0	0,2	1,0
Rotterdam	1,0	1,1	1,4	1,1	0,7	1,1

<sup>12</sup> The city of Linz does not collect the number of days with an 8-hour average ozone concentration  $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In this example the ozone index was calculated as the maximum hourly value divided by 180!

Figure 6: Year average index applied to data from 6 cities in the annual Lintz survey for 2003<sup>13</sup>.



<sup>13</sup> The city of Lintz does not collect the number of days with an 8-hour average ozone concentration  $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In this example the ozone index was calculated as the maximum hourly value divided by 180!



## 6 Future developments

The CAQI and YACAQI were developed in the course of the CITEAIR project (2004-2007). The index has been revised early 2007. CITEAIR ends in 2007 but the website will continue and also some form of continuation of the project is anticipated. The project team is exploring possibilities to establish an organisational framework to enable both the continuation and expansion (e.g. involving more cities) of the website and ensuring the further maintenance/development (revision of directives, new insights in air quality and health issues) of the indices and the web platform as appropriate.

A potential important change to the index is the anticipated arrival of a  $PM_{2.5}$  limit value. It is likely that by 2008 a good number of cities will be monitoring  $PM_{2.5}$  and inclusion of it in the indices will be feasible. We expect that  $PM_{2.5}$  will be included in the daily and hourly versions of the CAQI index. The YACAQI already has two PM sub-indices and adding a third could be considered as exaggeration. The most likely development will be that the  $PM_{2.5}$  sub-index will replace the  $PM_{10}$  year average sub-index.

Maintaining the CAQI implies that cities using this index need to be consulted about, and informed of any changes to the index otherwise there will be multiple versions of the CAQI and the very concept of one index to facilitate comparison across borders will be completely lost. If you consider using the CAQI and/or YACAQI please inform us at [caci@airqualitynow.eu](mailto:caci@airqualitynow.eu).



## Literature

Akkan, Z., Voss, J.-U., Kalberlah, F., Mayer, H. and Rost, J. 2004. Luftqualitätsindex für langfristige Wirkungen (LAQx). Modellentwicklung und Anwendung für ausgewählte Orte in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Airparif, 2007. <http://www.airparif.asso.fr/pages/indices/atmo> (Accessed 2007/06/17).

Burden, F.R., Ellis, P.S., 1996. Air pollution indices for Victoria. *Clean Air* 30, 26-30.

Cairncross, E. K. and John, J., 2004. Communicating air pollution exposure: a novel air pollution index system based on the relative risk of mortality associated with exposure to the common urban air pollutants. IUAPPA 13th Annual World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exhibition. London.

DEFRA, 2007. <http://www.airquality.co.uk/archive/standards.php#band> (Accessed 2007/04/07).

EEA, 2007. <http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/map> (Accessed 2007/04/07).

Eishout, Sef van den, 2004. Interpreting air quality in real time. IUAPPA 3th World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exhibition, London.

Eishout, Sef van den, Léger, Karine and Nussio, Fabio. 2005. Comparing urban air quality in Europe in real time – a review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales. Turkey. (*In*: <http://www.umad.de/infos/aqm2005/UrbanAndRuralAirQuality.pdf>)

Eishout, Sef van den, Léger, Karine, Paassen, Annemarie van and Heich, Hermann. Communicating Air Quality. 6th International Symposium on Environmental Software Systems (ISESS'07). Prague.

EU, 2007a. <http://ec.europa.eu/environment/air/ambient.htm> (Accessed 2007/06/17).

EU, 2007b. <http://ec.europa.eu/environment/aarhus/> (Accessed 2007/06/17).

Garcia, J., Colossio, J. and Jamet, P., 2002. Air-quality indices. Elaboration, uses and international comparisons. Les presses de l'Ecole des Mines, Paris.

Lawson, Douglas R., 2003. The weekend ozone effect – The weekly ambient emissions control experiment. *EM* 2003, July, 17-25.

Leeuw, de Frank, and Mol, Wim. 2005. Air quality and air quality indices: a world apart? ETC/ACC Technical paper 2005/5.

Marquis 2007. <http://www.marquisproject.net/> (Accessed 2007/06/17)

Sameh, Fereydoun and Hager, Wilfried. 2004. Air Quality Data in 2003, The Comparison of Cities and Regions in Europe. Report Nr. 1/2004. Municipality of Linz, Environmental and Technical Centre. Linz, Austria.

Shooter, David and Brimblecombe, Peter. 2005. Air quality indexing. <http://www.uea.ac.uk/~e490/msc/m566fdl/AQI.pdf> (Accessed 2007/02/24).

US-EPA, 2007. <http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibroch.index> (Accessed 2007/06/17).



## Annexes

### Annex 1 Review of some indices found on the internet

#### Introduction

In the following tables you will find some of the indices found during the website review done by CITEAIR in late 2004 and early 2005.<sup>14</sup> The list is not exhaustive but the message is clear: everybody does something different, sometimes even within a country, so there is scope for a common index. Differences include the pollutants monitored, the class borders, the number of classes, etc.

Indices change so the data presented here might no longer be accurate by the time you read it. For example, since the review was done it was discovered that the UK index for PM now differs according to the monitoring method and that the Brussels index has a roadside and city background presentation that was not there before.

Care was taken to be as accurate as possible, though, especially on the sites without an english translation interpretation was sometimes difficult.

#### Observations relative to the findings

- All the indexes are used to give a quality judgement for short-term exposure (generally a day).
- Some sites do not provide an overall index, just indexes for individual pollutants.
- In the case where an overall index is presented the worst of the sub-indexes is generally chosen. There is one exception: the DAPPS (Cairncross and John, 2004) from South Africa. DAPPS is based on quantitative health criteria and this provides a basis for summing the sub-indexes according to the authors (I disagree to some extent: both health effects and concentrations of different pollutants are not independent phenomena; SE)
- The US and UK indexes use very high concentration values as they are based on real health effects. Most other indices reviewed seem somehow inspired by EU limit values, at least for the main pollutants.
- (Short) descriptions of health effects are available in the US-EPA, UK and the NILU indices.
- On the US EPA website (<http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibroch.index>) there is a document with good descriptions of health effects and messages one might use to communicate to the public.
- The DAPPS is, theoretically the most objective index in comparing health effects of different pollutants. The results, as they are presented here use the WHO data (as in the original paper). If one is to use the DAPPS concept correctly local RR-s and mortality data would have to be used. This would provide a powerful tool for comparing health impacts from one city to the other but would make it difficult to compare actual air quality measurements from one city to the other. It seems that the APHEIS project (Monitoring the Effects of Air Pollution Health in Europe) is doing something in this direction. See: <http://www.apheis.net>.
- In France ATMO has been declared a national standard. In the Netherlands and in Italy (for example) there are regional differences in the interpretation of air quality.
- ATMO France, the Brussels index and a number of others are very similar but not identical.
- There are several indexes that don't use a 1 to 10 range. This avoids the confusing communication message that in some fields (education) the 10 points indicate the best and in the AQ business it indicates the worst situation.

<sup>14</sup> For another review of air quality indices see Garcia and Colossio (2002).

000240

VTA



North East South West  
**INTERREG III C**

- Emilia Romagna region now uses a classification based entirely on the short term exposure criteria in the EU guidelines.
- As has been observed by some people: presenting short-term exposure air quality interpretation might send a confusing message. In most instances short-term exposure at a certain site will not pose a problem throughout the year (e.g. moderate to good) and at the end of the year the site does not meet the criteria for the year average. This could be resolved by a few lines of text underneath the graph/table. E.g. "hourly concentrations from 50 to 100 do not pose an acute health threat but when concentrations in this range dominate the air quality is not likely to meet the criteria for long-term (a year or several years) exposure". There are technical ways to provide a long-term judgement for short time resolution measurements but they are difficult to implement. (See also main text chapter 3.)

WHO guidelines for exposure	ozone-8h	ozone-1h	PM2.5-24h	PM10-24h	CO-8h	SO2-24h	SO2-1h	NO2-1h	index
Guidelines 2000	120				10000	125		200	
Guidelines 2005	100		25	50	10000	20		200	
	www.euro.who.int/document/e71922.pdf								
	whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf								
<b>ATMO Paris</b>	ozone-8h	ozone-1h	PM2.5-24h	PM10-24h	CO-8h	SO2-24h	SO2-1h	NO2-1h	index
very good	29	54		9	39	29			1
Good	79	104		19	79	54			2
Average	129	149		29	119	84			3
Mediocre	179	179		39	159	109			4
Poor	249	359		49	199	134			5
very poor	>=360	>=125		64	249	164			6
				79	299	199			7
				99	399	274			8
				124	599	399			9
				>=600	>=400				10

**Remarks:** the index is based on 4 pollutants, the worst sub-index giving the final result.  
 Surprisingly, there are no precise, specific comments describing the health effects for specific target group associated to each index.  
 Index principle is based on specific values for crucial indexes (8 is related to the french "information to the public" hourly value, 10 is based on the alert hourly value.  
 Ozone and SO2 grids are currently under evolution (see new grid suggested).  
 Airparif worked also on a specific hourly PM grid allowing the use of Atmo on a hourly basis.

Conversion between US EPA and Atmo for "interesting" days			US EPA
Day	Pollutant	Value (µg/m3)	Atmo
08/08/2003	O3	238	Very unhealthy (201, O3)
10/02/2004	NO2	139	Unhealthy sensitive (109, PM2.5)
30/09/1997	NO2	251	Moderate (85, PM10)
03/02/1998	NO2	204	Moderate (69, PM10)
05/02/1998	PM10	124	Moderate (87, PM10)
11/08/1998	O3	251	Very unhealthy (201, O3)
			Bad (8)
			Mediocre (6)
			Poor (8)
			Poor (8)
			Poor (9)
			Poor (9)





1  
2  
3  
4  
5

**Annex 2 Summary of indices (situation 2003-2004I)**

NB: All concentrations in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

US EPA 1999 (NB: a 2003 version exists)	ozone-8h 1h	ozone- 1h	PM2.5- 24h	PM10- 24h	CO-8h	SO2-24h	SO2-1h	NO2-1h	index	Remarks
good	132	-	15	54	5302	94	-	-	50	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
moderate	174	-	40	154	11327	397	-	-	100	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people. For example, people who are unusually sensitive to ozone may experience respiratory symptoms.
unhealthy sensitive	215	339	65	254	14942	617	-	-	150	members of sensitive groups may experience health effects. This means they are likely to be affected at lower levels than the general public. For example, people with lung disease are at greater risk from exposure to ozone, while people with either lung disease or heart disease are at greater risk from exposure to particulate pollution. The general public is not likely to be affected when the AQI is in this range
unhealthy	256	421	150	354	18557	837	-	-	200	Everyone may begin to experience health effects when AQI values are between 151 and 200. Members of sensitive groups may experience more serious health effects.
very unhealthy	773	835	250	424	36632	1663	2455		300	AQI values between 201 and 300 trigger a health alert, meaning everyone may experience more serious health effects.
hazardous	go to 1 h column	1041	350	504	48682	2214	3247		400	AQI values over 300 trigger health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected
		1248	500	604	60732	2765	4039		500	



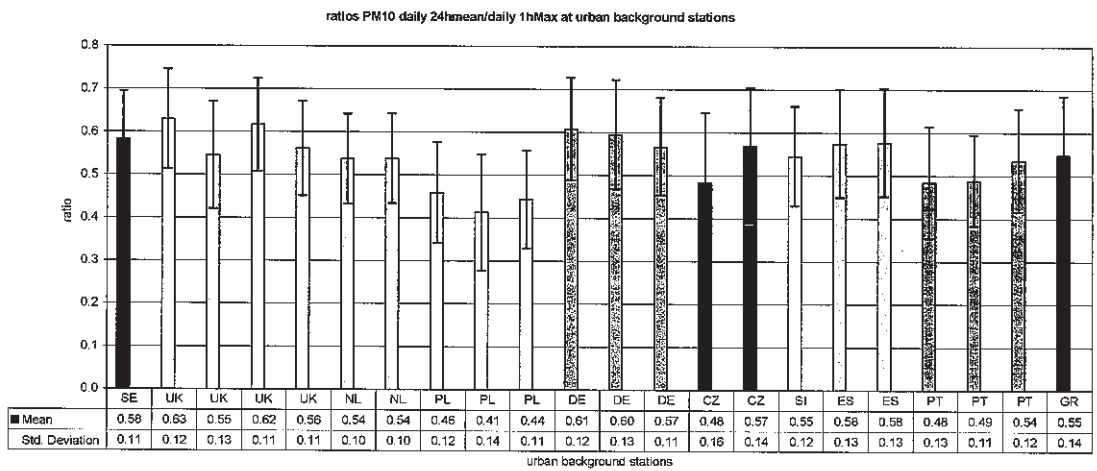
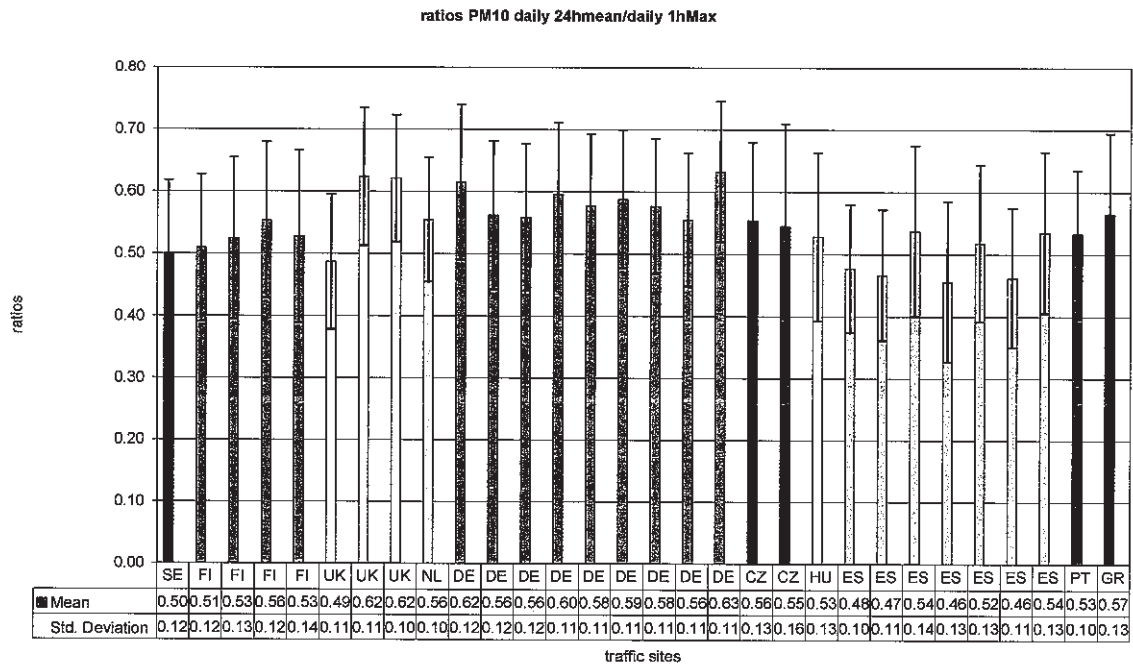
UK	Health	index	ozone-8h	ozone-1h	PM2.5-24h	PM10-24h	CO-8h	SO2-24h	SO2-15 min	NO2-1h
NB: a newer version exists!										
low	effects are unlikely to be noticed even by individuals who know they are sensitive to air pollutants	1	32	0	16	0	0	0	88	95
		2	66	0	32	0	0	0	176	190
		3	99	0	49	0	0	0	265	286
moderate	mild effects, unlikely to require action, may be noticed amongst sensitive individuals	4	126	0	57	0	0	0	354	381
		5	152	0	66	0	0	0	442	476
		6	179	0	74	0	0	0	531	572
high	significant effects may be noticed by sensitive individuals and action to avoid or reduce these effects may be needed (e.g. reduce exposure, asthmatics use inhaler).	7	239	0	82	0	0	0	708	635
		8	299	0	91	0	0	0	886	700
		9	359	0	99	0	0	0	1063	763
very high	Effects for 'high' may worsen	10	>=360	0	>=100	0	0	0	>=1064	>=764

DAPPS (South Africa)	Remarks	index	ozone-8h (max)	ozone-1h	PM2.5-24h	PM10-24h	CO-8h	SO2-24h	SO2	NO2-1h
based on RR : 1		0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.015	Class borders are such that the Relative Risk (RR) is the same in each class for each substance. See Caircross and John 2004, Section 3.2.4. Is not fully correct in my (SE) view. Concentrations are not fully independent and summing them might be wrong.	1	30	33	21	3900	38	0	0	51
1.031		2	60	67	41	7900	77	0	0	102
<b>1.046</b>		3	90	<b>100</b>	62	11800	115	0	0	153
1.061	The DAPPS was fixed to the UK system using the value of ozone at index class 3 (100) and the associated Relative Risk for each pollutant allows to fit the rest of the class borders into the system.	4	120	133	83	15700	153	0	0	204
1.077		5	150	167	104	19700	192	0	0	256
1.092		6	180	200	124	23600	230	0	0	307
1.107		7	210	233	145	27500	268	0	0	358
1.123		8	241	267	166	31500	307	0	0	409
1.138		9	271	300	186	35400	345	0	0	460
>1.153		10	>=301	>=333	>=207	>= 39300	>= 383	0	0	>= 511



### Annex 4 Averaging time ratio's

The ratio between the daily average concentration on a given day and the hourly maximum concentration on that same day was determined for a number of urban background and traffic stations in Europe. Airbase data from the period 2001-2004 was used. The results are shown in the graphs.





## Annex 5 The relation between the two PM<sub>10</sub> limit values

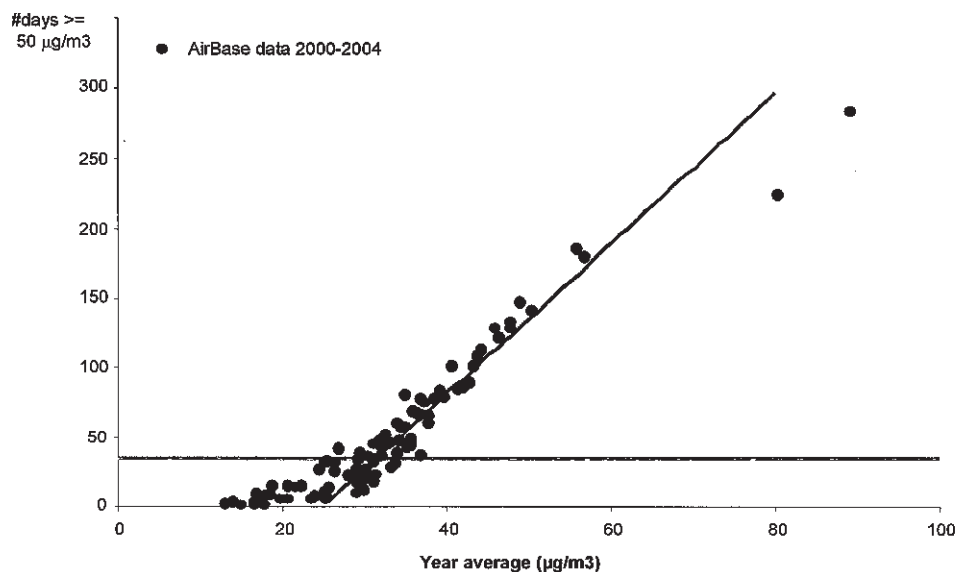
In section 5.2 it was mentioned that there seems to be a fairly generally applicable relation between the year average PM<sub>10</sub> concentration and the number of days with a daily average concentration above 50 µg/m<sup>3</sup>. In the Netherlands this relation was empirically determined as:

$$\text{Number of exceedences} = 5.367 * \text{year average concentration} - 132.4$$

This linear relation is applicable for year average concentrations above 25 µg/m<sup>3</sup> and is applied in some of the air quality models that are prescribed for use in assessment of compliance with the EU directives. In fact, in the Netherlands a lognormal relation exists that applies over the full range of concentrations (Wesseling, p.c.). This is not surprising as lognormal distributions have since long been shown to be a fair approximation of air quality concentration distributions.

The above equation shows that a year average concentration of 31.2 µg/m<sup>3</sup> corresponds to exactly 35 days with a daily average >= 50 µg/m<sup>3</sup>. Various contacts suggested that a value between 30 and 32 µg/m<sup>3</sup> also applied in Belgium, France and Germany. To test this general applicability of a single year average value a sample for a number of years, traffic and background stations and a number of countries was drawn from Airbase and analysed.

The data set includes 12 countries with 12 traffic stations and 11 background stations. The period considered was 2000-2004. Before 2000 there are few PM<sub>10</sub> measurements. At least 90% of the daily average observations had to be present for the station and the year to be included. This leads to 60 data pairs for the analysis<sup>15</sup>. The results are shown in the graph.



The diverse European data set also seems to adhere to a simple linear relation without too much scatter. The two most deviant points belong to one traffic station. A cross check with other stations from the same country revealed that they did fit in the general pattern. Hence it was concluded that the number of exceedences of the limit value for the daily average concentration can be approximated by a year average concentration and the value of 31 µg/m<sup>3</sup> was chosen to be used in the index calculation.

<sup>15</sup> All in all there were 110 data pairs. The results from the full and the restricted set were almost identical.



## Annex 6 Description of the CITEAIR project

### Introduction

The development of Europe's urban centres is in many ways linked with the development of sustainable mobility options. Changes in behaviour, economic growth or recession and structure of the population are factors that have an immediate impact on transport and mobility patterns. The EU Air Quality Directives are increasingly devolving responsibility for action to the Cities and regions, where the most complex challenges in transport and environment need to be solved.

Air quality has unquestionably adverse effects on human health. Because the dominant source of environmental impacts in most urban areas is traffic, local and regional authorities must find efficient and integrated solutions for their environmental and traffic problems to increase the quality of life for its citizens. The pressure on European cities and regions to implement the related EU regulations on air quality has led to a multitude of initiatives to develop a concrete sustainability perspective, which compromises between environmental quality and economic growth.

However, the absence of a common approach for the implementation of these regulations has led to isolated solutions, which requires an initiative for a) developing better solutions, b) more efficient solutions, c) solutions that go beyond the obligations of the related EU directives, d) creating synergies and e) sharing the expertise, knowledge and experiences.

The overall objectives of CITEAIR are:

- to jointly develop better and more efficient solutions for assessing the impact of traffic on air quality in large urban areas using Information Society Technologies,
- to inform professional users and the public on the environmental situation based on common guidelines and
- to give guidance on efficient measures to abate adverse environmental situations through close co-operation, experience exchange and joint developments with European Cities and Regions.

The CITEAIR project started in March 2004, and lasted 46 months. It was led by Leicester (UK), supported by Paris (FR), Prague (CZ), Rotterdam (NL), Rome (I), the Region Emilia Romagna (I), Munich (DE), Coventry (UK) The Hague (NL) Bratislava (SK) and Brussels (BE). The project contributes to the development and implementation of efficient solutions to assess and reduce the impact of traffic on air quality in large urban areas. Through close co-operation, exchange of experiences and joint developments between European regions and cities, the project develops solutions to inform the public and local authorities about the environmental situation in a comparable and easy understandable way and offers guidance on efficient measures to reduce environmental damage mainly caused by transport. Other municipalities are encouraged to contribute to the initiative via a user network.

### The products

CITEAIR project partners have been working on the development of the following products:

#### Guidebook on air quality management

Built on experiences in European cities and regions, it identifies gaps in knowledge and strategies in air quality management and proposes solutions for efficient environmental management. The guidebook was developed to inform professional users on efficient abatement measures.

#### Guidebook on city annual air quality reports

The aim of this guidebook is to recommend a common reporting format for air quality applicable for European cities. The format obviously contains all data that have to be reported under the EU obligations but also suggests additional sections that facilitate the use of the report for city to city comparison and help in making action plans. The ultimate goal is to develop an automated form where the relevant pollutant concentrations can be inserted and a complete report is generated.

**Guidebook on communicating air quality**

In many cities efforts are being made to inform the public on air quality – which is an obligation under the EU Framework Directive on ambient air quality and under the Aarhus Convention ratified by the EU in 2005 - and to influence behaviours, particularly where traffic is the dominant source of air pollution in urban areas. The guidebook was produced to provide a strategy for disseminating information on air quality. It also contains good practices, which could be used as models for the future.

**Comparing air quality across borders (CAQI)**

As one of the cornerstones in public information CITEAIR developed the first air quality index for use at the European level. This common air quality index (CAQI) is a set of two indices: one for roadside monitoring sites and one for average city background conditions. Differentiating between roadside and general city conditions is a first step in assuring consistence in the parameters that are being compared. It is not aimed at replacing existing local indices. It is dedicated to comparing air quality in European cities and bringing simple information to the European citizens, easily accessible. The full description of the CAQI is available at <http://citeair.rec.org> and at [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu)

**The Common Operational Website (COW)**

As environment is a theme of high importance, the public should be able to assess to what extent they are affected by air quality. The COW provides an attractive platform to compare air quality in different participating cities in real time applying the CAQI. The COW is operational since March 2006 ([www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu)) and displays data from 21 cities (status July 2007) in real time.

**Guidebook on transferring a traffic-environmental models chain**

This guidebook allows the transfer of experiences in developing a Decision Support System (DSS) that assesses the environmental impacts of urban traffic in near-real time, from a local scale to a wide area (regional scale). The main asset is a concrete implementation plan for the DSS definition that meets the needs and requirements of the Emilia-Romagna region and represents guidance for future transfers to other European cities and regions.

For more information on CITEAIR or to download CITEAIR products: <http://citeair.rec.org>  
To contact the CITEAIR team: [clean@citeair.rec.org](mailto:clean@citeair.rec.org)

附件：



---

# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 633—2012

---

## 环境空气质量指数（AQI）技术规定 （试行）

**Technical Regulation on Ambient Air Quality Index (on trial)**

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2012-02-29 发布

2016-01-01 实施

---

环 境 保 护 部 发 布



5.1.2 日报时间周期为 24 小时，时段为当日零点前 24 小时。日报的指标包括二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、颗粒物（粒径小于等于 10μm）、颗粒物（粒径小于等于 2.5μm）、一氧化碳（CO）的 24 小时平均，以及臭氧（O<sub>3</sub>）的日最大 1 小时平均、臭氧（O<sub>3</sub>）的日最大 8 小时滑动平均，共计 7 个指标。

5.1.3 实时报时间周期为 1 小时，每一整点时刻后即可发布各监测点位的实时报，滞后时间不应超过 1 小时。实时报的指标包括二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、臭氧（O<sub>3</sub>）、一氧化碳（CO）、颗粒物（粒径小于等于 10μm）和颗粒物（粒径小于等于 2.5μm）的 1 小时平均，以及臭氧（O<sub>3</sub>）8 小时滑动平均和颗粒物（粒径小于等于 10μm）、颗粒物（粒径小于等于 2.5μm）的 24 小时滑动平均，共计 9 个指标。

5.1.4 计算每个监测点位的空气质量指数时，各项污染物空气质量分指数和空气质量指数使用该点位的各项污染物浓度、表 1 中浓度限值、式（1）和式（2）进行计算。

5.1.5 日报和实时报数据由空气质量指数日报软件系统进行初步审核，实时报及日报数据仅为当天参考值，应在次月上旬将上月数据根据完整的审核程序进行修订和确认。

## 5.2 发布数据的格式

5.2.1 空气质量指数日报数据格式应符合表 3 的要求。

5.2.2 空气质量指数实时报数据格式应符合表 4 的要求。

## 6 其他要求

6.1 环境空气质量监测和评价工作涉及的监测点位布设与调整、监测频次的设定、监测数据的统计与处理等按《环境空气质量监测规范（试行）》和 HJ/T 193 等相关标准和其他规范性文件的要求执行。

6.2 环境空气质量指数及空气质量分指数的计算结果应全部进位取整数，不保留小数。

6.3 本标准与 GB 3095—2012 同步使用。

6.4 评价环境空气质量达标状况时，应依据 GB 3095 中的规定进行。



表 3 空气质量指数日报数据格式

时间: 2000年00月00日																					
污染物浓度及空气质量分指数 (IAQI)																					
城市名称	监测点位名称	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 24小时平均		二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 24小时平均		颗粒物 (粒径小于等于10μm) 24小时平均		一氧化碳 (CO) 24小时平均		臭氧 (O <sub>3</sub> ) 最大1小时平均		臭氧 (O <sub>3</sub> ) 最大8小时滑动平均		颗粒物 (粒径小于等于2.5μm) 24小时平均		空气质量指数 (AQI)	首要污染物	空气质量指数级别	空气质量指数类别		
		浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (mg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数				类别	颜色	

注: 缺测指标的浓度及分指数均使用 NA 标识。

表 4 空气质量指数实时数据格式

时间: 2000年00月00日00时																							
污染物浓度及空气质量分指数 (IAQI)																							
城市名称	监测点位名称	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 1小时平均		二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 1小时平均		颗粒物 (粒径小于等于10μm) 1小时平均		颗粒物 (粒径小于等于10μm) 1小时平均		臭氧 (O <sub>3</sub> ) 1小时平均		臭氧 (O <sub>3</sub> ) 8小时滑动平均		颗粒物 (粒径小于等于2.5μm) 1小时平均		颗粒物 (粒径小于等于2.5μm) 24小时滑动平均		空气质量指数 (AQI)	首要污染物	空气质量指数级别	空气质量指数类别		
		浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数	浓度/ (μg/m <sup>3</sup> )	分指数				类别	颜色	

注: 缺测指标的浓度及分指数均使用 NA 标识。

000252

VFA.

HJ 633—2012

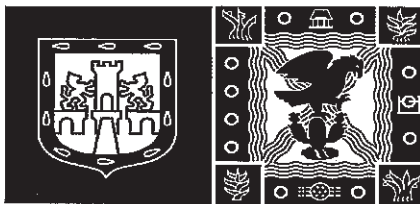
附录 A  
(规范性附录)  
空气质量指数类别的表示颜色

空气质量指数类别的表示颜色应符合表 A.1 中的规定。

表 A.1 空气质量指数类别表示颜色的 RGB 及 CMYK 配色方案

颜色	R	G	B	C	M	Y	K
绿	0	228	0	40	0	100	0
黄	255	255	0	0	0	100	0
橙	255	126	0	0	52	100	0
红	255	0	0	0	100	100	0
紫	153	0	76	10	100	40	30
褐红	126	0	35	30	100	100	30

注：RGB 为电脑屏幕显示色彩，CMYK 为印刷色彩模式。



**GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**  
**México • La Ciudad de la Esperanza**

*“2006, Año del Bicentenario del Natalicio del  
 Benemérito de las Américas, Don Benito  
 Juárez García”*

# GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

Órgano del Gobierno del Distrito Federal

DÉCIMA SEXTA ÉPOCA

29 DE NOVIEMBRE DE 2006

No. 141

## Í N D I C E

### SUPREMA CORTE DE JUSTICIA DE LA NACIÓN

- ◆ ACUERDO GENERAL 69/2006, DEL PLENO DEL CONSEJO DE LA JUDICATURA FEDERAL 2
- TRIBUNAL DE LO CONTENCIOSO ADMINISTRATIVO DEL DISTRITO FEDERAL**
- ◆ JURISPRUDENCIA NÚMERO 57 5
- ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL DISTRITO FEDERAL**
- JEFATURA DE GOBIERNO**
- ◆ DECRETO POR EL QUE SE ESTABLECE COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDA DEL DISTRITO FEDERAL, CON CATEGORÍA DE ZONA DE CONSERVACIÓN ECOLÓGICA, EL ÁREA CONOCIDA CON EL NOMBRE DE “ECOGUARDAS” 6
- ◆ DECRETO POR EL QUE SE ESTABLECE COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDA, CON LA CATEGORÍA DE RESERVA ECOLÓGICA COMUNITARIA, LA ZONA CONOCIDA CON EL NOMBRE DE “SAN NICOLÁS TOTOLAPAN” 22
- ◆ ACUERDO POR EL QUE SE DEJA INSUBSISTENTE EL DECRETO EXPROPIATORIO DE UN INMUEBLE CONSIDERADO DE ALTO RIESGO ESTRUCTURAL A FAVOR DEL INSTITUTO DE VIVIENDA DEL DISTRITO FEDERAL DEL CINCO DE ENERO DEL DOS MIL CINCO, PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL DOS Y CUATRO DE MARZO DE DOS MIL CINCO, ÚNICAMENTE POR LO QUE SE REFIERE A LA EXPROPIACIÓN DEL INMUEBLE UBICADO EN AVENIDA MÉXICO COYOACÁN NÚMERO 353, COLONIA XOCO, DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ 91
- ◆ ACUERDO POR EL QUE SE DEJA INSUBSISTENTE EL DECRETO EXPROPIATORIO A FAVOR DEL INSTITUTO DE VIVIENDA DEL DISTRITO FEDERAL DEL PRIMERO DE JULIO DE DOS MIL DOS, PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL CUATRO Y DIECISÉIS DE JULIO DE DOS MIL DOS, ÚNICAMENTE POR LO QUE SE REFIERE A LA EXPROPIACIÓN DE LA CALLE NORTE 68 NO. 7823, COLONIA SALVADOR DÍAZ MIRÓN, DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO 94
- ◆ ACUERDO POR EL QUE SE DEJA INSUBSISTENTE EL DECRETO EXPROPIATORIO DE TREINTA Y NUEVE INMUEBLES CONSIDERADOS DE ALTO RIESGO ESTRUCTURAL A FAVOR DEL INSTITUTO DE VIVIENDA DEL DISTRITO FEDERAL DEL ONCE DE JUNIO DE DOS MIL TRES, PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL VEINTIUNO DE AGOSTO Y DOS DE SEPTIEMBRE DE DOS MIL TRES, ÚNICAMENTE POR LO QUE SE REFIERE A LA EXPROPIACIÓN DEL INMUEBLE UBICADO EN CALLE VICTORIANO SALADO ÁLVAREZ NÚMERO 25, COLONIA OBRERA, DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC 96

Continúa en la Pág. 211

## SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

### NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-009-AIRE-2006, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA ELABORAR EL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.

**Eduardo Vega López**, Secretario del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal con fundamento en lo dispuesto en los artículos 1º, 2º, 15 fracción IV, 16 fracción I, II y IV, 26 fracción I, III, IV y IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal; 6 fracción II, 9 fracción IV, VII, XLII y XLVI, 36 al 41 y 151 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, ordena la publicación de la Norma Ambiental para el Distrito Federal: Que establece los requisitos para elaborar el índice metropolitano de la calidad del aire; la publicación se ordena una vez publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, las respuestas a los comentarios ingresados durante la consulta pública del Proyecto de Norma PROY- NADF-009-AIRE-2006, publicado el 3 de noviembre de 2006, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, por lo anterior, he tenido a bien expedir la siguiente:

### NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-009-AIRE-2006, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA ELABORAR EL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.

## ÍNDICE

1. **Introducción**
2. **Objetivo**
3. **Campo de aplicación**
4. **Definiciones**
5. **Disposiciones Generales**
6. **Bibliografía**
7. **Observancia**
8. **Vigencia**
9. **Anexos**

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental abocada a atender el problema de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), requiere de mecanismos para informar a la población de manera adecuada y oportuna sobre los niveles de contaminación y su variación en el tiempo, con el fin de salvaguardar la salud pública. En 1977 la Dirección General de Saneamiento de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, desarrolló el Índice Mexicano de Calidad del Aire o IMEXCA. En 1982 se diseñó el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), cuya metodología transforma a una escala adimensional las concentraciones de los contaminantes criterio. Su fundamento es el Índice Estándar de Contaminantes (Pollutant Standard Index o PSI por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América (EUA), un indicador basado en una función lineal segmentada y las normas primarias de calidad del aire<sup>1</sup>, y las normas mexicanas de protección a la salud vigentes, de forma tal que establece en 100 puntos el límite de protección a la salud para cada contaminante. A partir de enero de 1986 el IMECA se empezó a difundir a la población a través de diversos medios. Actualmente su difusión comprende la radio, la prensa, la televisión y la Internet (1,2,3,4).

Aunado a lo anterior, no existe un documento oficial que defina el significado y utilidad del IMECA, así como los lineamientos para su generación, uso y difusión, lo que ha provocado una falta de homologación de sus procedimientos entre distintos usuarios. Por otra parte, los resultados de un estudio de percepción social en la ZMVM (5), señalan que la población piensa que la contaminación atmosférica es alta y que el IMECA no refleja la realidad del problema de contaminación atmosférica. Esta actitud representa un obstáculo para lograr que la población comprenda la magnitud del problema de la contaminación atmosférica en la ZMVM o que modifique su relación con la ciudad y el ambiente, y tenga así una participación activa. El estudio concluye también que el IMECA no es una herramienta que motive acciones de protección de la salud.

<sup>1</sup> El PSI es el resultado de la investigación realizada por Thom y Ott en 1975, con más de 50 índices de contaminación existentes en los EUA y Canadá para identificar las características óptimas de un índice de contaminación del aire. En 1976 se propuso el PSI y posteriormente se modificó y adoptó por el Gobierno de los EUA como un índice uniforme de la contaminación del aire. El PSI tiene las siguientes características estructurales: seis variables de contaminación del aire: CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PST y el producto SO<sub>2</sub> x PST; utiliza funciones lineales segmentadas para el cálculo de los subíndices y se calcula de modo máximo, reportando únicamente el subíndice máximo (1).

Con el propósito de mejorar y actualizar un índice con las características del IMECA, éste se debe revisar periódicamente (6) y modificarlo cuando existan cambios en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de salud ambiental o una nueva evidencia de riesgo. El IMECA debe ser información cotidiana para que la población tenga una visión objetiva acerca del problema de la contaminación atmosférica (7) y actué de forma tal que disminuya los riesgos de exposición a los contaminantes.

Por lo expuesto anteriormente, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal consideró pertinente elaborar la presente Norma Ambiental para establecer los lineamientos que debe cumplir el IMECA, a fin de que sea empleado como una herramienta veraz, sencilla y oportuna de protección a la salud de la población, con información sobre el riesgo por la exposición a los contaminantes del aire y las acciones de protección que puede realizar. Esto permitirá que la población tenga un mejor conocimiento del grado de deterioro del aire y su efecto en la salud, y que al mismo tiempo se motiven su conducta y conciencia ambientales (8).

La elaboración de esta Norma Ambiental requirió la integración de un grupo de trabajo conformado por investigadores y funcionarios con experiencia en esta materia. Las propuestas y comentarios de este grupo se integraron en lineamientos de uso, obtención, diseño y difusión del IMECA (8,9), los cuales se fundamentan en la evidencia de riesgo que sustentan las NOM de salud ambiental y en la consideración del principio de precaución ante la posibilidad del riesgo que tienen las personas cuando se exponen de forma continua a concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterio inferiores a los límites que establecen las NOM. También se considera la elaboración de mensajes y herramientas complementarios al IMECA para prever situaciones adversas de contaminación atmosférica.

En la presente norma se considera que el IMECA debe obtenerse mediante el proceso transparente de la información y de forma numérica mediante algoritmos; que la información que proporcione sea entendible para la población y que comunique los riesgos a la salud asociados a la exposición a los contaminantes atmosféricos criterio.

Para cumplir con lo anterior, la norma aborda los siguientes aspectos, los cuales se explican en el apartado de disposiciones generales:

- (I) Propósito
- (II) Uso de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterio para obtener el IMECA
- (III) Comunicación de riesgos y difusión del IMECA

## 2. OBJETIVO

Establecer los lineamientos para la obtención, el uso y la comunicación de riesgos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) para el Distrito Federal.

## 3. CAMPO DE APLICACIÓN

La presente norma aplica en el territorio del Distrito Federal. El IMECA se dará a conocer con base a las zonas de contaminación definidas como Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sureste. Su empleo puede extenderse a los municipios conurbados del Estado de México que comprende la ZMVM (10).

## 4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se entiende por:

**4.1 Calidad del aire:** Características del aire ambiente con relación al tipo de sustancias, la concentración de las mismas y período en que se presentan en un lugar y tiempo determinado.

**4.2 Concentración promedio de una hora.** Es el promedio aritmético de las concentraciones registradas en una hora.

**4.3 Conciencia ambiental:** Es la formación de conocimientos, la interiorización de valores y la participación en la prevención y solución de problemas ambientales.

- 4.4 Condiciones de referencia.** Son la temperatura absoluta de 298° K (25° C) y presión barométrica de 101 kPa (760 mm de Hg). Estas condiciones son la referencia para calcular los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire (adaptado de 11).
- 4.5 Condiciones locales:** Son la temperatura absoluta (en °K y su equivalente en °C) y presión barométrica (en kPa y su equivalente en mm de Hg) que se registran en el lugar donde se mide un contaminante atmosférico.
- 4.6 Contaminación atmosférica.** Es la presencia en el aire de uno o más contaminantes o la combinación de éstos (12).
- 4.7 Contaminante atmosférico.** Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse y actuar en la atmósfera altera o modifica su composición y condición natural (12).
- 4.8 Contaminante atmosférico criterio.** Término adoptado de la definición que hace la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) para describir a los contaminantes atmosféricos que afectan el bienestar y la salud humana, y que cuentan con criterios para establecer o revisar límites máximos permisibles. Los contaminantes considerados son: ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), plomo (Pb) y partículas suspendidas (adaptado de 13).
- 4.9 Comunicación de riesgo.** Proceso de interacción e intercambio de información (datos, opiniones y sensaciones) entre individuos, grupos o instituciones sobre amenazas para la salud, la seguridad o el ambiente con el propósito de que la comunidad conozca los riesgos a los que está expuesta y participe en su mitigación. Idealmente este proceso es interactivo y permanente
- 4.10 Evidencia de riesgo.** Certeza científica acerca de que se produzca daño a la salud.
- 4.11 Exposición.** Contacto de un ser humano con un agente químico, físico o biológico. Puede incluir la intensidad, frecuencia y duración del contacto, así como la vía de entrada y la dosis (14).
- 4.12 Gestión ambiental.** Conjunto de políticas públicas mediante las cuales una entidad pública propone alternativas de solución a los problemas ambientales.
- 4.13 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).** Escala adimensional que sirve para calificar la calidad del aire con respecto a los contaminantes atmosféricos considerados criterio.
- 4.14 Método de referencia.** El procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente (11).
- 4.15 Microgramo por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>).** Es la expresión de concentración en masa del contaminante por unidad de volumen de aire ambiente (adaptado de 15).
- 4.16 Partes por millón (ppm).** Es la relación de un volumen de un contaminante en un millón de volúmenes de aire.
- 4.17 Peligro a la salud pública:** Condición de exposición a sustancias peligrosas en la que se pueden presentar efectos dañinos en la salud de la comunidad.
- 4.18 Población susceptible.** Grupo social con mayor probabilidad de padecer una enfermedad o morir, debido a que es especialmente "vulnerable" como resultado de la interacción de características biológicas, genéticas, ambientales, psicológicas, sociales, económicas, entre otras. (16).
- 4.19 Promedio móvil de "n" horas.** Media aritmética de las "n" concentraciones horarias de un contaminante, a partir de la hora de interés y considerando las n-1 horas consecutivas previas.
- 4.20 Redondeo:** Formato que modifica la información después de una cifra de interés, de tal manera que si la siguiente cifra es 4 ó menor no se considera y no cambia la cifra de interés. Cuando la cifra siguiente es 5 ó mayor, entonces la cifra de interés se incrementa en una unidad (17). Por ejemplo: el redondeo de la cifra 0.1105 es 0.111, y en el caso de la cifra 0.1104 el resultado es 0.110.
- 4.21 Representación espacial.** Referencia a la parcela de aire que caracteriza una estación de monitoreo de contaminantes atmosféricos, en la cual se considera una concentración homogénea del contaminante. La representación espacial se relaciona con el objetivo del monitoreo. En la presente norma se consideran las escalas de representación espacial documentadas en el Código de Regulaciones Federales 50 (CFR, por sus siglas en Inglés), parte 58 del apéndice D ["Network Design for State and Local Air Monitoring Stations (SLAMS), National Air Monitoring Stations (NAMS), and Photochemical Assessment Monitoring Stations (PAMS)"] de los Estados Unidos de América (18).



**4.22 Representación física.** Referencia a las características físicas que debe cumplir el entorno y la infraestructura donde se establece una estación de monitoreo de contaminantes atmosféricos, con la finalidad de que sus registros sean confiables. En la presente norma se consideran los criterios de representación física documentadas en el Código de Regulaciones Federales 50 (CFR, por sus siglas en Inglés), parte 58 del apéndice E ("Probe and Monitoring Path Siting Criteria for Ambient Air Quality Monitoring") de los Estados Unidos de América (18).

**4.23 Representatividad:** Medida en que un dato de contaminación atmosférica describe a la población de datos.

**4.24 Riesgo.** Es la probabilidad de la ocurrencia de un efecto adverso ante la exposición a un agente biológico, químico o físico u otra amenaza (14).

**4.25 Zonas de calidad del aire.** División espacial de la Zona Metropolitana del Valle de México, con la finalidad de informar los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos criterio, a saber Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste, Sureste .

**4.26 ZMVM.** Zona Metropolitana del Valle de México que integra a las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y 18 municipios conurbados del Estado de México (10).

## 5. DISPOSICIONES GENERALES

### 5.1 PROPÓSITO DEL IMECA

**5.1.1.** El IMECA tiene como propósito *informar a la población de manera clara, oportuna y continua, sobre los niveles de contaminación atmosférica, los probables daños a la salud que ocasiona y las medidas de protección que puede tomar.*

### 5.2. USO DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CRITERIO PARA OBTENER EL IMECA

**5.2.1** Las concentraciones de los contaminantes criterio  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $CO$  se expresarán en partes por millón (ppm), mientras que las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  se expresarán en microgramos por metro cúbico ( $\mu g/m^3$ ). La medición y reporte de ambos tipos de partículas se realiza a condiciones locales de presión y temperatura. En el Anexo 1 se indica la forma como se miden y reportan las concentraciones de partículas medidas en la ZMVM con equipos manuales o automáticos, por parte de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Al momento de elaborar la presente norma el grupo de trabajo mantuvo la discusión acerca de las condiciones en que deben reportarse las concentraciones de los contaminantes. Se considera que esta situación debe motivar una revisión técnica por parte de las autoridades federales y locales, y los centros de investigación. Los resultados de esta revisión técnica pueden dar lugar a la actualización y promulgación de normas técnicas, las cuales se considerarán para actualizar la presente norma ambiental.

**5.2.2** La información de los contaminantes para obtener el IMECA, provendrá de las estaciones de monitoreo que cumplan con los criterios de representación física y espacial (vecinal o media en el caso del  $CO$  y vecinal o urbana para el resto de contaminantes criterio), en apego a las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para instalar estaciones de monitoreo y llevar a cabo la vigilancia de la calidad del aire con fines de información pública (17). En el Anexo 2 se presenta una relación de las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, que en el momento de elaborar la presente norma proporcionan información idónea para obtener un índice con las características del IMECA y que cumplen con los criterios de representación física y una escala espacial vecinal o urbana. El mismo anexo también contiene una descripción sobre la cobertura y el tipo de información que provee una estación de monitoreo en función de su escala espacial.

**5.2.3** Las concentraciones promedio de una hora deberán contar con un número delimitado de cifras decimales y redondear cuando sea necesario. En el caso del  $O_3$ ,  $NO_2$  y  $SO_2$ , sus concentraciones promedio de una hora en partes por millón se obtendrán con tres cifras decimales, en el caso de las  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , sus concentraciones promedio de una hora en  $\mu g/m^3$  se obtendrán sin cifras decimales y en el caso del  $CO$  sus concentraciones promedio de una hora en partes por millón se obtendrán con 2 cifras decimales.

**5.2.4** El IMECA se adaptará a los límites de protección a la salud que establecen las NOM de los contaminantes criterio  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  (Anexo 3). En el caso del  $O_3$  y el  $NO_2$ , el IMECA se obtendrá a

- 5.2.5 partir de concentraciones promedio de una hora; para el SO<sub>2</sub> derivará de una concentración obtenida como promedio móvil de 24 horas; para el CO derivará de una concentración obtenida como promedio móvil de 8 horas. En el caso del O<sub>3</sub> la NOM actual establece un segundo límite permisible definido como promedio móvil de 8 horas; al momento de elaborar la presente norma se consideró pertinente incorporar este límite al cálculo del IMECA, cuando en la ZMVM se cumpla con el límite definido como concentración promedio de una hora. El IMECA para las PM<sub>10</sub> y las PM<sub>2.5</sub> derivará de concentraciones obtenidas como promedio móvil de 24 horas (15, 18, 19, 20, 21).
- 5.2.6 Las concentraciones promedio de una hora para cada uno de los contaminantes criterio, se obtendrán considerando un criterio de suficiencia del 75%, de tal forma que las concentraciones de una hora se calcularán promediando las concentraciones registradas en al menos 45 minutos. Este criterio garantiza la representatividad de los datos (13).
- 5.2.7 Las concentraciones obtenidas como promedios móviles se calcularán a partir de concentraciones promedio de una hora con al menos un 75% de datos horarios válidos. De esta forma el promedio móvil de CO se puede obtener con 8, 7 o 6 horas de información, y los promedios móviles para SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se pueden obtener con 24 a 18 horas de información previa. Este criterio garantiza la representatividad de los datos (13).
- 5.2.8 El IMECA se reportará regularmente cada hora en todos los días del año, de las 08:00 a las 20:00 horas.
- 5.2.9 El IMECA se reportará en las 5 zonas de calidad del aire de la ZMVM, definidas como Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sureste en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM, 2002-2010 (10).
- 5.2.10 El IMECA de cada zona estará representado por el mayor de los valores del IMECA de cualquier contaminante que sea registrado en cualquiera de las estaciones de monitoreo ubicadas en la zona. El IMECA se identificará por medio de un color y un calificativo de acuerdo con el grado de riesgo que represente para la salud humana.

En la siguiente escala de números y colores, entre el 0 y 50, el color verde, corresponderá a la condición recomendable de calidad del aire para que cualquier persona pueda realizar todo tipo de actividades al aire libre; entre el 51 y el 100, la asignación del color amarillo indicará que las condiciones de calidad del aire con relación a las concentraciones de los contaminantes criterio, aún son adecuadas para que la población realice actividades al aire libre. Conforme se incrementa la magnitud de las concentraciones de estos contaminantes se asignará un número mayor y colores que señalan un aumento del riesgo. En orden creciente los colores son naranja, rojo y morado, este último asociado con los eventos de mayor riesgo.

Al momento de elaborar la presente norma el grupo de trabajo mantuvo la discusión acerca del uso de una escala de colores para informar a la población. Se considera que esta situación debe motivar una revisión técnica y fundamentarse en estudios de caso para la Ciudad de México, para lo cual deben impulsarse proyectos con este perfil.

**Escala de colores**

Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Morado

- 5.2.11 La asignación del número y el color a la concentración del contaminante atmosférico criterio que se encuentre en mayor concentración y que sea registrada en cualquiera de las estaciones de monitoreo, se realiza conforme los siguientes intervalos. Los dos primeros intervalos se definieron a partir de la mitad del valor que tiene el límite que especifica la NOM de cada contaminante (15, 19, 20, 21, 22), de esta forma se intenta prevenir ante los riesgos que causa la exposición continua a concentraciones de contaminantes consideradas como bajas. En los tres intervalos superiores de O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, se consideran los valores actuales que integran sus algoritmos (23). Para las PM<sub>10</sub> los intervalos se definieron conforme al valor del límite que señala la NOM (22) y para las PM<sub>2.5</sub> se considera la forma de cálculo que sigue el Air Quality Index (AQI) de los Estados Unidos de América (23). En ambos tipos de partículas la definición de intervalos contempla que hay una mayor probabilidad de riesgo conforme se incrementa su concentración, esto a pesar de la falta de evidencia acerca de umbrales a partir de los cuales se incrementa el riesgo. De forma general, se puede señalar que en la adopción de estos intervalos se considera que ante la falta de evidencia científica se opta por un sentido precautorio del posible riesgo a los niveles de contaminación atmosférica que se registran en la actualidad en la ZMVM.








**Intervalos de concentración para asignación de colores:**

IMECA	O <sub>3</sub> [ppm] (15)	NO <sub>2</sub> [ppm] (20)	SO <sub>2</sub> [ppm] (19)	CO [ppm] (21)	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] (22)	PM <sub>2.5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] (22, 23)
	0.000 - 0.055	0.000 - 0.105	0.000 - 0.065	0.00 - 5.50	0 - 60	0 - 15.4
51 - 100	0.056 - 0.110	0.106 - 0.210	0.066 - 0.130	5.51 - 11.00	61 - 120	15.5 - 40.4
	0.111 - 0.165	0.211 - 0.315	0.131 - 0.195	11.01 - 16.50	121 - 220	40.5 - 65.4
151 - 200	0.166 - 0.220	0.316 - 0.420	0.196 - 0.260	16.51 - 22.00	221 - 320	65.5 - 150.4
> 200	>0.220	> 0.420	> 0.260	> 22.00	>320	> 150.4

**5.3. COMUNICACIÓN DE RIESGOS**

- 5.3.1. La asignación de un color para el contaminante atmosférico criterio de mayor magnitud y un calificativo comprensible es un mecanismo que facilitará a la población comprender el estado de la calidad del aire de la zona donde reside o realiza sus actividades. Los calificativos de la calidad del aire son: buena, regular, mala, muy mala y extremadamente mala, y se refieren a la importancia del riesgo que implica la concentración de un contaminante atmosférico criterio. El uso del calificativo mala o muy mala, implica que la población debe estar atenta a los niveles de concentración del contaminante atmosférico criterio y su evolución en el tiempo, así como a los mensajes de prevención. En la siguiente tabla se indican los colores de calidad del aire y el calificativo correspondiente.


**Calificación asociada al color de la calidad del aire \*\***

Color	Calificativo de la calidad del aire
	Buena
	Regular
	Mala
	Muy Mala
	Extremadamente Mala

\*\* Al momento de elaborar la presente norma el grupo de trabajo mantuvo la discusión acerca del uso de calificativos para informar a la población. Se considera que esta situación debe motivar una revisión técnica y fundamentarse en estudios de caso para la Ciudad de México.

- 5.3.2. La difusión del IMECA por medio de un color y un calificativo deberá incorporar información sencilla de los riesgos a la salud humana y las acciones de prevención y protección que puede realizar la población. Los mensajes son breves y consideran que si un contaminante atmosférico criterio tiene concentraciones cuyo riesgo es bajo para la salud, no es necesario preocupar a la población; de lo contrario, es necesario señalarle que el contaminante atmosférico criterio puede ocasionar un efecto negativo a la salud, que esté pendiente y atenta a las recomendaciones sobre medidas de protección y que en su caso las adopte.

**Mensajes de riesgos a la salud y acciones asociados al color de la calidad del aire**

	<i>La calidad del aire es:</i>
 <b>Buena</b>	<i>Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre</i>

<b>Regular</b>	<p><i>Se pueden llevar a cabo actividades al aire libre</i></p> <p><i>Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades</i></p>
<b>Muy Mala</b>	<p><i>Causante de efectos adversos a la salud en la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma</i></p> <p><b><i>Evite las actividades al aire libre, esté atento a la información de calidad del aire</i></b></p> <p><b><i>“Acuda al médico si presenta síntomas respiratorios o cardiacos”</i></b></p>
<b>Extremadamente Mala</b>	<p><i>Causante de mayores efectos adversos a la salud en la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma</i></p> <p><b><i>Evite salir de casa y mantenga las ventanas cerradas, esté atento a la información de la calidad del aire</i></b></p> <p><b><i>“Acuda al médico si presenta síntomas respiratorios o cardiacos”</i></b></p>
<b>Extremadamente Mala</b>	<p><i>Causante de efectos adversos a la salud de la población en general</i></p> <p><i>Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma</i></p> <p><b><i>Proteja su salud, evite salir de casa y mantenga las ventanas cerradas, esté atento a la información de la calidad del aire</i></b></p> <p><b><i>“Acuda al médico si presenta síntomas respiratorios o cardiacos”</i></b></p> <p><b><i>“No use el automóvil”</i></b></p>

- 5.3.2. La información del IMECA a la población infantil podrá reforzarse mediante el uso de imágenes de “mascotas”, las cuales reflejarán con su estado de ánimo y expresión corporal el impacto en la salud que provoca la contaminación del aire.
- 5.3.3. La información del IMECA a la población deberá ser ágil y oportuna, de tal forma que le permita adoptar medidas precautorias. Para cumplir con lo anterior deberán emplearse los medios y la tecnología disponible (fax, teléfono, Internet, etc.), adaptando a cada uno los aspectos (color, calificativo, mascota, mensaje de riesgo y acciones sugeridas) mencionados anteriormente.
- 5.3.4. La información del IMECA (color, calificativo, mensajes de riesgo y acciones sugeridas) con fines preventivos, para notificar con anticipación una posible emergencia ambiental o la calidad del aire del día siguiente, requerirá el uso de herramientas de pronóstico (modelos empíricos, modelos estadísticos, modelos fotoquímicas, entre otros). Esto permitirá informar que la calidad del aire será “amarilla / regular”, “naranja / mala” o “roja / muy mala” con anticipación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) SSA. Índice Mexicano de Calidad del Aire (IMEXCA).- Memorandum Técnico AT/02-78. Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. Secretaría de Salubridad y Asistencia. Talleres Gráficos de la Nación, agosto de 1979.
- (2) Procedimientos de cálculo del IMECA y lineamientos para contar violaciones a las normas, 1994. (Informe técnico interno del GDF-SMA).
- (3) Muñoz, B. 1997. Índices de contaminación atmosférica. Neumología y Cirugía de Tórax, volumen 56, num. 2, abril-junio, 1997. 56 (2):48:58.

- (4) Herrera, A. 1990. Contaminación en Aire, Agua y Suelo en la Ciudad de México, en Medio Ambiente y Desarrollo en México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades – UNAM, Vol. 2: 547:572.
- (5) Taller de mejoramiento del IMECA (documento técnico para grupo de trabajo). Secretaría de Medio Ambiente, 2003.
- (6) Ezcurra, E. 1998. De las Chinampas a la Megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México. Colección La Ciencia para Todos, #91; Segunda edición. Fondo de Cultura Económica.
- (7) Lezama, J.L. 2000. Aire dividido, crítica a la política del aire en el Valle de México. El Colegio de México. México.
- (8) Documento base para revisión del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Documento técnico de la Secretaría de Medio Ambiente, 2003.
- (9) Revisión del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Integración de comentarios y sugerencias del equipo de trabajo. Documento técnico de la Secretaría de Medio Ambiente, 2003.
- (10) Comisión Ambiental Metropolitana., Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002 – 2010. México D.F. 2002.
- (11) NOM-035-ECOL-1993. "Métodos de medición para determinar la concentración de Partículas Suspensas Totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.
- (12) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México. 12ª edición.
- (13) Guidance for Using Air Quality-Related Indicators in Reporting Progress in Attaining the State Ambient Air Quality Standards.
- (14) Hayes AE. (2001). Principles and Methods of Toxicology. 4th Edition. Taylor and Frances.
- (15) NOM-020-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono. Valores normados para la concentración de ozono en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población".
- (16) Organización Panamericana de la Salud (1999). Manual sobre el enfoque de riesgo en la atención materno Infantil.
- (17) *Handbook of Physics*, 2nd. edition, E. U. Condon and H. Odishaw, McGraw Hill Co., Chap. 1 Fundamentals, pags. 1-5 a 1-6 (1967).
- (18) Environmental Protection Agency Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1, Ambient Air Quality Monitoring Program. Quality System Development. August 1998.
- (19) NOM-022-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre. Valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- (20) NOM-023-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno. Valor permisible para la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- (21) NOM-021-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono. Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- (22) NOM-025-SSA1-1993. "Salud ambiental. Propuesta de criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas totales, las partículas menores de 10 micrómetros y las partículas menores de 2.5 micrómetros.
- (23) Documento base para revisión del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Documento técnico de la Secretaría de Medio Ambiente. 2003.

## 7. OBSERVANCIA

- 7.1. El IMECA se dará a conocer en el Distrito Federal con base a las 5 zonas de calidad del aire de la ZMVM, definidas como Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sureste. Su empleo puede extenderse a los municipios conurbados del Estado de México que comprende la ZMVM (11).
- 7.2. La vigilancia del cumplimiento de esta Norma corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal en el ámbito de su competencia.
- 7.3. La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal podrá verificar los requerimientos indicados en esta Norma en forma periódica cuando lo considere conveniente, debiendo ejecutar en el

corto plazo, las medidas, recomendaciones u observaciones que se deriven de esta verificación, haciendo públicos los resultados y los documentos probatorios.

## 8. VIGENCIA

- 8.1. La presente Norma entrará en vigor con carácter de obligatorio, al día siguiente de su publicación en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- 8.2. La presente Norma se revisará cuando se elaboren o modifiquen las Normas Oficiales Mexicanas de Protección a la Salud con carácter federal o local, cuando exista nueva evidencia de riesgo o nuevos resultados de estudios de percepción social relacionados con la temática de contaminación atmosférica.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1

#### FORMA DE MEDICIÓN Y REPORTE DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES CRITERIO EN LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Forma de medición y reporte
PM <sub>10</sub> manual	No existe	La concentración se reporta a las condiciones locales de presión y temperatura.
PM <sub>2,5</sub> manual	No existe	La concentración se reporta a las condiciones locales de presión y temperatura.
PM <sub>10</sub> automático	No existe	La concentración se reporta a las condiciones locales de presión y temperatura.
PM <sub>2,5</sub> automático	No existe	La concentración se reporta a las condiciones locales de presión y temperatura.
O <sub>3</sub>	NOM-036-ECOL-1993	
NO <sub>2</sub>	NOM-037-ECOL-1993	
SO <sub>2</sub>	NOM-038-ECOL-1993	
CO	NOM-034-ECOL-1993	

### Anexo 2

#### Representación espacial de las estaciones de monitoreo

Estación	Clave	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Aragón	ARA		Media	Vecinal			
Atizapán	ATI		Vecinal	Urbana	Urbana		
Azcapotzalco	AZC	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Vecinal		
Camarones	CAM						Urbana
Cerro de la estrella	CES		Media	Vecinal		Vecinal	
Coyoacán	COY						Urbana
Cuajimalpa	CUA	Urbana					
ENEP-Acatlán	EAC	Vecinal	Media	Urbana	Vecinal	Vecinal	
Instituto Mexicano del Petróleo	IMP		Vecinal				
Lagunilla	LAG		Media	Vecinal			
La Presa	LPR			Vecinal			
La Villa	LVI			Vecinal		Vecinal	
Los Laureles	LLA			Urbana			
Merced	MER		Media	Vecinal		Vecinal	
Pedregal	PED	Urbana	Vecinal	Urbana	Urbana	Vecinal	
La Perla	PER						Vecinal

<b>Plateros</b>	<b>PLA</b>	Urbana	Media	Urbana	Urbana	Vecinal	
<b>San Agustín</b>	<b>SAG</b>	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Vecinal		
<b>San Juan de Aragón</b>	<b>SJA</b>						Vecinal
<b>Santa Úrsula</b>	<b>SUR</b>	Urbana	Vecinal	Urbana	Urbana	Urbana	
<b>Tacuba</b>	<b>TAC</b>	Vecinal	Vecinal	Vecinal	Vecinal		
<b>Tlahuac</b>	<b>TAH</b>					Vecinal	
<b>Taxqueña</b>	<b>TAX</b>			Vecinal			
<b>Tlalnepantla</b>	<b>TLA</b>		Vecinal	Vecinal		Vecinal	Vecinal
<b>Tultitlán</b>	<b>TLI</b>		Vecinal	Urbana	Urbana	Vecinal	
<b>Tlálpan</b>	<b>TPN</b>	Urbana					
<b>UAM-Iztapalapa</b>	<b>UIZ</b>	Vecinal	Media	Vecinal	Vecinal		Vecinal
<b>Vallejo</b>	<b>VAL</b>		Media	Vecinal			
<b>Villa de las Flores</b>	<b>VIF</b>		Vecinal		Urbana	Urbana	
<b>Xalostoc</b>	<b>XAL</b>		Media				

#### Definición de las escalas de representación espacial.

Escala	Dimensión de la parcela de área que caracteriza
Micro	Hasta 100 mts.
Media	Entre 100 y 500 mts.
Vecinal	Entre 500 mts y 4 Km., con uso de suelo homogéneo.
Urbana	Entre 4 y 50 Km.
Regional	Entre algunas decenas a cientos de kilómetros. Se localizan en áreas rurales.
Nacional y global	Caracteriza a un país.

#### Relación entre el objetivo de monitoreo y la representatividad espacial.

Altas concentraciones	Micro, media, vecinal (en ocasiones urbana***)
Impacto a la Población	Vecinal y urbana
Impacto de fuentes	Micro, media, vecinal
Concentraciones en general y de fondo	vecinal, urbana, regional
Transporte de contaminantes	Urbana y regional
Impacto al bienestar (construcciones y vegetación)	Urbana y regional

\*\*\*Urbana. Escala aplicable tanto a ciudades como áreas rurales.

### Anexo 3

#### LIMITES PERMISIBLES DE PROTECCIÓN A LA SALUD QUE ESTABLECEN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Valor del límite permisible	Forma de integración al IMECA
PM <sub>10</sub>	NOM-025-SSA1-1993	120 µg/m <sup>3</sup>	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
PM <sub>2.5</sub>	NOM-025-SSA1-1993	65 µg/m <sup>3</sup>	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
O <sub>3</sub>	NOM-020-SSA1-1993	0.11 ppm	Promedio de una hora.



NO <sub>2</sub>	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm	Promedio de una hora.
SO <sub>2</sub>	NOM-022-SSA1-1993	0.13 ppm	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
CO	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm	Promedio móvil de 8 horas.

## Anexo 4

**ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IMECA (I) DE A PARTIR DE LAS CONCENTRACIONES (C) DE CADA CONTAMINANTE CRITERIO  
OZONO (O<sub>3</sub>)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ppm]	Ecuaciones de transformación	Ecuación simplificada
	0.000 - 0.055	$I [O_3] = C[O_3] * 50/0.055$	$IO_3 = C[O_3] * 100/0.11$
51 - 100	0.056 - 0.110	$I[O_3] = 50-0.055 * 50/0.055 + C[O_3] * 50/0.055$ $[O_3] = C[O_3] * 50/0.055$	
	0.111 - 0.165	$I[O_3] = 100-0.11 * 50/0.055 + C[O_3] * 50/0.055$ $I[O_3] = C[O_3] * 50/0.055$	
151 - 200	0.166 - 0.220	$I[O_3] = 150-0.165 * 50/0.055 + C[O_3] * 50/0.055$ $I[O_3] = C[O_3] * 50/0.055$	
> 200	> 0.220	$I [O_3] = C[O_3] * 200/0.22$	

**DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ppm]	Ecuaciones de transformación	Ecuación simplificada
	0.000 - 0.105	$I[NO_2] = C [NO_2] * 50/0.105$	$I[NO_2] = C[NO_2] * 100/0.21$
51 - 100	0.106 - 0.210	$I[NO_2] = 50-0.105 * 50/0.105 + C[NO_2] * 50/0.105$ $I[NO_2] = C[NO_2] * 50/0.105$	
	0.211 - 0.315	$I[NO_2] = 100-0.21 * 50/0.105 + C[NO_2] * 50/0.105$ $I[NO_2] = C[NO_2] * 50/0.105$	
151 - 200	0.316 - 0.420	$I[NO_2] = 150-0.315 * 50/0.105 + C[NO_2] * 50/0.105$ $I[NO_2] = C[NO_2] * 50/0.105$	
> 200	> 0.420	$I[NO_2] = C[NO_2] * 200/0.42$	

**DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ppm]	Ecuaciones de transformación	Ecuación de transformación simplificada
	0.000 - 0.065	$I[SO_2] = C[SO_2] * 50/0.065$	$I[SO_2] = C[SO_2] * 100/0.13$
51 - 100	0.066 - 0.130	$I[SO_2] = 50-0.065 * 50/0.065 + C[SO_2] * 50/0.065$ $I[SO_2] = C[SO_2] * 50/0.065$	
101 - 150	0.131 - 0.195	$I[SO_2] = 100-0.13 * 50/0.065 + C[SO_2] * 50/0.065$ $I[SO_2] = C[SO_2] * 50/0.065$	
151 - 200	0.196 - 0.260	$I[SO_2] = 150-0.195 * 50/0.065 + C[SO_2] * 50/0.065$ $I[SO_2] = C[SO_2] * 50/0.065$	

> 200	> 0.260	$I[\text{SO}_2] = C[\text{SO}_2] * 200/0.26$	
-------	---------	--	--

**MONÓXIDO DE CARBONO (CO)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ppm]	Ecuaciones de transformación	Ecuación de transformación simplificada
0 - 50	0.00 - 5.50	$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.5$	$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 100/11$
51 - 100	5.51 - 11.00	$I[\text{CO}] = 50 - 5.5 * 50/5.5 + C[\text{CO}] * 50/5.5$ $I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.5$	
101 - 150	11.01 - 16.50	$I[\text{CO}] = 100 - 11 * 50/5.5 + C[\text{CO}] * 50/5.5$ $I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.5$	
151 - 200	16.51 - 22.00	$I[\text{CO}] = 150 - 16.5 * 50/5.5 + C[\text{CO}] * 50/5.5$ $I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.5$	
> 200	> 22.00	$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 200/22$	

**PARTÍCULAS MENORES A 10 MICROMETROS (PM<sub>10</sub>)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ecuaciones de transformación	Ecuaciones de transformación simplificadas
0 - 50	0 - 60	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 50/60$	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/6$
51 - 100	61 - 120	$I[\text{PM}_{10}] = 50 - 60 * 50/60 + C[\text{PM}_{10}] * 50/60$ $I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 50/60$	
101 - 150	121 - 220	$I[\text{PM}_{10}] = 100 - 120 * 50/100 + C[\text{PM}_{10}] * 50/100$ $I[\text{PM}_{10}] = 40 + C[\text{PM}_{10}] * 50/100$	$I[\text{PM}_{10}] = 40 + C[\text{PM}_{10}] * 0.5$
151 - 200	221 - 320	$I[\text{PM}_{10}] = 150 - 220 * 50/100 + C[\text{PM}_{10}] * 50/100$ $I[\text{PM}_{10}] = 40 + C[\text{PM}_{10}] * 50/100$	
> 200	> 320	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 200/320$	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/8$

**PARTÍCULAS MENORES A 2.5 MICROMETROS (PM<sub>2.5</sub>)**

Intervalo del IMECA	Intervalo de concentraciones [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ecuaciones de transformación	Ecuaciones de transformación simplificadas
0 - 50	0 - 15.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 50/15.4$	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 50/15.4$
51 - 100	15.5 - 40.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 51 - 15.5 * 49/24.9 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$ $I[\text{PM}_{2.5}] = 20.50 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$	$I[\text{PM}_{2.5}] = 20.50 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$
101 - 150	40.5 - 65.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 101 - 40.5 * 19/24.9 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$ $I[\text{PM}_{2.5}] = 21.30 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$	$I[\text{PM}_{2.5}] = 21.30 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$
151 - 200	65.5 - 150.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 151 - 65.5 * 49/84.9 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/84.9$ $I[\text{PM}_{2.5}] = 113.20 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/84.9$	$I[\text{PM}_{2.5}] = 113.20 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/84.9$
> 200	> 150.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 201/150.5$	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 201/150.5$

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los 17 días del mes de noviembre del año dos mil seis.

EL SECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

(Firma)

MTRO. EDUARDO VEGA LÓPEZ

000260



Department  
for Environment  
Food & Rural Affairs

# Update on Implementation of the Daily Air Quality Index

## Information for Data Providers and Publishers

April 2013



Llywodraeth Cymru  
Welsh Government





<b>Title</b>	Update on Implementation of the Daily Air Quality Index
<b>Authors</b>	Defra – Emily Connolly King's College, London - Gary Fuller and Timothy Baker Ricardo-AEA - Paul Willis

© Crown copyright 2013

You may re-use this information (not including logos) free of charge in any format or medium, under the terms of the Open Government Licence. To view this licence, visit [www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/](http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/) or write to the Information Policy Team, The National Archives, Kew, London TW9 4DU, or e-mail: [psi@nationalarchives.gsi.gov.uk](mailto:psi@nationalarchives.gsi.gov.uk)

This document/publication is also available on our website at: <http://uk-air.defra.gov.uk/>

Any enquiries regarding this document/publication should be sent to us at:

Emily Connolly, Department for Environment, Food and Rural Affairs  
Area 5E Ergon House, 17 Smith Square, London, SW1P 3JR

or email [aqevidence@defra.gsi.gov.uk](mailto:aqevidence@defra.gsi.gov.uk)

**Contents**

Update on the implementation of Daily Air Quality Index.....	1
Overview .....	1
Clarifying the Daily Air Quality Index .....	1
Data rounding and averaging .....	2
Particulate matter measurement methods .....	2
Retrospective index calculations .....	3
Changes to the index .....	3
Changes to the index and banding concentrations.....	3
Changes to the trigger concentrations.....	4
2012 Implementation.....	6
UK-AIR .....	7
Implementation by others .....	8
Annex A: Model performance of each trigger and their respective Gilbert Skill Scores (GSS).....	9
References.....	11

# Update on the implementation of Daily Air Quality Index

## Overview

The Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP) published its Review of the UK Air Quality Index in June 2011<sup>i</sup>. Following these recommendations, Defra and the Devolved Administrations implemented a new index; the Daily Air Quality Index (DAQI), from 1<sup>st</sup> January 2012 as described in a Defra communication of 1<sup>st</sup> December 2011<sup>ii</sup>.

This document is an update to these communications that defined the index. The aims of this document are:

- 1) To clarify the way in which the index should be calculated.
- 2) To detail minor changes to the index to bring it fully into line with EU Limit Value concentrations.
- 3) To draw together lessons from the way in which the index has been used by data providers and to provide recommendations for all users of the index.

## Clarifying the Daily Air Quality Index

The DAQI informs people about short-term levels of outdoor air pollution and their potential health effects. It has a ten point scale; divided into four bands – low, moderate, high and very high.

Previous communications from Defra<sup>iii</sup> described the following attributes of the DAQI:

- 1) Updated health advice.
- 2) Changes to the index bands for particulate matter (PM<sub>10</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>).
- 3) Inclusion of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the index.
- 4) Removal of carbon monoxide (CO) from the index.
- 5) Changes to the presentation of the index, to be a 10-point scale with four bands of low, moderate, high and very high.
- 6) Introduction of a concept of trigger values to allow for the prediction of episodes of elevated air pollution in real time as they emerge.

- 7) Links to the long-term health effects of air pollution to be provided with the index.

The following information is intended to clarify the way in which the index should be calculated.

### Data rounding and averaging

The DAQI is defined in terms of integer pollutant concentrations averaged as 15 minute, hourly, 8-hour and daily mean concentrations. Calculating these averages, rounding, and the point at which rounding occurs, is critical in the comparison of concentrations to the index definitions:

- 1) All ppb to  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  conversion factors should be to 4 decimal places.
- 2) When calculating an hourly, 8-hour or daily mean concentration it is necessary to ensure that data capture of at least 75% is achieved <sup>vi</sup>i.e.:
  - 3 x 15 minute mean concentrations are required to calculate an hourly mean
  - 6 hourly mean concentrations are required to calculate an 8-hour mean
  - 18 hourly mean concentrations are required to calculate a daily mean.
- 3) Rounding has to be the very last step of any calculation, i.e. immediately before comparing the result with the index and has to be done only once.

Care has to be taken when rounding, since multiple rounding can alter a numeric value in some cases. For example,  $50.486 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is rounded to  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rounding this value in a first step to one decimal place gives  $50.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and rounding in a second step to an integer would yield  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

8-hour mean and daily mean concentrations for the index should be calculated from un-rounded hourly means.

- 4) All comparisons with the index should be undertaken with concentrations rounded to integers.

### Particulate matter measurement methods

The DAQI builds upon the recommendations of the COMEAP review which also sought to align the index with the EU Limit Values. For this reason the Particulate Matter (PM) index values, and importantly the associated health advice, are based on EU reference or equivalent measurements.

It is widely accepted that different PM measurement methods may yield different results, largely due to their ability to measure semi-volatile PM. Given that elevated PM concentrations in the UK are often driven by semi-volatile PM, the divergence between measurement methods can be greatest during moderate, high or very high air pollution <sup>v vi</sup>.

The use of non-reference equivalent PM measurements (eg. TEOM \*1.3 or uncorrected beta attenuation) to calculate the index may therefore lead to misleading health information being provided to the public. For this reason only EU reference or equivalent measurements should be used as inputs for the index calculation. Similarly models used for air pollution forecasts should be designed to replicate EU reference equivalent concentrations.

## Retrospective index calculations

The DAQI can be used to summarise air pollution and to allow comparisons over long time periods. For instance trends in the number of days with moderate, high or very high air pollution can be used to judge changes in the frequency of air pollution episodes. However care needs to be taken in interpreting these outputs since the DAQI is primarily designed to provide health information on short-term variations in air quality and not longer-term exposure.

The COMEAP report recommends the use of triggers to complement the index and to allow for the prediction of episodes of elevated air pollution as they emerge. However, all retrospective analysis of DAQI bands should be based on the measured concentrations and averaging times in Table 1 and the trigger method should not be used for retrospective analysis of DAQI values.

## Changes to the index

The Commission Implementing Decision 2011/850/EU for the Air Quality Directive sets out common rules for the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality <sup>vii</sup>. These rules are being piloted by a core group of EU countries, including the UK, before coming into force in 2014. Through this process Defra have identified a number of minor changes which need to be made to the DAQI to ensure it is consistent with the EU Directive reporting, a key intention of the COMEAP review.

## Changes to the index and banding concentrations

Exceedence of EU Limit Value concentrations has been defined to occur when concentrations (following integer rounding) are above the Limit Value concentration. For example, exceedence of the PM<sub>10</sub> daily mean of 50 µg/m<sup>3</sup> has been defined to occur when concentrations are in excess of this level. Therefore a daily mean of 50 µg/m<sup>3</sup> should fall in the low, not moderate, band to ensure that days of moderate or above is more directly comparable with the number of exceedences of the daily mean Limit Value. Applying this rule to the DAQI has resulted in the following changes:

- The minimum concentration for the moderate band has increased by one µg/m<sup>3</sup> to ensure that the low/moderate division is compatible with the Limit Values for PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> and that the ratio of PM<sub>2.5</sub> to PM<sub>10</sub> is maintained though the index.

- The minimum concentration for the high and very high bands has been increased by one  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  consistent with changes to the moderate band.
- The divisions between index values have been adjusted so that they are more evenly distributed within each band.

The revised DAQI is shown in Table 1 and replaces that launched in January 2012. Historic index values should be recalculated to the point when the DAQI was first implemented.

**Table 1: The revised Daily Air Quality Index.**

		Running 8 hourly mean	hourly mean	15 minute mean	24 hour mean	24 hour mean
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Low	1	0-33	0-67	0-88	0-11	0-16
	2	34-66	68-134	89-177	12-23	17-33
	3	67-100	135-200	178-266	24-35	34-50
Moderate	4	101-120	201-267	267-354	36-41	51-58
	5	121-140	268-334	355-443	42-47	59-66
	6	141-160	335-400	444-532	48-53	67-75
High	7	161-187	401-467	533-710	54-58	76-83
	8	188-213	468-534	711-887	59-64	84-91
	9	214-240	535-600	888-1064	65-70	92-100
Very High	10	241 or more	601 or more	1065 or more	71 or more	101 or more

### Changes to the trigger concentrations.

The averaging times of one day for  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  and 8-hours for  $\text{O}_3$  mean it is not possible to provide public information about an unexpected pollution episode from measurement data until it is well established. To address this, COMEAP recommended the use of trigger values to complement the DAQI. These triggers were derived by COMEAP to provide information to the public to warn of exposure as it is taking place at moderate, high or very high levels. This method has similarities to the way in which the previous UK Air Quality Index defined moderate concentrations of  $\text{O}_3$  on the basis of both hourly and 8-hourly mean concentrations.

Trigger concentrations are hourly pollution measurements that indicate a period of moderate, high or very high air pollution may be taking place or is likely to happen soon. These triggers are intended for use by organisations that operate real-time public information services.

The triggers are based on two consecutive hourly mean concentrations. The first hourly mean has to be greater than or equal to a threshold. To avoid false triggers from short-term measurement spikes, the trigger has to be confirmed by a second hourly mean. It is clearly desirable to be able to predict pollution exposure before the accumulated 8-hour or daily mean concentration indicates that moderate, high or very high air pollution has

occurred. For this reason the triggers are biased towards detecting increasing concentrations, i.e. the second hourly mean concentration has to be greater or equal to the first.

Changes to the concentrations that define each index band clearly require a change to the predictive triggers. These have been recalculated using the same method as for the original COMEAP report. O<sub>3</sub> triggers were calculated from the same dataset used in the COMEAP analysis, namely measurements from monitoring sites in London and Southeast England from 2000 to 2008 (including AURN), a total of 4.7 million hourly measurements. The availability of EU reference measurements for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> has increased since the time of the COMEAP analysis and hence this revision of the triggers has been undertaken on an extended dataset of EU reference equivalent PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations from the AURN and from London and neighbouring networks from 2004 to 2011. Approximately 385,000 site days of PM<sub>10</sub> concentrations were modelled for each possible trigger for each band and approximately 73,000 site days were modelled in the same way for PM<sub>2.5</sub>.

The revised trigger concentrations for each index band are shown in Table 2 along with their Gilbert Skill Score, an indicator of predictive capability<sup>viii</sup>.

**Table 2: Revised trigger concentrations for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub>. GSS=Gilbert Skill Score**

Pollutant	Band	Trigger (ug m <sup>-3</sup> )	GSS
Particulate Matter, PM <sub>10</sub>	Moderate or above	68	0.533
	High or above	107	0.348
	Very high or above	177	0.188
Particulate Matter, PM <sub>2.5</sub>	Moderate or above	50	0.591
	High or above	74	0.422
	Very high or above	101	0.260
Ozone, O <sub>3</sub>	Moderate or above	105	0.791
	High or above	170	0.726
	Very high or above	Not determined	n/a

## 2012 Implementation

The DAQI has been implemented across the air quality information systems operated by Defra and the Devolved Administrations and by others including the London and other air quality networks operated by King's College London, local authority monitoring programmes undertaken by Ricardo AEA and a number of authorities including Bristol City Council.

The DAQI allows information on air pollution exposure to be provided at a range of temporal scales:

Retrospective analysis: the DAQI can be used to summarise the frequency of air pollution episodes in a way which is consistent with Air Quality Objectives and EU Limits.

Near-real time pollution exposure: This has formed the foundation for many public information systems in the past. Real-time measurements can provide detailed information on the magnitude and spatial extent of air pollution episodes, and can detect pollution episodes that have not been adequately forecast.

However, the retrospective nature of the health information used to underpin the DAQI means that instantaneous pollution concentrations reflected in a running average might not identify a pollution episode sufficiently early to allow information to be communicated in a timely fashion, and so appropriate precautions to be taken. This provides challenges for tools that were used to display the pre-2012 UK air quality index.

Supplementing near real time data with triggers was recommended by COMEAP to maximise the utility of near real-time air pollution measurements and to provide an early warning system for episodes. In the absence of an air pollution episode when the triggers are not activated and insufficient measurements are available to calculate a valid daily mean for PM<sub>10</sub> or PM<sub>2.5</sub> (6pm or later), there remains the question of which data to display to keep the public informed about "current" or "recent" concentrations and their exposure.

One approach is to use the 24 hours running mean data for PM so that information on what has recently been measured is available at all times. This has the advantage of being able to inform the public about recent pollutant exposure regardless of whether an episode is occurring and when the COMEAP recommended triggers have not been activated. This should enable susceptible members of the public to understand and manage their symptoms at all times.

However, it should be noted that running mean statistics should not be used for retrospective analysis of DAQI values as it is likely, for example, to overestimate the daily mean PM index values which are recommended to be reported by COMEAP. Data providers should make it clear which statistics are being used for public information and how they are calculated.



## Forecasts:

Forecasts should be made using the new DAQI averaging times. The trigger methodology offers new opportunities to supplement forecasts undertaken using deterministic modelling tools.

## UK-AIR

Defra implemented the Daily Air Quality Index on UK-AIR<sup>ix</sup> in January 2012. Simultaneously communicating retrospective exposure to inform the public of what has happened alongside what is expected to happen in the next 24 hours is a presentational challenge and something Defra is continually seeking to improve.

The four time-based scenarios are used as described below.

- **Retrospective concentrations** – measurement data including daily (midnight to midnight) DAQI averages for PM. Provides information about historical exposure and allows analysis of trends in the frequency of pollution episodes.
- **Recent concentrations** – near real time data including the 24 hour running mean to inform about the previous 24 hours exposure for PM, and higher resolution averaging times for other pollutants. Enables continuous provision of information.
- **Today's (calendar day) predicted concentrations** – triggers from measured data can be used to forewarn about episodes. This is a new way of using near real time measurement data to provide health relevant pollution information in the short term. Whilst Defra are not publishing trigger values explicitly on UK-AIR, Defra's forecasting team have recently adopted the triggers as an input to the production of the daily forecasts. Where triggers are activated and have not been forecast, updates are made to the UK-AIR forecast to alert the public to the changing situation. Analysis has shown that around 5% of forecasts during 2012 would have been improved through incorporation of the triggers. In particular where measured concentrations were elevated, the forecasts were most significantly improved; around 50% of the high or worse measured days were better predicted by incorporating triggers.
- **Tomorrow and future predicted concentrations** – modelled air pollution forecasts including DAQI midnight to midnight data for PM. To inform about potential future exposure and allow early interventions to reduce exposure. Air pollution forecasts are provided daily on UK-AIR, via email, Twitter and other dissemination channels, and use the DAQI averaging periods. Recent changes to the UK-AIR website include greater clarification on the applicability of the forecast for today – to capture the changing situation, tomorrow (midnight to midnight forecasts for the following day) and the longer term outlook. Day of the week is now specified to support this increased clarity, for example, "Forecast for Wednesday" in line with the DAQI.

## Implementation by others

New opportunities to provide air pollution information to the public are being opened up by smart phone applications, mobile phone push notifications and social media. An excessively prescriptive definition of the use of the DAQI may slow the uptake and use of the index and unnecessarily constrain creativity in conveying air pollution information to the public. However, by using the index information providers are taking a shared responsibility to ensure its continued credibility. Care has to be taken when using the index to ensure that it is calculated consistently between information providers and that misleading health advice is not given through incorrect reporting. This applies equally to those displaying exposure information based on measurements and those displaying forecasts. Core parts of the index should not be changed or altered. These include:

- The concentrations that determine the 1 to 10 index values and the bands; low, moderate, high and very high.
- The method of calculating the index values which needs to be done using the appropriate measurement methods and averaging periods.
- The associated health advice for each band.

Where these methods are not followed the information provider should not purport to be using the Daily Air Quality Index.

## Annex A: Model performance of each trigger and their respective Gilbert Skill Scores (GSS)

PM <sub>10</sub> trigger moderate or above at 51 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.533		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	14,165	8,556
	No	3,842	358,504

PM <sub>10</sub> trigger high or above at 76 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.348		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	1,552	2,135
	No	769	380,611

PM <sub>10</sub> trigger very high or above at 101 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.188		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	135	355
	No	193	384,384

PM <sub>2.5</sub> trigger moderate or above at 36 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.591		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	2,523	1162
	No	579	68,759

PM <sub>2.5</sub> trigger high or above at 54 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.442		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	419	379
	No	151	72,074

PM <sub>2.5</sub> trigger very high or above at 71 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.260		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	65	160
	No	25	72,773

O <sub>3</sub> trigger moderate or above at 101 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.791		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	32,927	2,358
	No	6,359	4,305,744

O <sub>3</sub> trigger high or above at 161 µg m <sup>-3</sup> GSS=0.726		Event observed	
		Yes	No
Event modelled	Yes	1,500	168
	No	398	4,345,322

## References

---

<sup>i</sup> [http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1317137023144](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317137023144)

<sup>ii</sup> [http://uk-air.defra.gov.uk/documents/Notification\\_of\\_changes\\_to\\_the\\_air\\_quality\\_index.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/documents/Notification_of_changes_to_the_air_quality_index.pdf)

<sup>iii</sup> [http://uk-air.defra.gov.uk/documents/Notification\\_of\\_changes\\_to\\_the\\_air\\_quality\\_index.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/documents/Notification_of_changes_to_the_air_quality_index.pdf)

<sup>iv</sup> European Commission (EC) 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. Commission of the European Community, Brussels.

<sup>v</sup> Green, D and Fuller, G.W., 2012. Characterising the PM climate in the UK for Equivalence Testing. King's College London. Available at [http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat13/1207190952\\_DefraCharacterisingThePMClimateInTheUKForEquivalenceTestingV3.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat13/1207190952_DefraCharacterisingThePMClimateInTheUKForEquivalenceTestingV3.pdf) Accessed 19/04/2013.

<sup>vi</sup> Green, D., Fuller, G., Barratt, B., 2001. Evaluation of TEOM 'correction factors' for assessing the EU stage 1 limit values for PM10. Atmospheric Environment 35, 2589-2593.

<sup>vii</sup> European Commission Decision 2011/850/EU –laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:335:0086:0106:EN:PDF>

<sup>viii</sup> Stephenson DB (2000). Use of the 'odds ratio' for diagnosing forecast skill. Weather Forecast, 15(2), 221–32.

<sup>ix</sup> <http://uk-air.defra.gov.uk/>



Tipo Norma :Decreto 113  
 Fecha Publicación :06-03-2003  
 Fecha Promulgación :06-08-2002  
 Organismo :MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA  
 Título :ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE AZUFRE (SO2)  
 Tipo Versión :Unica De : 06-03-2003  
 Inicio Vigencia :06-03-2003  
 Id Norma :208200  
 URL :http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=

#### ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE AZUFRE (SO2)

Núm. 113.- Santiago, 6 de agosto de 2002.- Vistos: Lo dispuesto en el artículo 19 N° 8 de la Constitución Política; en el artículo 32 de la ley 19.300; el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, aprobado por el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, que Reglamenta el Funcionamiento de los Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el Territorio de la República; la resolución N°1.215 de 1978 del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, que establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica; la resolución exenta N° 1.514 de 1999, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); ozono (O3) y dióxido de nitrógeno (NO2); la resolución exenta N° 915 de 2000, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); el análisis general del impacto económico y social de la norma señalada; las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; el acuerdo N°180 de 3 de mayo de 2001, del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de calidad; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo y lo dispuesto en la resolución N°520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución N° 55 de 1992, de la Contraloría General de la República.

#### Considerando:

Que de acuerdo con lo preceptuado en la ley 19.300, es deber del Estado dictar y revisar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente, de manera de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y períodos, un riesgo para la salud de las personas.

Que sobre la base de los antecedentes disponibles y que constan en el expediente público, se revisó la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre (SO2), contenida en la resolución 1.215 de 1978, del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud y en el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, en conformidad al procedimiento y los contenidos establecidos en el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Que el dióxido de azufre es un importante broncoconstrictor, desde los primeros minutos de exposición y su efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación, al respirar aire frío y seco y en personas con hiperreactividad bronquial.

Que la exposición a este contaminante puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas.

Que el dióxido de azufre se origina de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.), de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales.

Que el dióxido de azufre puede presentar efectos adicionales a los de salud tales como efectos sobre la vegetación, ecosistemas y materiales expuestos a este contaminante.

Que el dióxido de azufre es un precursor de aerosoles secundarios.

Que a objeto de estudiar los efectos que se producen en la salud de las personas, se requiere recopilar información sobre la incidencia y prevalencia de



asmáticos y los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre en periodos cortos de exposición.

Que la definición de niveles de emergencia ambiental tiene por objetivo proteger a la población en situaciones de excepción, de niveles de concentración que por su magnitud y periodo de exposición pueden producir efectos agudos sobre la población, especialmente la más sensible.

Para el caso de los niveles que definen situaciones de emergencia ambiental y por estar éstos vinculados desde el punto de vista conceptual a efectos agudos, no se establecen niveles de emergencia ambiental como concentración anual.

Que en nuestro país, las situaciones de emergencia ambiental están asociadas a niveles de exposición como concentración de 1 hora y se verifican principalmente en áreas circundantes a grandes megafuentes emisoras de SO<sub>2</sub>. En algunas de estas áreas se han registrado altos niveles de concentración de SO<sub>2</sub> en el aire, debido a la magnitud de las emisiones de estas megafuentes.

Que los niveles y periodo de exposición establecidos son los que hoy en día se encuentran vigentes en el marco del DS N°185 de 1991, del Ministerio de Minería. Para estos niveles, y en las áreas mencionadas, existen en aplicación planes operacionales para el control de los episodios críticos, en el contexto de planes de descontaminación vigentes.

D e c r e t o:

#### TITULO I

##### Disposiciones Generales y Definiciones

Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire.

Artículo 2.- Para efectos de lo dispuesto en la presente norma, se entenderá por:

a. ppbv: Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón.

b. Concentración de Dióxido de Azufre: Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o en microgramos por metro cúbico normal (ug/m<sup>3</sup>N).

La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celsius (25°C).

c. Concentración de 1 hora: Promedio aritmético de los valores de concentración de dióxido de azufre medidos en una 1 hora.

d. Concentración de 24 horas: Promedio aritmético de los valores de concentración de 1 hora de dióxido de azufre correspondientes a un bloque de 24 horas sucesivas, contadas desde las cero horas de cada día.

e. Concentración trimestral: Promedio aritmético de los valores de concentración de 24 horas de dióxido de azufre correspondientes a un periodo de tres meses sucesivos.

f. Concentración anual: Promedio aritmético de los valores de concentración trimestral de dióxido de azufre correspondientes a un año.

g. Año calendario: Periodo que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.

h. Estación monitora con representatividad poblacional para gas dióxido de azufre (EMRPG): Una estación de monitoreo que se encuentra localizada en un área habitada. Se entiende como área habitada, una porción del territorio donde vive habitual y permanentemente un conjunto de personas.

i. Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o ug/m<sup>3</sup>N más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_k < X_{n-1} < X_n$$

El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q \times n$ , donde "q" = 0.99 para el percentil 99, y "n" corresponde al número de datos de una serie.

El valor "k" se aproximará al número entero más próximo.





## TITULO II

## Nivel de Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre en Aire

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 31 ppbv (80 ug/m<sup>3</sup>N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar la concentración anual para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 4.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 96 ppbv (250 ug/m<sup>3</sup>N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 5.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración de una hora:

Nivel 1: 750 - 999 ppbv	(1.962 - 2.615 ug/m <sup>3</sup> N)
Nivel 2: 1.000 - 1.499 ppbv	(2.616 - 3.923 ug/m <sup>3</sup> N)
Nivel 3: 1.500 ppbv o superior	(3.924 ug/m <sup>3</sup> N o superior)

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre podrán ser obtenidos mediante la aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada por el Servicio de Salud respectivo en el marco del plan de prevención o de descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Para los efectos de lo señalado anteriormente, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad de aire a aquella que:

- a. Entregue un procedimiento mediante el cual es posible predecir la ocurrencia de alguno de los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre.
- b. Entregue el grado de confiabilidad de acuerdo a lo dispuesto en el respectivo plan de prevención o de descontaminación.
- c. Considere, además, los siguientes elementos:





- La zona geográfica de aplicación, y
- La evaluación y validación de la metodología de pronóstico.

d. Considere, según corresponda y la situación especial en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:

- Emisiones de dióxido de azufre,
- Condiciones meteorológicas,
- Condiciones topográficas,
- Procesos de acumulación y remoción de contaminantes

Para la aprobación de la metodología de pronóstico deberá considerarse como antecedente un informe técnico realizado por expertos nacionales o internacionales sobre la metodología de pronóstico.

La metodología de pronóstico aprobada por el Servicio de Salud mediante resolución fundada, deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial.

Se podrá omitir o dejar sin efecto una declaración de situación de emergencia ambiental si se detectare un cambio en las condiciones meteorológicas en forma posterior a la hora de comunicación del pronóstico o a la constatación de la superación de los niveles de calidad de aire, y siempre que dicho cambio asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad de aire que invalide los resultados entregados por el pronóstico o que asegure la reducción de los niveles de concentración de calidad de aire por debajo de aquellos que originan situaciones de emergencia ambiental.

Artículo 6.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los valores que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

Cuando el dióxido de azufre fuese precursor de otro contaminante normado, los planes de descontaminación o prevención que se establezcan para el control de este contaminante, podrán incluir medidas de reducción de emisiones del contaminante dióxido de azufre, independientemente del cumplimiento de las normas de calidad de aire que esta norma establece.

### TITULO III

#### Metodología de Medición de la Norma

Artículo 8.- La medición de la concentración de dióxido de azufre en el aire se realizará mediante uno cualesquiera de los siguientes métodos de medición:

- a. Fluorescencia ultravioleta;
- b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ y,
- c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 9.- Para efectos de cumplir con lo establecido en el artículo 13, podrán utilizarse técnicas de medición alternativas a las señaladas en el artículo precedente, las que deberán ser aprobadas por el Servicio de Salud respectivo. Para el monitoreo mediante estas técnicas se deberá considerar lo establecido en la letra (h) del artículo 2 del presente decreto.

### TITULO IV

#### Validación de la Información de Monitoreo de Calidad de Aire



Artículo 10.- Se considerará válida la concentración anual si, para cada uno de los trimestres de un año, se dispusiere de a lo menos un 75% de los datos de concentración de 24 horas para ese período.

Se considerará válido el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas en un año si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 24 horas para el período de un año, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un año (ciclo estacional).

Se considerará válida la concentración de 24 horas si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un período de 24 horas, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un día (ciclo diario).

En el evento de que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 1 hora, la concentración de 24 horas será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 24 horas, si, al reemplazar por cero los datos que faltaren para completar el 75% requerido, la concentración de 24 horas fuere mayor o igual al valor de la norma.

Si se dispusiere de datos de concentración de 1 hora para 18, 19, 20, 21, 22 o 23 horas, la concentración de 24 horas se calculará como el promedio aritmético de los datos de concentración de 1 hora disponibles, utilizando como divisor 18, 19, 20, 21, 22 o 23, según corresponda.

Se considerará válida la concentración de 1 hora si, a lo menos, se dispusiere de 30 minutos sucesivos de medición.

#### TITULO V

##### Fiscalización de la Norma

Artículo 11.- Corresponderá a los Servicios de Salud del país, y en la Región Metropolitana al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

#### TITULO VI

##### Implementación de la Norma

Artículo 12.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de seis meses, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, determinar mediante resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG.

Artículo 13.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de tres años, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, realizar un diagnóstico de la calidad de aire para dióxido de azufre según sus competencias territoriales.

Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible así como la que se genere a partir de organismos públicos y privados.

Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de dos años, contados desde que se disponga del diagnóstico, elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre.

Dicho programa deberá ser revisado periódicamente en función de los nuevos antecedentes de calidad de aire de que se disponga, los cuales deberán incorporar la información tanto pública como privada.

Artículo 14.- El monitoreo de la calidad de aire, según los métodos de medición señalados en los artículos octavo y noveno del presente decreto, deberá realizarse de acuerdo a las disposiciones establecidas por el Servicio de Salud respectivo, el que deberá considerar, cuando se encuentre disponible, lo que señale el manual de aplicación técnico de la norma.

El manual de aplicación técnico de la norma deberá ser elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 15.- Los Servicios de Salud respectivos deberán tener a disposición de la ciudadanía los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

#### TITULO VII

Generación de Antecedentes para la Regulación de Efectos Agudos



Artículo 16.- Los Servicios de Salud respectivos, en especial en aquellas localidades en las que existe población expuesta a altos niveles de concentración de dióxido de azufre en periodos cortos de exposición, deberán recopilar la siguiente información:

- Niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 5 minutos y una hora, a partir del monitoreo de la calidad de aire de dióxido de azufre.
- Incidencia y prevalencia de asma en la población.

#### TITULO VIII

##### Entrada en Vigencia

Artículo 17.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual y de 24 horas, así como los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental, entrarán en vigencia transcurridos tres años contados desde que entre a regir el presente decreto. Con igual fecha, entrarán en vigencia los incisos cuartos de los artículos tercero y cuarto del presente decreto.

Anótese, tómesese razón y publíquese.- RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- Mario Fernández Baeza, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Osvaldo Artaza Barrios, Ministro de Salud.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda atte. a Ud., Gonzalo Martner Fanta, Subsecretario General de la Presidencia de la República.



DECRETO ALCALDICIO N° 3437

QUINTERO, 26 ABO. 2014

VISTOS

*La Constitución Política de la República de Chile en su artículo N°19, inciso N°8, que menciona el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.*

CONSIDERANDO:

1. *Que la Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que la exposición a SO<sub>2</sub> puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas. En el caso de los efectos agudos, se ha reportado un amplio rango de efectos sobre la población asmática, la que probablemente constituye la población más sensible.*
2. *Que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) reporta que la exposición a dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias, particularmente en individuos con enfermedades respiratorias preexistentes, tales como asma.*
3. *Que la contaminación atmosférica se asocia a efectos nocivos en la salud humana que van desde efectos fisiopatológicos, aumentos de síntomas respiratorios, consultas diarias y hospitalizaciones a aumento de la mortalidad<sup>1</sup> y que la aparición de efectos sobre la salud de las personas debido a la contaminación atmosférica es una función compleja de variables dependientes de las características del huésped (susceptibilidad), de las características del medio y la interacción entre ellos que determina la exposición.*
4. *Los efectos de la exposición a dióxido de azufre, aparecen a los pocos minutos de ocurrida la exposición e incluyen reducción del volumen espiratorio forzado en*

<sup>1</sup> Vega J. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana. Evidencias de estudios recientes. Abril 2000. CONAMA. Expediente público rol NOR 01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad del aire para anhídrido sulfuroso, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno.



LA MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

*el primer segundo (VEF<sub>1</sub>), aumento de la resistencia de la vía aérea específica, y la aparición de síntomas como son disnea y sibilancias<sup>2</sup>.*

5. *Que las normas primarias de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población y que el D.S 113/2002 de la SEGPRES tiene por objetivo la protección de la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire comprendiendo por lo cual existe norma diaria (24 hrs.) y norma anual (tres años).*
6. *Que la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> no regula los niveles de concentración horaria pero que en el Artículo 5° del D.S 113/2002 de la SEGPRES, se establece los niveles que originarán de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración 1 hora de acuerdo a los siguientes niveles*  
*Nivel 1 : 1.962 - 2.615 µg/m<sup>3</sup>N*  
*Nivel 2 : 2.616 - 3.923 µg/m<sup>3</sup>N*  
*Nivel 3 : 3.924 µg/m<sup>3</sup>N ó superior.*
7. *Que de acuerdo al informe de calidad del aire periodo 2012 de la SEREMI de Salud Región de Valparaíso, la comuna de Quintero registra condición de Latencia para la norma diaria en la estación Centro Quintero con 229 µg/m<sup>3</sup>N como concentración diaria.*
8. *Que el artículo 6° de la Ley N° 19.880 Establece Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, Modifica el artículo 25 del decreto con fuerza de ley N° 1, de 2006, del Ministerio del Interior, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N° 18.695, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, en los siguientes términos:*  
*"d) Proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados con medio ambiente;*  
*e) Aplicar las normas ambientales a ejecutarse en la comuna que sean de su competencia,*
9. *Que la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional del Ministerio del interior, establece en su artículo N° 4, letra b), que "Las municipalidades, en el ámbito de su territorio, podrán desarrollar, directamente o con otros órganos de la*

<sup>2</sup> CONAMA. Expediente público rol NOR 01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad del aire para anhídrido sulfuroso, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno.



**MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO**

*Administración del Estado, funciones relacionadas con: La salud pública y la protección del medio ambiente;*

- 10. Que la definición de los niveles de Alerta Ambiental permite establecer recomendaciones a la población de la zona de Quintero inserta en los límites geográficos definidos en el Plan de Descontaminación Ventanas fijado mediante D.S 252/92 del Ministerio de Minería, en base a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.*
- 11. Que de acuerdo a los criterios indicados en el artículo anterior y que se encuentran señalados en el Protocolo de Alerta de la SEREMI de Salud en su página institucional.*

**DECRETO:**

**DEFÍNASE** el rango cualitativo de calidad del aire, que define cuatro estados de calidad del aire para  $SO_2$  como Buena, moderada, Alto, Muy Alto, para efectos de establecer protocolos preventivos de protección de Salud de la población vulnerable de la comuna de Quintero.

**APRUEBESE** en todas sus partes el protocolo sobre Medio Ambiente que regirá los Establecimientos Educativos Municipales de la Comuna de Quintero y Jardines Infantiles administrados por la Entidad Edilicia, estableciendo los siguientes criterios para 15 minutos:

- a) **Buena ó Nivel Bajo (rango cuantitativo entre 0- 265  $\mu g/m^3N$ ):** Las concentraciones de  $SO_2$  se encuentran dentro de rangos normales por lo que no existen restricciones de actividad física para ningún grupo de la población.
- b) **Moderado ó Nivel Moderado (rango cuantitativo entre 266-531  $\mu g/m^3N$ ):** Establece niveles de concentración de cuidado para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se recomendará reducir la actividad física extenuante al aire libre.
- c) **Nivel Alto (rango cuantitativo entre 532-1.063  $\mu g/m^3N$ ):** Establece niveles de concentración de crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Se deberá reducir el esfuerzo físico y la actividad física al aire libre. La población no



000278

VTA.




*vulnerable que experimente molestias asociadas a ardor ocular, tos o dolor de garganta, debe considerar la reducción de esfuerzo físico al aire libre y asistir al centro asistencial.*


- d) Nivel Muy Alto (rango cuantitativo entre 1.064 µg/m<sup>3</sup>N ó más) Establece niveles de concentración de muy crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Toda la población debe evitar realizar actividad física al aire libre, en especial si presenta molestias como ardor ocular, tos o dolor de garganta. y asistir al centro asistencial.*

*Se sugiere el cierre de puertas y ventanas hasta que mejoren las condiciones de ventilación local.*

**DISTRIBÚYASE** el presente decreto alcaldicio en los Establecimientos Educativos y Jardines Infantiles con administración municipal y en cada una de las Unidades Municipales.

*Anótese, regístrese, cúmplase y archívese.*

  
YESMINA GUERRA SANTIBAÑEZ  
SECRETARIA MUNICIPAL

  
ALCALDIA ROLANDO CARRASCO PARDO  
ALCALDE

**DISTRIBUCIÓN:**

- 1.- Alcaldía
- 2.- Secretaria Municipal
- 3.- DAEM
- 4.- Administración (2)

MCP/YGS/RCC/vmg

**Minuta****Valores norma: revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).****1. Antecedentes**Antecedentes Nacionales:

En Chile, la primera norma de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se establece en el año 1978 con la Resolución N°1215 del Ministerio de Salud, que define una norma anual de 80 µg/Nm<sup>3</sup> y de 24 horas en 365 µg/Nm<sup>3</sup>.<sup>1</sup> Posteriormente, el Decreto Supremo N°185 del Ministerio de Minería de 1991, mantiene en el artículo 14 el valor anual en 80 µg/Nm<sup>3</sup> y de 24 horas en 365 µg/Nm<sup>3</sup>.<sup>2</sup>

El primer proceso de revisión de las normas primarias de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) da como resultado el Decreto Supremo N°113/2003 del MINSEGPRES, donde el artículo 3 mantiene la norma anual en 80 µg/Nm<sup>3</sup> y el artículo 4 establece una norma de 24 horas en 250 µg/Nm<sup>3</sup>.<sup>3</sup>

La excedencia en el caso de la norma anual corresponde al promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos y en el caso de la norma de 24 horas corresponde al promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario.

Actualmente Chile, en su norma primaria de calidad para dióxido de azufre (D.S. N°113/2003, MINSEGPRES) no cuenta con norma horaria, pero si existe una definición de norma horaria en el D.S. N°22/2010, MINSEGPRES (norma secundaria para dióxido de azufre), estableciendo el valor de 1000 µg/Nm<sup>3</sup> (382 ppb) para la zona norte y 700 µg/Nm<sup>3</sup> (268 ppb) para la zona sur.<sup>4</sup>

**Evolución de la norma primaria de SO<sub>2</sub> en Chile**

	1978	1991	2003
	Resolución N°1.215 del Ministerio de Salud	Decreto Supremo N°185 del Ministerio de Minería	Decreto Supremo N°113 del MINSEGPRES
<b>Estándar Anual</b>	80 µg/m <sup>3</sup>	Se mantiene	Se mantiene
<b>Estándar 24 horas</b>	365 µg/m <sup>3</sup>	365 µg/m <sup>3</sup>	250 µg/m <sup>3</sup>

**Figura 1: Evolución de la norma primaria de dióxido de azufre en Chile.**

Fuente: Elaborado por el Departamento de Normas, de la División de Calidad del Aire, del Ministerio del Medio Ambiente a partir de:

1. Resolución N°1215, 1978, Ministerio de Salud
2. Decreto Supremo N°185, 1991, Ministerio de Minería
3. Decreto Supremo N°113, 2003, Ministerio Secretaría General de la Presidencia

<sup>1</sup> Resolución N°1215, 1978, Ministerio de Salud, <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1029027>

<sup>2</sup> Decreto Supremo N°185, 1991, Ministerio de Minería, <http://www.leychile.cl/N?i=10631&f=2010-06-01&p=>

<sup>3</sup> Decreto Supremo N°113, 2003, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, <http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=>

<sup>4</sup> Decreto Supremo N°22, 2010, Ministerio Secretaría General de la Presidencia, <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1012498>



Antecedentes Internacionales:

## a. Estados Unidos:

En 1971, Estados Unidos establece la norma anual de dióxido de azufre anual en 0,03 ppm ( $80 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) y para 24 horas en 0,14 ppm ( $365 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ). En 1996, se revisa la norma de dióxido de azufre, pero se decide mantenerlos. Sin embargo, la Asociación Americana del Pulmón (The American Lung Association) demanda al Estado por no proteger al grupo sensible de asmáticos de los efectos en salud del dióxido de azufre. La corte de justicia falla en favor de la Asociación y le exige a la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) definir una norma para proteger a los grupos sensibles en períodos de corta duración. Finalmente, en el año 2010 se establece una norma de 1 hora de dióxido de azufre en 75 ppb ( $197 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), eliminando la norma anual y de 24 horas. En la tabla 1 se muestran los valores norma del dióxido de azufre de Estados Unidos.

Tabla 1: Valores norma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en Estados Unidos.<sup>5</sup>

Contaminante	Período	Valor		Excedencia
		(ppb)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	Anual	---	---	---
	24 horas	---	---	---
	1 hora	75	197	Promedio de 3 años del Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora máximas diarias

## b. Unión Europea:

En el 2001, surge en la Unión Europea la Directiva Nacional de Emisión (Directiva 2001/81/CE), actualizándose en la Directiva 2008/50/CE. El valor norma del dióxido de azufre para 24 horas corresponde a  $125 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  y el valor norma del dióxido de azufre para 1 hora corresponde a  $350 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . En la tabla 2 se muestran los valores norma del dióxido de azufre de la Unión Europea.

Tabla 2: Valores norma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en Unión Europea.<sup>6</sup>

Contaminante	Período	Valor		Excedencia
		(ppb)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	Anual	---	---	---
	24 horas	48	125	3
	1 hora	134	350	24

<sup>5</sup> [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_history.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_history.html)<sup>6</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:Es:PDF>

c. **Canadá:**

En Canadá, los objetivos nacionales de calidad del aire (National Ambient Air Quality Objectives , NAAQO) fueron establecidos en 1970. NAAQO es un sistema en el cual se definen tres niveles: deseable, aceptable y tolerable; cada nivel tiene una concentración específica y un período por contaminante. Además de los NAAQO, las provincias canadienses tienen sus propios objetivos o niveles ambientales que se establecen normalmente teniendo en cuenta el impacto de las concentraciones del SO<sub>2</sub> en el público en general y en los ecosistemas. En la tabla 3 se muestran los valores norma del dióxido de azufre para distintos territorios de Canadá.

**Tabla 3: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Canadá.**<sup>7</sup>

Territorio	Concentración SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						Comentarios
	Período promedio						
	4 minutos	1 hora	3 horas	24 horas	30 días	Anual	
Canadá	---	450	---	150	---	30	Máximo deseable
	---	900	---	300	---	60	Máximo aceptable
	---	---	---	800	---	---	Máximo tolerable
British Columbia	---	450	375	160	---	25	Nivel A
	---	900	665	260	---	50	Nivel B
	---	900	---	360	---	80	Nivel C
Alberta	---	450	---	125	30	20	---
Saskatchewan	---	450	---	150	---	30	---
Manitoba	---	450	---	150	---	30	Máximo deseable
	---	900	---	300	---	60	Máximo aceptable
	---	---	---	800	---	---	Máximo tolerable
Ontario	---	690	---	275	---	55	---
Quebec	1.050	---	---	288	---	52	---
Nova Scotia	---	900	---	300	---	60	---
New Brunswick	---	900	---	300	---	60	---
Prince Edward Island	---	900	---	300	---	60	---
Newfoundland	---	900	600	300	---	60	---
Yukon	---	450	---	150	---	30	---
Northwest Territories	---	450	---	150	---	30	---

<sup>7</sup> Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review, Metro Vancouver, Diciembre 2013, página 7.

(<http://www.metrovancouver.org/services/air-quality/AirQualityPublications/2013Dec23-SO2LiteratureReview.pdf>)

## d. Perú:

A fines de la década del 90, en Perú se establecen los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA). Luego, en el 2001, se aprobaron los primeros Estándares de Calidad Ambiental en el aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el valor de 24 horas era 365 µg/Nm<sup>3</sup> y el valor anual de 80 µg/Nm<sup>3</sup>.

A partir del año 2008, cuando el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) entra en funcionamiento, se aprueban nuevos Estándares de Calidad Ambiental de dióxido de azufre para todo el país, estableciendo que a partir del 1 de enero del 2009 el valor de 24 horas será de 80 µg/Nm<sup>3</sup> y que a partir del 1 de enero del 2014 el valor de 24 horas será de 20 µg/Nm<sup>3</sup>, el valor Estándar de Calidad Ambiental para SO<sub>2</sub> anual se elimina (D.S. N° 003-2008-MINAM).

Posteriormente, MINAM en el año 2013 establece normas complementarias (D.S. N° 006-2013-MINAM) donde se señala que el valor de 20 µg/Nm<sup>3</sup> es obligatorio para todo el territorio nacional excepto en algunas zonas, las que comprenden principalmente las ciudades de Ilo, La Oroya y Arequipa. En la tabla 4 se muestran los valores norma del dióxido de azufre en Perú.

**Tabla 4: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Perú según D.S. N° 003-2008-MINAM.<sup>8</sup>**

Contaminante	Período	Valor (entrada en vigencia, 1 enero del 2009)		Valor (entrada en vigencia, 1 enero del 2014)	
		(ppb)	(µg/m <sup>3</sup> )	(ppb)	(µg/m <sup>3</sup> )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	---	---	---	---
	24 horas	31	80	8	20
	1 hora	---	---	---	---

## e. Japón:

La contaminación del aire ha sido un punto de preocupación en la sociedad japonesa desde la década del 30. En 1968, la Ley de Control de la Contaminación del Aire (Air Pollution Control Act) fue promulgada, y un año después se establecieron las primeras normas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). En la tabla 5 se muestran los actuales valores norma del dióxido de azufre en Japón.

**Tabla 5: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Japón.<sup>9</sup>**

Contaminante	Período	Valor	
		(ppb)	(µg/m <sup>3</sup> )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	---	---
	24 horas	40 <sup>(*)</sup>	105
	1 hora	100 <sup>(*)</sup>	262

(\*) Desde el 16 de Mayo de 1973.

<sup>8</sup> <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/D.S.-N%C2%80-003-2008-MINAM-Est%C3%A1ndares-de-Calidad-Ambiental-para-Aire.pdf>

<sup>9</sup> Ministerio del Medio Ambiente de Japón, <http://www.env.go.jp/en/air/aaq/aaq.html>

f. **China:**

Desde 1982, China ha regulado la calidad del aire, cuando se establecieron límites iniciales para las partículas totales en suspensión (PTS), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), plomo (Pb) y benzopireno (BaP).

En 1996, se establecen normas nacionales para regular la calidad del aire (GB3095-1996), las cuales fueron revisadas en el año 2000 (MEP Announcement [2000]), los valores norma de ese momento para el dióxido de azufre se muestran en la tabla 6.

En febrero del 2012, China lanzó nuevas normas de calidad del aire (GB3095-2012). Las nuevas normas entran en vigencia en todo el país el año 2016, pero la implementación de las nuevas normas será en forma gradual desde el 2012 al 2016 para las regiones de China de la siguiente forma:

- 2012: Ciudades principales, incluyendo las ciudades de Beijing-Tianjin-Hebei, Delta del Río Yangtze, y las regiones del delta del río Perla, y capitales de provincia.
- 2013: Ciudades importantes en la protección del medio ambiente.
- 2015: Todas las ciudades a nivel de prefectura.
- 2016: Aplicación a nivel nacional.

Las normas actuales de calidad del aire de China incluyen dos clases de valores límites, la primera clase son valores que se aplican en lugares especiales, tales como parques nacionales (zonas prístinas) y la segunda clase son valores que se aplican a todas las demás áreas, incluidas las zonas urbanas e industriales. Las versiones anteriores de la norma (GB3095-1996) incluyen una tercera clase, correspondiente a zonas industriales especiales, pero esta clase fue eliminada en la norma del 2012 (GB 3095-2012). En la tabla 7 se muestran los nuevos valores norma del dióxido de azufre en China.

**Tabla 6: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en China según GB3095-1996.**<sup>10</sup>

Contaminante	Período	Valor		
		Clase I <sup>(a)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Clase II <sup>(b)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Clase III <sup>(c)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	20	60	100
	24 horas	50	150	250
	1 hora	150	500	700

(a) Clase I: zonas prístinas especiales.

(b) Clase II: zonas urbanas.

(c) Clase III: zonas industriales especiales.

**Tabla 7: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en China según GB3095-2012.**<sup>11</sup>

Contaminante	Período	Valor	
		Clase I <sup>(i)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Clase II <sup>(ii)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	20	60
	24 horas	50	150
	1 hora	150	500

(i) Clase I: zonas prístinas especiales.

(ii) Clase II: zonas urbanas e industriales.

<sup>10</sup> [http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqjhb/dqjzlbz/199612/t19961206\\_67502.htm](http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqjhb/dqjzlbz/199612/t19961206_67502.htm)

<sup>11</sup> <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqjhb/dqjzlbz/201203/W020120410330232398521.pdf>

## g. México:

En México, la calidad del aire a nivel federal está regulada por el Ministerio de recursos naturales y del medio ambiente de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En 1993, la SEMARNAT emitió una serie de normas oficiales mexicanas (NOM), que regulan las concentraciones máximas de contaminantes ambientales. En el caso del dióxido de azufre la última revisión es la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, la cual establece lo siguiente: (i) el valor norma del dióxido de azufre para un período anual corresponde a 25 ppb (equivalente a 66  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), (ii) el valor norma del dióxido de azufre para un período de 24 horas corresponde a 110 ppb (equivalente a 288  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), (iii) el valor norma del dióxido de azufre para un período de corta duración corresponde a 200 ppb (equivalente a 524  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ). En la tabla 8 se muestran los valores norma del dióxido de azufre en México.

Tabla 8: Valores norma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en México.<sup>12</sup>

Contaminante	Período	Valor		Excedencia
		(ppb)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	Anual	25	66	No permite superar
	24 horas	110	288	Permite superar 1 vez al año
	8 horas	200	524	No permite superar
	1 hora	200	524	Permite superar 2 vez al año

## h. Australia:

En 1998, Australia a través del Consejo Nacional de Protección del Medio (NEPC) aprobó las primeras normas de calidad del aire como parte de las medidas de protección nacional para la calidad del aire (NEPM, National Environment Protection Measure), las que establecen normas nacionales para los seis contaminantes atmosféricos a los cuales se exponen los australianos: monóxido de carbono (CO), ozono ( $\text{O}_3$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), plomo (Pb) y partículas ( $\text{MP}_{10}$ ).

En 2003, atendiendo las recomendaciones de un informe consultivo encargado por el gobierno, se añadió una norma de partículas finas ( $\text{MP}_{2.5}$ ).

Las normas de calidad del aire ambiente de Australia se establecieron sobre la base de estudios científicos de la calidad del aire y la salud humana de todo el mundo, así como las recomendaciones establecidas por otras organizaciones, como la Organización Mundial de la Salud.

Para el caso del dióxido de azufre, los actuales valores norma se muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Valores norma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en Australia.<sup>13</sup>

Contaminante	Período	Valor		Excedencia
		(ppb)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	Anual	20	52	No se permiten superaciones
	24 horas	80	210	Se permite superar 1 día al año
	1 hora	200	524	Se permite superar 1 día al año

<sup>12</sup> <http://www.ni.gob.mx/servicios/normas-ambientales-de-calidad-del-aire>

<sup>13</sup> <http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-quality-standards>,

<http://www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-national-standards-criteria-air-pollutants-australia>

i. **Corea del Sur:**

En Corea del Sur, la regulación de contaminantes criterios se remonta al año 1978, cuando se estableció originalmente una norma para dióxido de azufre. En la tabla 10 se muestran los actuales valores norma del dióxido de azufre en Corea del Sur.

**Tabla 10: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Corea del Sur.**<sup>14</sup>

Contaminante	Período	Valor	
		( ppb )	( µg/m <sup>3</sup> )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	20	52
	24 horas	50	131
	1 hora	150	393

j. **Tailandia:**

En el caso de Tailandia los valores de la norma para dióxido de azufre se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11: Valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en Tailandia.**<sup>15</sup>

Contaminante	Período	Valor	
		( ppb )	( µg/m <sup>3</sup> )
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Anual	40	100
	24 horas	120	300
	1 hora	300	780

<sup>14</sup> <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=253&findDepth=1>

<sup>15</sup> [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_airsnd01.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html)

## 2. Comparación entre los valores norma utilizados a nivel internacional

La comparación de los valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de la actual norma primaria chilena (D.S. N°113/2003 del MINSEGPRES) con los valores norma de otros países y las sugerencias de la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se puede apreciar en la tabla N°12.

**Tabla N°12: Comparación entre los valores norma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Organismo/País	10 minutos	1 hora	24 horas	Anual
	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )	(µg/m <sup>3</sup> )
Organización Mundial de Salud (OMS)	500	--	20	--
OMS - Objetivo Intermedio 1	--	--	125	--
OMS - Objetivo Intermedio 2	--	--	50	--
Estados Unidos (primaria)	--	197	--	--
Comunidad Europea (primaria)	--	350	125	--
Canadá (máximo deseable)	--	450	150	30
Canadá (máximo aceptable)	--	900	300	60
Canadá (máximo tolerable)	--	--	800	--
Australia	--	524	210	52
Japón	--	262	105	--
Corea del Sur	--	393	131	52
Tailandia	--	780	300	100
China I (zonas prístinas, 2016)	--	150	50	20
China II (zonas urbanas e industriales, 2016)	--	500	150	60
México	--	524	288	66
Perú (antes 2014)	--	--	80	--
Perú (después 2014)	--	--	20	--
<b>Chile primaria (actual, D.S. N°113/2003)</b>	--	--	<b>250</b>	<b>80</b>
Chile secundaria (D.S. N°22/2010) zona norte	--	1.000	365	80
Chile secundaria (D.S. N°22/2010) zona sur	--	700	260	60

Fuente: Elaborado por el Departamento de Normas, de la División de Calidad del Aire, del Ministerio del Medio Ambiente a partir de la información del capítulo de antecedentes de esta minuta.

## 2.1. Consideraciones para la propuesta de 3 escenarios regulatorios:

### a) ¿Mantener, reducir o eliminar la norma anual?

Para considerar la eliminación de la norma anual, es necesario que el valor norma de 24 horas o el valor norma de 1 hora sean bajos para así asegurar la salud de la población de los efectos crónicos por dióxido de azufre. La regulación de Estados Unidos considera este criterio y es razonable analizar un escenario semejante (Escenario 1).

En la tabla N°12, se puede apreciar que la tendencia de la norma anual de varios países de diferente desarrollo como Canadá, México, Australia, Corea del Sur y China, es semejante al valor de  $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Adicionalmente, la norma secundaria de dióxido de azufre define una norma anual de  $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .

Por lo anterior, la actual norma anual de  $80 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  se considera insuficiente para proteger la salud de las personas para los efectos crónicos por dióxido de azufre. Por lo tanto, es necesario avanzar al siguiente valor de  $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (Escenario 2 y 3).

### b) ¿Mantener o reducir la norma de 24 horas?

Para considerar la eliminación de la norma de 24 horas, es necesario que el valor norma de 1 hora sea bajo para así asegurar la salud de la población de los efectos crónicos por dióxido de azufre. La regulación de Estados Unidos considera este criterio y es razonable analizar un escenario semejante (Escenario 1).

Actualmente en Chile, la norma de 24 horas para dióxido de azufre corresponde a  $250 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , valor que se considera insuficiente para proteger la salud de las personas de los efectos crónicos por dióxido de azufre. Por lo tanto, es necesario avanzar al objetivo intermedio 1 para dióxido de azufre (Escenario 2,  $125 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o al valor norma de la Comunidad Europea. Adicionalmente, se considera un valor intermedio entre el valor actual y el objetivo intermedio 1 (Escenario 3,  $150 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), valor adoptado por países como Canadá y China.

### c) ¿Introducir un valor de concentración de 1 hora?

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda incorporar en la normativa de los países un valor norma que proteja la salud de las personas de los efectos agudos por dióxido de azufre, actualmente Chile no cuenta con una norma de 1 hora.

La regulación de Estados Unidos considera un valor norma de 1 hora de  $197 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (75 ppb) y es razonable analizar un escenario semejante (Escenario 1).

Otro escenario razonable a considerar es de la Comunidad Europea de  $350 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (Escenario 2).

Finalmente, un valor a considerar es el recomendado por la OMS, es decir,  $500 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (Escenario 3), pero para el período de 1 hora, semejantes valores de norma han sido adoptados en países como Canadá, Australia, México y China.

En la tabla N°13 se resumen los escenarios regulatorios propuestos para la revisión de la norma primaria de dióxido de azufre.



Tabla N°13: Propuesta de valores norma para los escenarios regulatorios en  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 

	Anual $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ppb)	24 horas $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ppb)	1 hora $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (ppb)	Observación
Norma actual D.S. N°113/2003, MINSEGPRES	80 (31)	250 (95)	--	- El valor actual de 24 horas es el doble del valor del objetivo intermedio 1 de la OMS.
Escenario 1	---	---	197 (75)	- 1 hora: equivalente al valor de la regulación de Estados Unidos desde el año 2010. En esta regulación se elimina el valor anual y de 24 horas. - Durante el proceso de la regulación se consideró el rango entre 50 y 100 ppb.
Escenario 2	60 (23)	125 (48)	350 (134)	- Anual: equivalente al valor de Canadá (máximo aceptable) y China para zonas urbanas, también es muy semejante al valor de Australia, Corea del Sur y México. Adicionalmente, este valor se encuentra en la norma secundaria de dióxido de azufre. - 24 horas: equivalente al valor del objetivo intermedio 1 de la OMS y el valor de la Comunidad Europea (27 países) desde el año 2005. - 1 hora: equivalente al valor de la Comunidad Europea (27 países) desde el año 2005.
Escenario 3	60 (23)	150 (57)	500 (191)	- Anual: equivalente al valor de Canadá (máximo aceptable) y China para zonas urbanas, también es muy semejante al valor de Australia, Corea del Sur y México. Adicionalmente, este valor se encuentra en la norma secundaria de dióxido de azufre. - 24 horas: equivalente al valor de Canadá (máximo deseable) y China para zonas urbanas, - 1 hora: valor semejante al considerado por Australia, México y China para zonas urbanas.

Nota: Dióxido de azufre 1 ppb =  $2,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $25^\circ\text{C}$  y 1 atm.

**Anexo I: Referencias de la minuta valores norma, revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

A continuación se listan las referencias de la información utilizada para confeccionar la minuta de valores norma para dióxido de azufre:

Organización Mundial de la Salud (OMS)

1. Guía de Calidad del Aire, 2005, página 19.

Chile

2. Resolución N°1215, 1978, Ministerio de Salud.
3. Decreto Supremo N°185, 1991, Ministerio de Minería.
4. Actual norma primaria de calidad del aire.  
Decreto Supremo N°113, 2003, Ministerio Secretaria General de la Presidencia.
5. Actual norma secundaria de calidad del aire.  
Decreto Supremo N°22, 2010, Ministerio Secretaria General de la Presidencia.

Estados Unidos

6. Cuadro que resume la historia de la norma primaria y secundaria de calidad del aire para dióxido de azufre en Estados Unidos, United State Environmental Protection Agency (USEPA).
7. Actual norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre en Estados Unidos (Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide; Final Rule).
8. Documento de la corte de apelaciones de los Estados Unidos donde se refiere al proceso judicial emprendido por la Asociación Americana del Pulmón de los Estados Unidos (American Lung Association) contra la USEPA.

Comunidad Europea

9. Directiva de la Comunidad Europea (Directiva 2001/81/CE).
10. Directiva de la Comunidad Europea relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa (Directiva 2008/50/CE).

#### Canadá

11. Revisión de la información con respecto a normas de calidad del aire para dióxido de azufre, enfocado principalmente a las provincias de Canadá. Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review, Metro Vancouver, Diciembre 2013, página 7.

#### Perú

12. Estándares de calidad Ambiental para Aire, Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, Ministerio del Ambiente del Perú.

13. Disposiciones complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire, Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, Ministerio del Ambiente del Perú.

#### Japón

14. Estándar de Calidad Ambiental en el aire en Japón, web del Ministerio del Medio Ambiente del Japón ( <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html> ).

#### China

15. Estándar de Calidad Ambiental en China (GB3095-2012).

16. Wang S., Hao J, 2012. Air quality management in China: Issues, challenges, and options.

17. Zhao J., 2013. Country report: the people's Republic of China.

#### México

18. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre. Valor normado para la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

#### Australia

19. Estándar de calidad del aire en Australia  
( <http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-quality-standards> )

#### Corea del Sur

20. Estándar de calidad del aire de Corea del Sur.  
( <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=253&findDepth=1> )

## GUÍAS DE CALIDAD DEL AIRE DE LA OMS

A continuación se adjunta las guías de calidad del aire de la OMS del año 2005, que tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. En este documento se presentan los valores guías revisados para los contaminantes más frecuentes del aire, estos son: material particulado respirable, material particulado fino, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, tomando como base pruebas científicas acumuladas.

000285

VT1

**Guías de calidad  
del aire de la OMS  
relativas al material particulado,  
el ozono, el dióxido de nitrógeno  
y el dióxido de azufre**

*Actualización mundial 2005*

**Resumen de evaluación  
de los riesgos**



**Organización  
Mundial de la Salud**

000286

VTA.

**Guías de calidad del aire de la OMS  
relativas al material particulado,  
el ozono, el dióxido de nitrógeno  
y el dióxido de azufre**

**Actualización mundial 2005**



**Organización  
Mundial de la Salud**



000287

VIA.

**© Organización Mundial de la Salud, 2006**

Se reservan todos los derechos. Las publicaciones de la Organización Mundial de la Salud pueden solicitarse a Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (tel.: +41 22 791 3264; fax: +41 22 791 4857; correo electrónico: [bookorders@who.int](mailto:bookorders@who.int)). Las solicitudes de autorización para reproducir o traducir las publicaciones de la OMS - ya sea para la venta o para la distribución sin fines comerciales - deben dirigirse a Ediciones de la OMS, a la dirección precitada (fax: +41 22 791 4806; correo electrónico: [permissions@who.int](mailto:permissions@who.int)).

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan de manera aproximada fronteras respecto de las cuales puede que no haya pleno acuerdo.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Mundial de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan letra inicial mayúscula.

La Organización Mundial de la Salud ha adoptado todas las precauciones razonables para verificar la información que figura en la presente publicación, no obstante lo cual, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni explícita ni implícita. El lector es responsable de la interpretación y el uso que haga de ese material, y en ningún caso la Organización Mundial de la Salud podrá ser considerada responsable de daño alguno causado por su utilización.

---

Prefacio _____	5
Función de las guías en la protección de la salud pública _____	7
Guías de calidad del aire y su fundamento _____	9
Ozono _____	14
Dióxido de nitrógeno _____	17
Dióxido de azufre _____	19
Referencias _____	21

000288

VTA

## Prefacio

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo<sup>1</sup>.

Las guías de calidad del aire de la OMS tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. Estas guías, publicadas por primera vez en 1987<sup>2</sup> y actualizadas en 1997<sup>3</sup>, se basan en la evaluación por expertos de las pruebas científicas del momento. Dada la abundancia de nuevos estudios sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud que se han incorporado a la bibliografía científica desde la conclusión de la segunda edición de la publicación *Air quality Guidelines for Europe* (Guías de calidad del aire para Europa), en particular las nuevas investigaciones, de gran importancia, de los países de ingresos bajos y medianos, donde la contaminación del aire alcanza su nivel máximo, la OMS ha comenzado a estudiar las pruebas científicas acumuladas y examinar sus repercusiones para sus guías de calidad del aire. El resultado de dicha labor se presenta en este documento en forma de valores guía revisados para determinados contaminantes del aire, que son aplicables a todas las regiones de la OMS. Las presentes guías tienen por objeto informar a los encargados de la formu-

lación de políticas y proporcionar objetivos apropiados para una amplia variedad de opciones en materia de políticas en relación con la gestión de la calidad del aire en diferentes partes del mundo.

La nueva información incluida en esta última actualización de las *Guías de calidad del aire* se refiere a cuatro contaminantes comunes del aire: material particulado (MP), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El ámbito de este examen pone de manifiesto la disponibilidad de nuevas pruebas sobre los efectos de los mencionados contaminantes en la salud y su importancia relativa con respecto a los efectos presentes y futuros de la contaminación del aire en la salud en cada una de las regiones de la OMS. Para los contaminantes del aire no examinados en el presente documento siguen siendo válidas las conclusiones presentadas en las guías de calidad del aire para Europa<sup>3</sup> de la OMS.

El proceso que llevó a la presente revisión de las guías de calidad del aire se resume en el informe de la reunión del Grupo de Trabajo de la OMS que se celebró en Bonn del 18 al 20 de octubre de 2005<sup>4</sup>. En este informe figura una lista de los miembros del Grupo de Trabajo que examinaron las pruebas disponibles y que recomendaron los valores guía que se presentan aquí. A finales de 2006 se publicará un informe completo, que incluirá una evaluación detallada de las pruebas científicas disponibles, así como los capítulos introductorios revisados de las *Guías de calidad del aire* de la OMS.

- 1 Informe sobre la salud en el mundo 2002. Reducir los riesgos y promover una vida sana. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2002.
- 2 Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 1987 (WHO Regional Publications, European Series, N° 23).
- 3 Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, N° 91).

- 4 Disponible en <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>.

000289

## **Función de las guías en la protección de la salud pública**

Las guías de calidad del aire (GCA) de la OMS están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Por otra parte, cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales. Las normas nacionales varían en función del enfoque adoptado con el fin de equilibrar los riesgos para salud, la viabilidad tecnológica, los aspectos económicos y otros factores políticos y sociales de diversa índole, que a su vez dependerán, entre otras cosas, del nivel de desarrollo y la capacidad nacional en relación con la gestión de la calidad del aire. En los valores guía recomendados por la OMS se tiene en cuenta esta heterogeneidad y se reconoce, en particular, que cuando los gobiernos fijan objetivos para sus políticas deben estudiar con cuidado las condiciones locales propias antes de adoptar las guías directamente como normas con validez jurídica.

Las GCA de la OMS se basan en el conjunto, ahora amplio, de pruebas científicas relativas a la contaminación del aire y sus consecuencias para la salud. Si bien esta base de información tiene lagunas e incertidumbres, constituye un fundamento sólido para las guías recomendadas. Merecen especial atención varios resultados básicos que han surgido en los últimos años. En primer lugar, las pruebas para el ozono (O<sub>3</sub>) y el material particulado (MP) indican que hay riesgos para la salud con las concentraciones que hoy se observan en numerosas ciudades de los países desarrollados. Además, hay que subrayar que los valores guía que se proporcionan aquí no pueden proteger plenamente la salud humana, porque en las investigaciones no se han identificado los umbrales por debajo de los cuales no se producen efectos adversos.

En segundo lugar, se ha vinculado a la contaminación del aire una gama creciente de efectos adver-

sos para salud, y en concentraciones cada vez más bajas. Esto es aplicable en particular al material particulado suspendido en el aire. En los nuevos estudios se utilizan métodos más refinados e indicadores más sutiles, pero sensibles, de los efectos, como las medidas fisiológicas (por ejemplo, cambios en la función pulmonar, marcadores de la inflamación). Por consiguiente, las guías actualizadas podrían basarse en estos indicadores sensibles, además de hacerlo en los indicadores más críticos de la salud de la población, como la mortalidad y las hospitalizaciones imprevistas.

En tercer lugar, a medida que ha mejorado nuestro conocimiento de la complejidad de la mezcla de contaminantes en el aire se han puesto cada vez más de manifiesto las limitaciones del control de la contaminación del aire mediante guías para contaminantes aislados. Por ejemplo, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un producto derivado de los procesos de combustión y se suele encontrar en la atmósfera íntimamente asociado con otros contaminantes primarios, como las partículas ultrafinas. Es de por sí tóxico y también es precursor del ozono, con el que coexiste junto con varios otros oxidantes generados en procesos fotoquímicos. Las concentraciones de NO<sub>2</sub> muestran con frecuencia una fuerte correlación con las de otros contaminantes tóxicos y, dado que es más fácil de medir, a menudo se utiliza en lugar de la mezcla completa. Por tanto, la obtención de concentraciones guía para un solo contaminante, como el NO<sub>2</sub>, puede aportar beneficios para la salud pública superiores a los previstos sobre la base de las estimaciones de la toxicidad de un solo contaminante.

En la presente revisión de las guías de calidad del aire para Europa de la OMS se dan nuevos valores guía de tres de los cuatro contaminantes examinados. Para dos de ellos (el material particulado y el ozono) es posible derivar una relación cuantitativa entre la concentración del contaminante obtenida en el aire ambiente y los resultados específicos en la salud (normalmente mortalidad). Estas relacio-

nes tienen un valor incalculable para las evaluaciones de los efectos en la salud y permiten conocer la carga de mortalidad y morbilidad de los niveles presentes de contaminación del aire, así como las mejoras de la salud que cabría esperar con distintas hipótesis de reducción de dicha contaminación. Las estimaciones de la carga de enfermedad también se pueden utilizar para calcular los costos y los beneficios de las intervenciones orientadas a reducir la contaminación del aire. Los métodos para las evaluaciones de los efectos en la salud y sus limitaciones se resumen en el informe completo que sirve de base a las guías actualizadas.

Las concentraciones de contaminantes en el aire se deben medir en lugares sometidos a vigilancia que sean representativos de la exposición de la población. Pueden ser más elevadas en la proximidad de fuentes específicas de contaminación del aire, como carreteras, centrales eléctricas y fuentes estacionarias de gran tamaño, de manera que la población que vive en esas condiciones puede requerir medidas especiales para poner los niveles de contaminación por debajo de los valores guía.

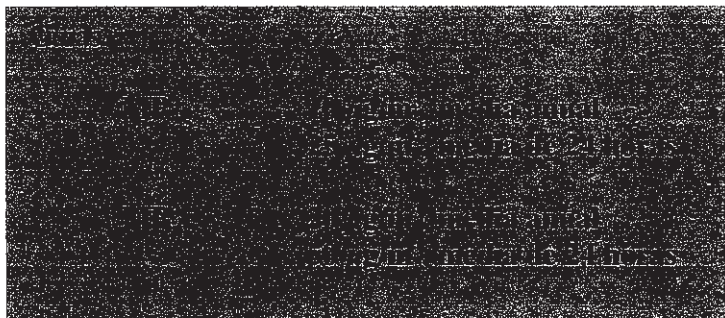
En las secciones siguientes de este documento se presentan las GCA de la OMS para el MP, el

ozono, el NO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub>, y en cada caso se expone el fundamento para la decisión de revisar el valor guía o mantener el valor existente. Como ya se ha señalado, las pruebas epidemiológicas indican que la posibilidad de efectos adversos en la salud persiste aun cuando se alcance el valor guía, por lo que algunos países podrían decidir adoptar concentraciones inferiores a los valores de la OMS como normas nacionales de calidad del aire.

Además de los valores guía, se dan objetivos intermedios para cada contaminante. Estos objetivos se han propuesto como pasos de una reducción progresiva de la contaminación del aire y su utilización está prevista en zonas donde la contaminación es alta. Tienen por objeto pasar de concentraciones elevadas de contaminantes en el aire, con consecuencias agudas y graves para la salud, a otras más bajas. Si se consiguieran estos objetivos, cabría esperar una reducción significativa del riesgo de efectos agudos y crónicos de la contaminación del aire en la salud. Sin embargo, el objetivo último de la gestión de la calidad del aire y la reducción de los riesgos para la salud en todos sus aspectos debe ser en avance hacia los valores guía.

## Guías de calidad del aire y su fundamento

### Material particulado



#### Fundamento

Las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de  $2,5 \mu$  ( $MP_{2,5}$ ) se ha estimado en  $3-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas.

Puesto que no se han identificado umbrales y dado que hay una variabilidad interespecífica sustancial en la exposición y en la respuesta a una exposición determinada, es poco probable que una norma o un valor guía ofrezca una protección completa a todas las personas frente a todos los posibles

efectos adversos del material particulado en la salud. El proceso de fijación de normas debe orientarse más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local. La evaluación cuantitativa del riesgo ofrece un procedimiento para comparar situaciones hipotéticas alternativas de control y estimar el riesgo residual asociado con un valor guía. Tanto la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos como la Comisión Europea han utilizado recientemente este procedimiento para revisar sus normas de calidad del aire para el MP. Se alienta a los países a examinar la adopción de una serie de normas cada vez más estrictas y a hacer un seguimiento de los progresos mediante la vigilancia de la reducción de las emisiones y la disminución de las concentraciones de MP. Para contribuir a este proceso, los valores guía numéricos y los valores de los objetivos intermedios que se dan aquí reflejan las concentraciones a las cuales, según los descubrimientos científicos actuales, se prevé que habrá una respuesta de mortalidad creciente debida a la contaminación del aire con MP.

La elección de un indicador para el material particulado también requiere un examen. Por el momento, los sistemas más habituales de vigilancia de la calidad del aire producen datos basados en la medición del  $MP_{10}$ , en contraposición a otros tamaños del material particulado. En consecuencia, la mayoría de los estudios epidemiológicos



utilizan el  $MP_{10}$  como indicador de la exposición. El  $MP_{10}$  representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas (de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10  $\mu$ ) como las finas (de menos de 2,5  $\mu$ ,  $PM_{2,5}$ ) que se considera que contribuyen a los efectos en la salud observados en los entornos urbanos. Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la resuspensión del polvo de los caminos y el viento, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre las ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de MP de cada lugar. En algunas zonas, la quema de leña y otros combustibles de biomasa puede ser una fuente importante de contaminación atmosférica por partículas, siendo la mayor parte de las procedentes de la combustión de tipo fino ( $MP_{2,5}$ ). Aunque son pocos los estudios epidemiológicos en los que se ha comparado la toxicidad relativa de los productos de la quema de combustibles fósiles y de biomasa, se han encontrado estimaciones de efectos similares en una gran variedad de ciudades de países tanto desarrollados como en desarrollo. Por consiguiente, es razonable suponer que los efectos en la salud del  $MP_{2,5}$  procedente de estas fuentes son prácticamente los mismos. Por la misma razón, las GCA de la OMS para el MP también se pueden aplicar al ambiente de los espacios cerrados, sobre todo en el mundo en desarrollo, donde hay grandes poblaciones expuestas a niveles elevados de partículas de combustión procedentes de estufas y fogones interiores.

Aunque el  $MP_{10}$  es la medida más notificada y también el indicador de interés para la mayoría de los datos epidemiológicos, por los motivos que se examinan a continuación las GCA de la OMS para el MP se basan en estudios que utilizan el  $MP_{2,5}$  como indicador. Los valores guía para el  $MP_{2,5}$  se convierten a los valores guía correspondientes para

el  $MP_{10}$  aplicando una razón  $MP_{2,5}/MP_{10}$  de 0,5. Esta razón de 0,5 es característica de las zonas urbanas de los países en desarrollo y corresponde al límite inferior de la gama encontrada en las zonas urbanas de los países desarrollados (0,5–0,8). Al establecer normas locales, y suponiendo que se disponga de los datos pertinentes, se puede emplear un valor diferente para esta razón, es decir, uno que refleje mejor las condiciones locales.

Tomando como base los efectos conocidos en la salud, se necesitan guías tanto de la exposición breve (24 horas) como de la prolongada (media anual) para los dos indicadores de la contaminación por MP.

### Exposiciones prolongadas

Como valor guía para el  $MP_{2,5}$  en exposiciones prolongadas se eligió una concentración anual media de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) (Pope *et al.*, 2002), este valor representa el extremo inferior de la gama en la que se observaron efectos significativos en la supervivencia. La adopción de una guía en este nivel concede un valor importante a los estudios de exposición prolongada que utilizan los datos de la ACS y los de Harvard de seis ciudades (Dockery *et al.*, 1993; Pope *et al.*, 1995; HEI, 2000; Pope 2002; Jerrett 2005). En todos estos estudios se notificaron asociaciones estrechas entre la exposición prolongada al  $MP_{2,5}$  y la mortalidad. La concentración media histórica de  $MP_{2,5}$  en el estudio de seis ciudades fue de 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (intervalo de 11,0 a 29,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en el estudio de la ACS de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (intervalo de 9,0 a 33,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). No se observaron umbrales en ninguno de estos estudios, aunque no se pudieron determinar con precisión los periodos y las pautas de la exposición pertinente. En el estudio de la ACS se pone de manifiesto una incertidumbre estadística de las estimaciones del riesgo con concentraciones de unos 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor por debajo del cual aumentan de manera significativa los intervalos de confianza, puesto que las concentraciones están relativamente alejadas de la media. Según los resultados del estudio de Dockery *et al.* (1993), los riesgos son

semejantes en las ciudades con las concentraciones prolongadas más bajas de  $MP_{2,5}$  (es decir, de 11 a  $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Es manifiesto un mayor riesgo en la ciudad con la segunda concentración media prolongada más baja de  $MP_{2,5}$  (es decir, de  $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo que indica que cabe esperar efectos en la salud cuando las concentraciones medias anuales son del orden de 11 a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por consiguiente, se puede considerar que, según la bibliografía científica disponible, una concentración media anual de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estaría por debajo de la media para los efectos más probables. La elección de una concentración media prolongada de  $MP_{2,5}$  de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  también confiere cierto valor a los resultados de los estudios de series cronológicas de exposición diaria en los que se examina la relación entre la exposición al  $MP_{2,5}$  y los efectos adversos agudos en la salud. En estos estudios se señala que las medias de las exposiciones prolongadas (es decir, de tres a cuatro años) son del orden de 13 a  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aunque no se pueden descartar del todo los efectos adversos en la salud por debajo de dichos niveles, el promedio anual del valor de las GCA de la OMS representa la concentración de  $MP_{2,5}$  que no sólo se ha demostrado que se puede alcanzar en zonas urbanas extensas de los países muy desarrollados, sino también cuyo logro cabe suponer que reducirá de manera significativa los riesgos para la salud.

Además del valor guía, se definen tres objetivos intermedios (OI) para el  $MP_{2,5}$  (véase el cuadro 1). Se ha demostrado que éstos se pueden alcanzar con medidas sucesivas y sostenidas de reducción. Los países pueden encontrar estos valores intermedios particularmente útiles para calcular los progresos con el paso del tiempo en el difícil proceso de reducir constantemente la exposición de la población al MP.

Como nivel del OI-1 se eligió una concentración media anual de  $MP_{2,5}$  de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este nivel corresponde a las concentraciones medias más

elevadas notificadas en estudios sobre los efectos prolongados en la salud y puede reflejar también concentraciones históricas más altas, pero desconocidas, que pueden haber contribuido a los efectos observados en la salud. Se ha demostrado que en el mundo desarrollado este nivel está asociado con una mortalidad elevada.

El nivel de protección del OI-2 se establece en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se basa en los estudios de exposición prolongada y mortalidad. Este valor es superior a la concentración media con la cual se han observado efectos en tales estudios, y probablemente esté asociado con efectos significativos en la salud derivados de exposiciones tanto prolongadas como diarias a  $MP_{2,5}$ . El logro de este valor del OI-2 reduciría los riesgos de la exposición prolongada para la salud en alrededor de un 6% (IC del 95%, 2–11%) en relación con el valor del OI-1. El nivel recomendado del OI-3 es de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concediendo un valor aún mayor a la probabilidad de efectos significativos asociados con la exposición prolongada. Este valor está próximo a las concentraciones medias que se notifican en los estudios de exposición prolongada y determina una reducción adicional en el riesgo de mortalidad del 6% con respecto al valor del OI-2.

También se recomiendan las GCA y los objetivos intermedios correspondientes para el  $MP_{10}$  (cuadro 1). Esto se debe a que un valor guía para el  $MP_{2,5}$  por sí solo no ofrecería protección frente a los efectos perjudiciales del MP grueso (la fracción entre 10 y  $2,5 \mu$ ). Sin embargo, se estima que las pruebas cuantitativas sobre el MP grueso son insuficientes para preparar guías separadas. En cambio, hay abundante bibliografía sobre los efectos de la exposición breve al  $MP_{10}$ , que se ha utilizado como base para la formulación de las GCA de la OMS y los objetivos intermedios para las concentraciones de 24 horas de MP (véase infra).

**Cuadro 1****Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones medias anuales\***

	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	70	35	Estos niveles están asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA.
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1.
Objetivo intermedio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2.
<b>Guía de calidad del aire (GCA)</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP <sub>2,5</sub> .

\*Se prefiere el uso del valor guía del MP<sub>2,5</sub>.

**Exposiciones de corta duración**

Suele haber diferencias de opinión entre los países sobre si el promedio más restrictivo de las GCA es el de 24 horas o el anual, dependiendo fundamentalmente de las características específicas de las fuentes de contaminación y de su localización. Al evaluar las GCA de la OMS y los objetivos intermedios, se suele recomendar que se dé preferencia al promedio anual sobre el de 24 horas, ya que con niveles bajos despiertan menos preocupación las desviaciones episódicas. Sin embargo, el logro de los valores guía para la media de 24 horas protegerá frente a niveles máximos de contaminación que de otra manera determinarían un exceso sustancial de morbilidad o mortalidad. Se recomienda que los países con zonas en las que no se cumplen los valores guía de 24 horas adopten medidas inmediatas para alcanzar estos niveles lo más pronto posible.

En estudios múltiples realizados en Europa (29 ciudades) y en los Estados Unidos (20 ciudades) se notificaron efectos de mortalidad a corto plazo con MP<sub>10</sub> del 0,62% y el 0,46% por 10 µg/m<sup>3</sup>

(media de 24 horas), respectivamente (Katsouyanni et al. 2001; Samet et al. 2000). En un metaanálisis de los datos de 29 ciudades situadas fuera de Europa occidental y de América del Norte se observó un efecto de mortalidad del 0,5% por 10 µg/m<sup>3</sup> (Cohen et al. 2004), en realidad muy parecido al obtenido para las ciudades asiáticas (0,49% por 10 µg/m<sup>3</sup>) (HEI International Oversight Comité, 2004). Estos resultados parecen indicar que los riesgos para la salud asociados con exposiciones breves al MP<sub>10</sub> probablemente son semejantes en las ciudades de los países desarrollados y en desarrollo, con un aumento de la mortalidad de alrededor del 0,5% por cada incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración diaria. Por consiguiente, cabe suponer que una concentración de 150 µg/m<sup>3</sup> dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5%, efecto que sería motivo de gran preocupación y para el cual se recomendarían medidas correctoras inmediatas. El nivel del OI-2 de 100 µg/m<sup>3</sup> estaría asociado con un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 2,5% y el nivel del OI-3 con un aumento del 1,2%



(cuadro 2). La GCA para el promedio de 24 horas del MP10 es de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y refleja la relación entre las distribuciones de las medias de 24 horas (y su

percentil 99) y el promedio de las concentraciones anuales.

### Cuadro 2

#### Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones de 24 horas<sup>a</sup>

	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-3 (OI-3)*	75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
<b>Guía de calidad del aire (GCA)</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	Basado en la relación entre los niveles de MP de 24 horas y anuales.

a Percentil 99 (3 días/año).

\* Con fines administrativos. Basado en los valores guía promedio anuales; el número exacto se ha de determinar sobre la base de la distribución de la frecuencia local de las medias diarias. La distribución de la frecuencia de los valores diarios del MP2,5 y el MP10 normalmente se aproxima a una función logarítmica de distribución normal.

Las partículas ultra finas (UF), es decir, las partículas de menos de 0,1  $\mu$  de diámetro, han despertado recientemente un gran interés en la comunidad científica y médica. Se suelen medir como número de partículas. Si bien hay abundantes pruebas toxicológicas de posibles efectos perjudiciales de las partículas UF en la salud humana, el conjunto exist-

tente de pruebas epidemiológicas no es suficiente para llegar a una conclusión acerca de la relación exposición-respuesta. En consecuencia, por ahora no se puede hacer ninguna recomendación sobre concentraciones guía de partículas UF.

## Ozono



### Fundamento

Desde la publicación de la segunda edición de las guías de calidad del aire de la OMS para Europa (OMS, 2000), en las que se estableció el valor guía de los niveles de ozono en  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un promedio diario de ocho horas, es poca la nueva información que se ha obtenido, a partir de estudios de laboratorio o de campo, acerca de los efectos del ozono en la salud. Sin embargo, en estudios epidemiológicos de series cronológicas se ha conseguido un volumen considerable de nuevas pruebas sobre los efectos en la salud. Estos estudios considerados en conjunto han puesto de manifiesto que hay asociaciones positivas, pequeñas pero convincentes, entre la mortalidad diaria y los niveles de ozono, que son independientes de los efectos del material particulado. Se han observado asociaciones análogas tanto en América del Norte como en Europa. Estos últimos estudios de series cronológicas han demostrado que se producen efectos en la salud con concentraciones de ozono por debajo del valor guía anterior de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero no se dispone de pruebas claras de un umbral. Estos resultados, junto con las pruebas obtenidas en estudios tanto de laboratorio como de campo que indican que hay una variación individual considerable en la respuesta al ozono, ilustran bien la reducción de la GCA de la OMS para el ozono, pasando del nivel actual de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media máxima diaria de ocho horas).

Es posible que en algunas personas sensibles se registren efectos en la salud con concentraciones por debajo del nuevo nivel guía. Tomando como base varios estudios de series cronológicas, se estima que el número de muertes que se le pueden

atribuir aumenta un 1-2% en los días en los que la concentración media de ozono durante ocho horas llega a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por encima del que se registra cuando los niveles de ozono están en un nivel de referencia de  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (nivel de fondo estimado de ozono, véase el cuadro 3). Hay algunos datos que parecen indicar que la exposición prolongada al ozono puede tener efectos crónicos, pero no son suficientes para recomendar un valor guía anual.

El ozono se forma en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar y contaminantes precursores, como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el  $\text{NO}_2$  y se deposita en el suelo. En varios estudios se ha demostrado que hay una correlación entre las concentraciones de ozono y las de varios otros oxidantes fotoquímicos tóxicos procedentes de fuentes semejantes, como los nitratos de peroxiacilo, el ácido nítrico y el peróxido de hidrógeno. Las mediciones para controlar los niveles de ozono troposférico se concentran en las emisiones de gases precursores, pero es probable que también controlen los niveles y los efectos de varios de esos otros contaminantes.

Las concentraciones hemisféricas de fondo de ozono troposférico presentan variaciones en el tiempo y en el espacio, pero pueden alcanzar niveles medios de alrededor de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en ocho horas. Proceden de emisiones tanto antropogénicas como biogénicas (por ejemplo, COV de la vegetación) de precursores del ozono y de la intrusión descendente del ozono estratosférico hacia la troposfera. En efecto, el valor guía propuesto

se puede superar en ocasiones debido a causas naturales.

A medida que aumentan las concentraciones de ozono por encima del valor guía, los efectos en la salud de la población son cada vez más numerosos y graves. Dichos efectos se pueden presentar en lugares en los que las concentraciones ya son elevadas debido a actividades humanas o suben durante episodios de clima muy caluroso.

El nivel del OI-1 de ocho horas para el ozono se ha establecido en  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concentración con la que se registraron cambios mensurables, aunque transitorios, en la función pulmonar y la inflamación de los pulmones en pruebas controladas de laboratorio con adultos jóvenes sanos que realizaban ejercicio intermitente. Se observaron efectos similares en estudios realizados en campamentos de verano con niños que hacían ejercicio. Aunque algunos pueden alegar que estas respuestas no tienen por qué ser necesariamente adversas y que se observaron solamente con un ejercicio enérgico, sus opiniones quedan contrarrestadas por la posibilidad de que haya un número sustancial de personas de la población general que podrían ser más susceptibles a los efectos del ozono que las personas relativamente jóvenes y en general

sanas que participaron en el estudio de laboratorio. Además, los estudios de laboratorio proporcionan poca información acerca de las exposiciones repetidas. Tomando como base las pruebas de las series cronológicas, las exposiciones al nivel del OI-1 están asociadas con un aumento del número de muertes que se le pueden atribuir de un 3-5% (véase el cuadro 3).

Se considera que cuando las concentraciones durante ocho horas son superiores a  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  existe la probabilidad de efectos significativos en la salud. Esta conclusión se basa en los resultados de un gran número de estudios de inhalación clínica y en condiciones de campo. Cabe suponer que tanto los adultos sanos como los asmáticos experimentan una reducción considerable de la función pulmonar, así como inflamación de las vías respiratorias, que provocaría síntomas y alteraría el rendimiento. Hay también otros motivos de preocupación por el aumento de la morbilidad respiratoria en los niños. De acuerdo con las pruebas obtenidas en series cronológicas, la exposición a concentraciones de ozono de esta magnitud daría lugar a un aumento del número de muertes que se le pueden atribuir de un 5-9% con respecto a la exposición al nivel de fondo estimado (véase el cuadro 3).



**Cuadro 3.****Guía de calidad del aire de la OMS y objetivo intermedio para el ozono: concentraciones de ocho horas**

	<b>Media máxima diaria de ocho horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Fundamento del nivel elegido</b>
<b>Niveles altos</b>	<b>240</b>	Efectos significativos en la salud: proporción sustancial de la población vulnerable afectada.
<b>Objetivo intermedio-1 (OI-1)</b>	<b>160</b>	Efectos importantes en la salud; no proporciona una protección adecuada de la salud pública. La exposición a este nivel está asociada con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio expuestos durante periodos de 6-6 horas;</li> <li>• efectos en la salud de los niños (basados en diversos estudios de campamentos de verano en los que los niños estuvieron expuestos a niveles ambientales de ozono);</li> <li>• aumento estimado de un 3-5% de la mortalidad diaria<sup>a</sup> (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias).</li> </ul>
<b>Guía de calidad del aire (GCA)</b>	<b>100</b>	Proporciona una protección adecuada de la salud pública, aunque pueden producirse algunos efectos en la salud por debajo de este nivel. La exposición a este nivel de ozono está asociada con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• un aumento estimado de un 1-2% de la mortalidad diaria<sup>a</sup> (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias);</li> <li>• la extrapolación a partir de estudios de laboratorio y de campo, basada en la probabilidad de que la exposición en la vida real tienda a ser repetitiva y en que se excluyen de los estudios de laboratorio las personas muy sensibles o con problemas clínicos, así como los niños;</li> <li>• la probabilidad de que el ozono ambiental sea un marcador para los oxidantes relacionados con él.</li> </ul>

- <sup>a</sup> Muertes atribuibles al ozono. Los estudios de series cronológicas indican un aumento de la mortalidad diaria del orden del 0,3-0,5% por cada incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en las concentraciones de ozono durante ocho horas por encima de un nivel de referencia estimado de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Dióxido de nitrógeno



### Fundamento

Como contaminante del aire, el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) tiene múltiples funciones, que a menudo resultan difíciles y en ocasiones imposibles de separar entre sí:

- i. Los estudios experimentales realizados con animales y con personas indican que el  $\text{NO}_2$ , en concentraciones de corta duración superiores a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , es un gas tóxico con efectos importantes en la salud. Los estudios toxicológicos con animales también parecen indicar que la exposición prolongada al  $\text{NO}_2$  en concentraciones por encima de las ahora presentes en el medio ambiente tiene efectos adversos.
- ii. El  $\text{NO}_2$  se ha utilizado en numerosos estudios epidemiológicos como marcador de la mezcla de contaminantes relacionados con la combustión, en particular los que emiten el tráfico por carretera o las fuentes de combustión en espacios cerrados. En estos estudios, los efectos observados en la salud se podrían haber asociado también con otros productos de la combustión, como las partículas ultrafinas, el óxido nitroso ( $\text{NO}$ ), el material particulado o el benceno. Aunque en varios estudios, realizados tanto en espacios abiertos como cerrados, se ha tratado de concentrar la atención en los riesgos del  $\text{NO}_2$  para la salud, a menudo es difícil descartar la contribución de los efectos de estos otros contaminantes, muy relacionados con él.
- iii. La mayor parte del  $\text{NO}_2$  atmosférico se emite en forma de  $\text{NO}$ , que se oxida rápidamente a  $\text{NO}_2$  por acción del ozono. El dióxido de nitrógeno es, en presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta,

la principal fuente de ozono troposférico y de aerosoles de nitratos, que constituyen una fracción importante de la masa de  $\text{MP}_{2.5}$  del aire ambiente.

El valor guía actual de la OMS de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media anual) se estableció para proteger al público de los efectos del  $\text{NO}_2$  gaseoso en la salud. El fundamento de esto es que, debido a que la mayoría de los métodos de reducción de la concentración son específicos para los  $\text{NO}_x$ , no están concebidos para controlar otros contaminantes que los acompañan, pudiendo incluso aumentar sus emisiones. Sin embargo, si se vigila el  $\text{NO}_2$  como marcador de mezclas complejas de la contaminación derivada de la combustión se debería utilizar un valor guía anual más bajo (OMS, 2000).

### *Exposición prolongada*

Todavía no se cuenta con una base sólida que permita establecer un valor guía medio anual para el  $\text{NO}_2$  mediante cualquier efecto tóxico directo. Sin embargo, se han obtenido pruebas que hacen aumentar la preocupación por los efectos en la salud asociados con mezclas de contaminación del aire de espacios abiertos que contienen  $\text{NO}_2$ . Por ejemplo, se ha comprobado en estudios epidemiológicos que los síntomas de bronquitis de los niños asmáticos aumentan en asociación con la concentración anual de  $\text{NO}_2$ , y que el menor aumento de la función pulmonar en los niños está vinculado a concentraciones elevadas de  $\text{NO}_2$  en comunidades ya sometidas a los niveles actuales en el medio ambiente urbano de América del Norte y Europa. En varios estudios publicados recientemente se ha



demostrado que el  $\text{NO}_2$  puede tener una variación espacial superior a la de otros contaminantes del aire relacionados con el tráfico, como por ejemplo la masa de partículas. En estos estudios también se encontraron efectos adversos en la salud de los niños que vivían en zonas metropolitanas caracterizadas por niveles más elevados de  $\text{NO}_2$ , incluso en los casos en los que el nivel global en toda la ciudad era relativamente bajo.

En estudios recientes realizados en espacios cerrados, se han obtenido pruebas de efectos en los síntomas respiratorios de los lactantes con concentraciones de  $\text{NO}_2$  por debajo de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estas asociaciones no se pueden explicar completamente por la exposición simultánea a MP, pero se ha indicado que la asociación observada se podría explicar en parte por otros componentes de la mezcla (como el carbono orgánico y el vapor de ácido nitroso).

Considerados en conjunto, los resultados expuestos respaldan en cierta medida la reducción del valor guía anual actual para el  $\text{NO}_2$ . Sin embargo, no está claro hasta qué punto los efectos observados en los estudios epidemiológicos se pueden atribuir al propio  $\text{NO}_2$  o a otros productos primarios o secundarios relacionados con la combustión con los que tiene una correlación característica. Así pues, se puede alegar que en la bibliografía científica disponible no se han acumulado suficientes pruebas para justificar la revisión de la GCA actual de la OMS correspondiente a las concentraciones anuales de  $\text{NO}_2$ . No obstante, dado que se miden habitualmente en el aire ambiente las concentraciones de  $\text{NO}_2$ , pero no las de otros contaminan-

tes derivados de la combustión que tienen una correlación con él, parece razonable mantener un valor límite medio anual prudente para el  $\text{NO}_2$ . En dicho límite se tiene en cuenta el hecho de que puede haber efectos tóxicos directos de la exposición crónica al  $\text{NO}_2$  en concentraciones bajas. Además, el mantenimiento del valor guía anual puede ayudar a controlar las mezclas complejas de productos contaminantes relacionados con la combustión (principalmente los procedentes del tráfico por carretera).

#### *Exposiciones de corta duración*

En varios estudios experimentales de toxicología humana de corta duración se han notificado efectos agudos en la salud tras la exposición a concentraciones de más de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  durante una hora. Aunque el nivel más bajo de exposición al  $\text{NO}_2$  que ha mostrado un efecto directo en la función pulmonar de los asmáticos en más de un laboratorio es de  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los estudios realizados sobre la capacidad de respuesta bronquial en los asmáticos parecen indicar que aumenta con niveles superiores a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dado que el valor guía de las GCA actuales de la OMS para la exposición breve al  $\text{NO}_2$ , de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (una hora), no se ha puesto en tela de juicio en estudios más recientes, se mantiene dicho valor.

En conclusión, los valores guía para el  $\text{NO}_2$  se mantienen sin cambios en comparación con los niveles actuales de las GCA de la OMS, es decir, en  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media anual y  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la media de una hora.

## Dióxido de azufre

Guías	
<b>SO<sub>2</sub>:</b>	<b>20 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas</b>
	<b>500 µg/m<sup>3</sup>, media de 10 minutos</b>

### Fundamento

#### *Exposiciones de corta duración*

Los estudios controlados realizados con asmáticos que hacían ejercicio indican que algunos de ellos experimentaron cambios en la función pulmonar y los síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO<sub>2</sub> de apenas 10 minutos. Tomando como base estas pruebas, se recomienda que no se supere una concentración de SO<sub>2</sub> de 500 µg/m<sup>3</sup> durante periodos con una duración media de 10 minutos. Debido a que la exposición breve al SO<sub>2</sub> depende en gran medida de la naturaleza de las fuentes locales y las condiciones meteorológicas predominantes, no es posible aplicar un factor sencillo a este valor con el fin de estimar los valores guía correspondientes durante periodos de tiempo más prolongados, como por ejemplo una hora.

#### *Exposiciones prolongadas (más de 24 horas)*

Las estimaciones iniciales de los cambios cotidianos en la mortalidad, la morbilidad o la función pulmonar en relación con las concentraciones medias de SO<sub>2</sub> durante 24 horas se basaban necesariamente en estudios epidemiológicos en los que la población estaba normalmente expuesta a una mezcla de contaminantes. Puesto que había poco fundamento para separar la contribución de los distintos contaminantes a los efectos observados en la salud, los valores guía para el SO<sub>2</sub> estaban vinculados antes de 1987 a los valores correspondientes para el MP. Este sistema llevó al establecimiento de un valor de la GCA para el SO<sub>2</sub> de 125 µg/m<sup>3</sup> como promedio de 24 horas, después de aplicar un factor de incertidumbre de 2 a la concentración más baja con efectos adversos observados (OMS, 1987). En la segunda edición

de las guías de calidad del aire para Europa (OMS, 2000) se señaló que los estudios epidemiológicos posteriores documentaban efectos adversos en la salud pública separados e independientes para el MP y el SO<sub>2</sub>, como consecuencia de lo cual se estableció para el SO<sub>2</sub> una GCA de la OMS separada de 125 µg/m<sup>3</sup> (media de 24 horas).

Entre las últimas pruebas de que se dispone figura un estudio realizado en Hong Kong (Hedley *et al.*, 2002), en el que se consiguió una reducción importante del contenido de azufre de los combustibles durante un periodo muy breve de tiempo. Este resultado se ha vinculado con una reducción sustancial de los efectos en la salud (por ejemplo, enfermedades respiratorias en la infancia y mortalidad en todas las edades). En estudios recientes de series cronológicas sobre hospitalizaciones por enfermedades cardíacas en Hong Kong y Londres no se obtuvo ninguna prueba de un umbral para los efectos en la salud con concentraciones de SO<sub>2</sub> durante 24 horas del orden de 5-40 µg/m<sup>3</sup> (Wong *et al.*, 2002). Los niveles de SO<sub>2</sub> durante 24 horas estaban significativamente asociados con las tasas de mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses en las que la concentración media era de sólo 5 µg/m<sup>3</sup> (el nivel medio más alto de SO<sub>2</sub> fue inferior a 10 µg/m<sup>3</sup>) (Burnett *et al.*, 2004). En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) (véase la sección de Material particulado), se observó una asociación significativa entre el SO<sub>2</sub> y la mortalidad para la cohorte de 1982-1988 en 126 zonas metropolitanas de los Estados Unidos en las que la concentración media registrada de SO<sub>2</sub> era de 18 µg/m<sup>3</sup> y la media más alta de 85 µg/m<sup>3</sup> (Pope *et al.*, 2002). En el caso de que hubiera un umbral para los efectos en cualquiera de estos estudios, tendría que ser muy bajo.

Sigue siendo considerable la incertidumbre acerca de si el  $\text{SO}_2$  es el contaminante responsable de los efectos adversos observados o si se toma en lugar de las partículas ultrafinas o alguna otra sustancia que guarda correlación con él. Tanto en Alemania (Wichmann *et al.*, 2000) como en los Países Bajos (Buringh, Fisher & Hoek, 2000) se registró una fuerte reducción de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  durante un decenio, pero, aunque la mortalidad también se redujo con el paso del tiempo, no se consideró que hubiera una asociación causal entre el  $\text{SO}_2$  y la mortalidad, atribuyéndose en cambio la disminución de ésta a una tendencia temporal semejante de un contaminante distinto (MP).

Teniendo en cuenta: a) la incertidumbre sobre la causalidad del  $\text{SO}_2$ ; b) la dificultad práctica para obtener niveles que estén ciertamente asociados con la ausencia de efectos; y c) la necesidad de conseguir un grado de protección superior al que proporciona la GCA actual, y suponiendo que con la reducción de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  se consiga una disminución de la exposición a una sustancia causal y correlacionada, tiene fundamento la revisión de la guía del  $\text{SO}_2$  durante 24 horas a la baja, adoptando como enfoque precautorio

prudente un valor de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

No es necesaria una guía anual, puesto que si se respeta el nivel de 24 horas se garantizan unos niveles medios anuales bajos. Estos valores guía recomendados para el  $\text{SO}_2$  no están vinculados a los del MP.

Dado que la guía revisada de 24 horas puede resultar para algunos países bastante difícil de conseguir a corto plazo, se recomienda un proceso escalonado con objetivos intermedios (véase el cuadro 4). Por ejemplo, un país podría comenzar a aplicar el valor guía mediante el control de las emisiones de una fuente importante en un momento determinado, eligiendo entre las fuentes de los vehículos de motor, las industriales y las de energía (lo que permitiría conseguir los mayores efectos en los niveles de  $\text{SO}_2$  con el menor costo) y hacer un seguimiento mediante la vigilancia de la salud pública y los niveles de  $\text{SO}_2$ , a fin de comprobar las mejoras de los efectos en la salud. La demostración de beneficios para la salud debería constituir un incentivo para imponer controles sobre la siguiente categoría de fuentes importantes.

**Cuadro 4**

**Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el  $\text{SO}_2$ : concentraciones de 24 horas y 10 minutos**

	Promedio de 24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio de 10 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1) <sup>a</sup>	125	—	
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	—	Objetivo intermedio basado en el control de las emisiones de los vehículos de motor, las emisiones industriales y/o las emisiones de la producción de energía. Éste sería para algunos países en desarrollo un objetivo razonable y viable (se podría alcanzar en pocos años), que conduciría a mejoras significativas de la salud, las cuales, a su vez, justificarían la introducción de nuevas mejoras (por ejemplo, tratar de conseguir el valor de la GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	20	500	

a Antes Guía de calidad del aire de la OMS (OMS, 2000).

## Referencias

- Buringh E, Fischer P, Hoek G (2000). Is SO<sub>2</sub> a causative factor for the PM-associated mortality risks in the Netherlands? *Inhalation Toxicology*, 12(Suppl.):S55-S60.
- Burnett RT et al. (2004). Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59:228-236.
- Cohen A et al. (2004). Mortality impacts of urban air pollution. In: Ezzati M et al., eds. *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*. Geneva, World Health Organization:1353-1434.
- Dockery DW et al. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, 329:1753-1759.
- Hedley AJ et al. (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet*, 360:1646-1652.
- HEI (2000). *Reanalysis of the Harvard Six-Cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality. A special report of the Institute's Particle Epidemiology reanalysis Project*. Cambridge, MA, Health Effects Institute.
- HEI International Oversight Committee (2004). *Health effects of outdoor air pollution in developing countries of Asia: a literature review*. Boston, MA, Health Effects Institute (Special Report No. 15).
- Jerrett M (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*, 16:727-736.
- Katsouyanni K et al. (2001). Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 12:521-531.
- Pope CA et al. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151:669-674.
- Pope CA et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287:1132-1141.
- Samet JM et al. (2000). The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Research Reports of the Health Effects Institute*, 94:5-70.
- Wong CM et al. (2002). A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared. *Environmental Health Perspectives*, 110:67-77.
- WHO (1987). *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 1987 (WHO Regional Publications, European Series No. 23).
- WHO (2000). *Air quality guidelines for Europe*, 2nd ed. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series No. 91).
- Wichmann HE et al. (2000). *Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany. Part 1: Role of particle number and particle mass*. Cambridge, MA, Health Effects Institute (Research Report No. 98).

**NORMATIVA CHILENA**

A continuación se adjuntan normas chilenas relacionadas con el dióxido de azufre:

- Resolución N°1215, 1978, Ministerio de Salud.
- Decreto Supremo N°185, 1991, Ministerio de Minería.
- Actual norma primaria de calidad del aire.  
Decreto Supremo N°113, 2003, Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- Actual norma secundaria de calidad del aire.  
Decreto Supremo N°22, 2010, Ministerio Secretaría General de la Presidencia.



Tipo Norma : Resolución 1215  
 Fecha Promulgación : 22-06-1978  
 Organismo : MINISTERIO DE SALUD  
 Título : NORMAS SANITARIAS MINIMAS DESTINADAS A PREVENIR Y CONTROLAR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA  
 Tipo Versión : Unica De : 22-06-1978  
 Inicio Vigencia : 22-06-1978  
 Id Norma : 1029027  
 URL : <http://www.leychile.cl/N?i=1029027&f=1978-06-22&p=>

NORMAS SANITARIAS MINIMAS DESTINADAS A PREVENIR Y CONTROLAR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Sin publicación en Diario Oficial

Santiago, 22 de junio de 1978

VISTO : Considerando que el adecuado control y prevención de la contaminación atmosférica exige disponer de normas que definan los valores de los parámetros que configuran la calidad del aire y establezcan criterios básicos operacionales, dicto la siguiente:

Resolución

DISPOSICIONES PRELIMINARES:

Artículo 1° Las presentes normas se aplicarán en todo el territorio nacional y tienen por objeto proveer a los diversos niveles de salud los fundamentos técnicos y administrativos del sistema de prevención y control de la contaminación atmosférica. En todo caso se deberá considerar la armonización con los planes de desarrollo y la coordinación interinstitucional que permita el aprovechamiento integrado de los recursos. Sin embargo ante cualquier riesgo inminente a la salud pública la autoridad sanitaria deberá actuar de inmediato.

DEFINICIONES:

Artículo 2° Para los fines de la presente Resolución los términos que figuran a continuación tendrán el significado que en cada caso se especifica.

Contaminación Atmosférica: Es la presencia en el aire de más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, en concentración o niveles tales que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, de los bienes, de los recursos nacionales o de los particulares.

Contaminantes: Es toda sustancia química o sus compuestos o derivados, agentes físicos y biológicos que al adicionarse al aire, pueden alterar o modificar sus características naturales o las del ambiente.

Fuente de Contaminación Atmosférica: Es toda actividad, proceso, operación o dispositivo móvil o estacionario que independiente de su campo de aplicación, produzca o puedan producir contaminantes del aire.

Fuente de Contaminación Atmosférica Estacionaria: Es toda fuente diseñada para operar en lugar fijo. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.

Fuente de Contaminación Atmosférica Móvil: Es toda aquella fuente capaz de desplazarse entre distintos puntos mediante un elemento propulsor propio (motor) que genera y emite contaminantes.

Norma de calidad del aire: Son los valores que definen las concentraciones máximas permisibles para los contaminantes presentes en el aire, condicionados a variación según el desarrollo de las investigaciones pertinentes.

Emisión: Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia contaminante.

Norma de Emisión: Es la concentración máxima para un determinado contaminante, medida en el efluente de las fuentes de contaminación, sin dilución





000299

VT4

previa.

Estudio de Impacto Ambiental: Es el análisis teórico de la incidencia de los contaminantes emitidos por una fuente en el medio ambiente.

Equipo Existente: Es el instalado o en proceso de instalación a la fecha de vigencia de la presente resolución.

Equipo Nuevo: Es el instalado con posterioridad a la fecha indicada en el punto anterior.

Equipo de Control: Es cualquier aditamento o dispositivo que prevenga o reduzca las emisiones de contaminantes.

Humo: Son partículas resultantes de una combustión incompleta constituidas en su mayoría de carbón y cenizas y que son visibles en la atmósfera.

Polvo: Son partículas pequeñas emitidas a la atmósfera por elementos naturales, por procesos mecánicos o industriales, por transporte de materiales, demoliciones y otros.

Polvo Fugitivo: Son partículas sólidas suspendidas en el aire, emitidas por cualquier fuente que no sea una chimenea.

Peso de Proceso: El peso de todos los materiales que se introducen en un proceso específico y que pueden causar emisiones contaminantes. Los combustibles sólidos se consideran como parte del peso del proceso, pero no así los combustibles líquidos, gaseosos y el aire de combustión.

Peso de Proceso por Hora: Es el peso total de proceso dividido por el número de horas necesarias para una operación completa, excluyendo períodos de detención o de inactividad.

Escala Ringelmann: Es el método de prueba para definir la densidad aparente visual del humo.

Opacidad: Estado en el cual uno o más contaminantes impiden parcial o totalmente el paso de los rayos luminosos, ocasionando falta de visibilidad a un observador.

#### NORMA DE CALIDAD DEL AIRE

Artículo 3o Para los efectos de protección de la salud se permitirán las siguientes concentraciones máximas de los contaminantes del aire que se indican:

##### I. PARTICULAS EN SUSPENSION:

Setenta y cinco microgramos por metro cúbico (75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración medio geométrico anual; o doscientos sesenta microgramos por metro cúbico (260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética de veinticuatro horas consecutivas, no pudiéndose sobrepasar este valor más de una vez por año.

##### II. ANHIDRIDO SULFUROSO ( $\text{SO}_2$ ):

Ochenta microgramos por metro cúbico (80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética anual, o trecientos sesenta y cinco microgramos por metro cúbico (365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética durante veinticuatro horas consecutivas, no pudiéndose sobrepasar este último valor más de una vez por año.

##### III. MONOXIDO DE CARBONO ( $\text{CO}$ ):

Diez mil microgramos por metro cúbico (10000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética máxima de ocho horas consecutivas no debiendo sobrepasarse este valor más de una vez por año o cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética de una hora, no debiendo sobrepasarse este valor más de una vez por año.

##### IV. OXIDANTES FOTOQUÍMICOS, EXPRESADOS COMO OZONO, ( $\text{O}_3$ )

Ciento sesenta microgramos por metro cúbico (160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética de una hora, no debiendo sobrepasarse este valor más de una vez por año.

##### V. DIOXIDO DE NITROGENO ( $\text{NO}_2$ ):

Cien microgramos por metro cúbico (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  N) como concentración media aritmética anual.

Artículo 4o Todas las mediciones de estos contaminantes deberán ser corregidas para una temperatura de veinticinco grados celcius (25°C) y una presión de setecientos sesenta milímetros de mercurio (760 mm Hg.).

El muestreo deberá ser efectuado con una frecuencia mínima de un período de veinticuatro horas cada seis días para anhídrido sulfuroso, dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión y continuamente para fotoquímicos y monóxido de carbono.

Artículo 5o Para la determinación de concentraciones de los diferentes



contaminantes deberán utilizarse los siguientes métodos de análisis:

-Partículas en Suspensión:

Método gravimétrico de muestreador de alto volumen o equivalente.

-Anhídrido Sulfuroso:

Método colorimétrico de la pararosanilina o equivalente.

-Monóxido de Carbono:

Método de radiación infrarroja no dispersivo, o equivalente.

-Oxidantes Fotoquímicos:

Método de radiación infrarroja no dispersivo, o equivalente.

- Dióxido de Nitrógeno:

Método de quimiluminiscencia o equivalente.

Se considerarán métodos equivalentes aquellos métodos de análisis, que ensayados por el Laboratorio de Contaminación Atmosférica dependiente del Ministerio de Salud, suministren respuestas igualmente válidas respecto de los métodos de referencia ya especificadas.

Artículo 6■La presente Resolución se modificará en la parte pertinente cuando, a juicio de la autoridad sanitaria, sea necesario incorporar otros contaminantes a la Norma de Calidad del Aire.

A requerimiento específico de otros Ministerios o de las autoridades regionales correspondientes, el Ministerio de Salud establecerá normas especiales de calidad de aire más restrictivas en aquellas áreas en las cuales los objetivos de desarrollo de la región incluyan aspectos de relevante importancia, tales como la protección agrícola, turismo, recreación, balnearios o la preservación de las características naturales propias de parques o santuarios naturales.

Artículo 7■Se considera sobrepasada la Norma de Calidad de Aire cuando la concentración detectada en cualquier estación de muestreo localizada en el área correspondiente se exceda una de las concentraciones ya especificadas. Se considera área saturada en términos de contaminación atmosférica, cualquier área en que el valor de la Norma de Calidad de Aire de uno o más contaminantes esté sobrepasada.

Artículo 8■Para los efectos de aplicación de estas normas en el contexto de una política de administración del recurso aire, el territorio nacional queda dividido en las trece regiones existentes que se denominarán Regiones de Control de Calidad del Aire. En la ejecución de Programas de Control de la Contaminación atmosférica, cualquier región podrá ser dividida en sub- regiones, constituidas por una o más Comunas o parte de ellas.

En las regiones o sub-regiones consideradas saturadas, el nivel regional de salud deberá implantar y ejecutar un programa de control de la contaminación atmosférica, asignando recursos definidos que permitan controlar las emisiones contaminantes. En aquellas consideradas no saturadas corresponderá al nivel regional de salud aplicar las acciones de tipo preventivo pertinentes para no sobrepasar cualquier valor de la Norma de calidad del Aire.

En ambos casos el nivel regional de salud deberá considerar la adecuada coordinación interinstitucional que permita compatibilizar, en el marco de la estrategia de desarrollo regional, los aspectos de protección ambiental.

#### PROHIBICIONES Y EXIGENCIAS GENERALES

Artículo 9■Se prohíbe quemar residuos sólidos, líquidos o cualquier otro material combustible a cielo abierto, en áreas rurales, radio urbano, vía pública y recintos privados. Esta disposición regirá para áreas saturadas o en vías de saturación con las siguientes excepciones:

I. Cuando se efectúe con permiso de la autoridad competente para:

a) Instruir sobre procedimientos que tengan como fin combatir el fuego y los incendios.

b) Destruir materiales peligrosos que no sea posible eliminar por otros medios sin causar riesgo.

II. Cuando se trate de prevenir la propagación del fuego que no puede ser atacado de otro modo.





000300

VTA.

III. Por razones sanitarias de protección comunitaria

IV. Cuando el fuego se use para cocinar al aire libre y no produzca molestias.

Artículo 10 Prohíbese la emisión de humos con densidad colorimétrica superior al N° 2 de la Escala de Ringelmann, provenientes de procesos de combustión estacionarios, con las siguientes excepciones:

a) Durante un período de quince (15) minutos al día, para las operaciones de calentamiento del equipo de combustión.

b) Durante un tiempo de tres (3) minutos consecutivos, o no, en cualquier período de una (1) hora.

Prohíbese la emisión de humos con índice de opacidad superior al 40% de la escala respectiva, proveniente de procesos industriales estacionarios.

Aquellas fuentes de contaminación para los que no figure norma de emisión, deberán adoptar sistema de control del o los contaminantes basados en la mejor tecnología disponible, sujetos a la aprobación de la autoridad sanitaria.

Artículo 11 La autoridad regional de salud deberá proponer al nivel central un proyecto de norma local de emisión cuando las circunstancias aconsejen criterios más estrictos que los contenidos en la norma nacional de emisión.

Estos proyectos de normas se elaborarán teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

a) Los objetivos y estrategia de desarrollo definidos por el gobierno regional.

b) Las características geográficas, meteorológicas y topográficas del sector afectado.

c) El grado de urbanización, industrialización y localización de las actividades de acuerdo a planos reguladores comunales o intercomunales.

d) Niveles de contaminación a que podría llegar a mediano plazo.

e) Implementación evaluativa que permita ejercer una adecuada vigilancia de la calidad del aire.

Artículo 12 La autoridad local de salud podrá exigir al responsable de una fuente emisora de contaminantes, la instalación y operación de equipos automáticos de medición y registro, para verificar las cantidades de contaminantes emitidos. Del examen periódico de los registros respectivos dependerá la formulación de nuevas exigencias de control.

Los responsables de las fuentes de contaminación deberán comprobar la cantidad y calidad de los contaminantes atmosféricos que emitan por chimeneas, utilizando métodos aprobados por la autoridad sanitaria, pudiendo recurrir a la asistencia o servicios ajenos si lo estiman conveniente.

Cada vez que la autoridad sanitaria resuelva efectuar por si misma estudios de una fuente de contaminación, los responsables deberán otorgar todas las facilidades necesarias y cancelar según arancel los análisis de laboratorio requeridos, si esto último dicha autoridad estima conveniente exigirlo.

#### NORMAS SOBRE PROYECTOS DE CONTROL DE FUENTES ESTACIONARIAS

Artículo 13 Previa a la instalación o puesta en marcha de todo nuevo proceso, actividad u operación que implique contaminación del aire, se deberán presentar todos los antecedentes necesarios para definir el peso del proceso, a fin de precisar su posible influencia en el nivel de contaminación local.

La autoridad sanitaria, en casos calificados, podrá exigir la presentación de un estudio de impacto ambiental, cuando a juicio de ésta, los contaminantes emitidos puedan ocasionar un riesgo inminente para la salud.

Los proyectos deberán ser presentados a las Regiones de Salud correspondientes. Si éstas no cuentan con programa de contaminación atmosférica remitirán todos los antecedentes al nivel central para su estudio y aprobación.

Artículo 14 La evacuación de efluentes provenientes de quemar combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, deberá ser realizada a través de chimeneas. Cualquier otra fuente de contaminación del aire deberá estar provista de un sistema de ventilación extractiva y el lanzamiento de efluentes a la atmósfera deberá ser realizado a través de chimeneas, con excepción de aquellos casos particulares



calificados en que se especifique un procedimiento distinto. En ambos casos los efluentes deberán ajustarse a la norma de emisión respectiva.

Artículo 15 Las operaciones, procesos o funcionamiento de equipos de trituración, molienda, transporte, manipulaciones, carga y descarga de material fragmentado o particulado, podrá exceptuarse de las exigencias anteriores, siempre que se realicen mediante procesos de humidificación permanente, o empleando otro sistema de control de la contaminación atmosférica de eficiencia igual o superior.

El almacenamiento de material fragmentado o particulado deberá efectuarse en silos adecuadamente cerrados o en otro sistema de control de la contaminación del aire de eficiencia igual o superior, de tal modo de impedir el arrastre de material por la acción de los vientos.

Las exigencias formuladas en los dos párrafos inmediatamente precedentes se aplicarán sólo en aquellos casos en que el área se encuentre saturada y en situaciones que creen un problema puntual.

Artículo 16 En las áreas cuya finalidad preponderante sea la residencial o comercial quedará a criterio del nivel regional de salud, previa consulta al nivel central, especificar el tipo de combustible que podrá ser utilizado por equipos o dispositivos de combustión. Quedan incluidos los hornos de panificación, restaurant, fuentes de soda y similares y calderas destinadas a cualquier finalidad.

Artículo 17 Las sustancias odoríferas resultantes de las fuentes que se enumeran a continuación, deberán ser incineradas en post quemadores, a una temperatura mínima de setecientos cincuenta grados celsius (750°C) y un tiempo de residencia de los gases no inferior a cinco décimo (0.5) de segundo o por otro sistema de control de contaminantes, de eficiencia igual o superior:

- Tostaduría de café, cebada, trigo, maní y similares.
- Autoclaves y digestores utilizados en el aprovechamiento de material animal.
- Estufas de secado o curado de piezas pintadas, barnizadas o litografiadas.
- Oxidación de asfalto.
- Ahumado de carnes y similares.
- Fuentes de sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

Cuando las fuentes anteriores estén ubicadas en áreas cuyo uso preponderante sea residencial o comercial se deberá utilizar gas combustible del quemador. En otras áreas quedará a criterio de la autoridad regional de salud definir el combustible.

El post quemador deberá estar provisto de un indicador de temperatura de la cámara de combustión, en un lugar de fácil acceso y visibilidad.

Artículo 18 Las operaciones de cobertura de superficies realizadas por aspersión, tales como pintura o aplicación de barniz, deberá realizarse en un compartimiento apropiado, provisto de adecuada ventilación local de extracción, complementada con un sistema eficiente de retención de material particulado. Se exceptúan las zonas residenciales en las cuales estas actividades quedan prohibidas.

#### REGISTRO Y PERMISOS DE LAS FUENTES DE CONTAMINACION

Artículo 19 Para los efectos de inscripción de los registros y obtención de autorizaciones de instalación, ampliación o funcionamiento, se consideran como fuentes de contaminación las siguientes:

- Actividades de extracción y tratamiento de minerales.
- Actividades industriales
- Servicios de reparación, mantención o de otro tipo y actividades comerciales que produzcan impacto en la contaminación, atmosférica.
- Sistemas públicos o privados de recolección, transporte, tratamiento o disposición final de residuos o materiales sólidos, líquidos o gaseosos.
- Fábricas de hormigón y de revestimiento asfáltico, de instalación transitoria o definitiva.
- Actividades que utilicen o almacenen combustible sólido, líquido o gaseoso para fines comerciales o de servicios o industriales.
- Demolición de construcciones.

Todas las actividades mencionadas en el párrafo anterior, que a la fecha estuviesen instaladas, en ampliación o en funcionamiento estarán obligadas a



000301

VTA.

suministrar a la autoridad sanitaria, cuando esta lo requiera, la siguiente información:

- Ubicación
- Materias primas, productos terminados, sub-productos y residuos.
- Descripción del o los procesos.
- Distribución de maquinarias y equipos
- Cantidad y naturaleza de los contaminantes emitidos y
- Equipos de control de la contaminación.

#### FISCALIZACION Y SANCIONES

Artículo 20 La fiscalización y sanción de las infracciones a lo dispuesto en la presente resolución corresponderá aplicarlas al Servicio Nacional de Salud, de acuerdo a lo dispuesto en el Código Sanitario con excepción de la quema a cielo abierto en áreas saturadas o en vías de hacerlo, que corresponderá al Cuerpo de Carabineros de acuerdo a lo dispuesto en los Artículos 9º y 10º del D.S. N° 144 de 1961.

Las excepciones referentes a la quema a cielo abierto en áreas anteriormente mencionadas corresponderá resolverlas a la autoridad sanitaria.



Tipo Norma :Decreto 185  
 Fecha Publicación :16-01-1992  
 Fecha Promulgación :29-09-1991  
 Organismo :MINISTERIO DE MINERÍA  
 Título :REGLAMENTA FUNCIONAMIENTO DE ESTABLECIMIENTOS EMISORES DE ANHIDRIDO SULFUROSO, MATERIAL PARTICULADO Y ARSENICO EN TODO EL TERRITORIO DE LA REPUBLICA  
 Tipo Versión :Ultima Versión De :01-06-2010  
 Inicio Vigencia :01-06-2010  
 Id Norma :10631  
 Última Modificación :16-ABR-2010 Decreto 22  
 URL :http://www.leychile.cl/N?i=10631&f=2010-06-01&p=

REGLAMENTA FUNCIONAMIENTO DE ESTABLECIMIENTOS EMISORES DE ANHIDRIDO SULFUROSO, MATERIAL PARTICULADO Y ARSENICO EN TODO EL TERRITORIO DE LA REPUBLICA

NOTA

Santiago, 29 de Septiembre de 1991.- Núm. 185.- Hoy se decretó lo que sigue.- Visto: Lo establecido en la Constitución Política de la República en su Artículo 19,

números 8 y 9 y artículo 32 número 8; en el Código Sanitario, Artículos 83 y 89 letra a); en los Decretos Supremos N° 196, de 1986 y N° 144, de 1961, ambos del Ministerio de Salud; en el Decreto Ley N° 3557, de 1981, del Ministerio de Agricultura, en su Artículo N° 11, en el Decreto con Fuerza de Ley N° 302, de 1960, del Ministerio de Hacienda, en su artículo 5°; en la Resolución N° 1215, de 1978, del Ministerio de Salud y en Decreto Supremo N° 240, de 1990, del Ministerio de Bienes Nacionales.

Considerando: Que la Constitución Política de la República garantiza a los habitantes el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación y, por consiguiente, constituye deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza.

Que los estudios realizados por el Ministerio de Minería revelan que más del 90% de las emisiones de anhídrido sulfuroso en el país provienen de instalaciones mineras, existiendo la necesidad de reglamentar la operación de estas fuentes, con el propósito de evitar la contaminación del aire.

Que para ello es menester realizar estudios destinados a medir la calidad del aire, instalar redes permanentes de monitoreo de calidad del aire y desarrollar planes de descontaminación atmosférica en las áreas donde no hay condiciones para dar inmediato cumplimiento a esta reglamentación ambiental.

Que es necesario, asimismo, establecer mecanismos de coordinación de la acción de los ministerios involucrados en todos los aspectos concernientes a la calidad del aire y reglas claras para la incorporación de nuevas fuentes emisoras de anhídrido sulfuroso y de material particulado en el territorio nacional, de modo que la protección del medio ambiente se integre en forma armónica al proceso de desarrollo de la nación.

Que, en cumplimiento de lo anterior, es necesario sustituir las normativas especiales vigentes sobre el particular por una de carácter general y orgánico para todo el territorio nacional, sumándose el país, además, de esta manera a los esfuerzos que se realizan a nivel mundial para disminuir los actuales niveles de contaminación atmosférica en el planeta.

Decreto:

NOTA:

El artículo 2° del DTO 55, Secretaría General de la



Presidencia, modifica la presente norma, en el sentido de dejar sin efecto la declaración de zona saturada por anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) como concentración de 24 horas y como concentración anual, establecida en el presente decreto.

#### TITULO I

##### De los objetivos y definiciones

Artículo 1°.- El presente Decreto regulará a los establecimientos y fuentes emisoras de anhídrido sulfuroso, material particulado o arsénico que se mencionan en el artículo 2°, actualmente en operación o que se instalen en fecha posterior a la publicación de este Decreto:

Artículo 2°.- Se aplicará este Decreto a aquellos establecimientos que por su funcionamiento emiten a la atmósfera a través de sus fuentes emisoras cantidades mayores o iguales a 3 toneladas diarias de anhídrido sulfuroso, ya sean medidas en chimenea o determinadas por balance de maesa equivalente de azufre ó 1 tonelada diaria de material particulado medida en chimenea o por un método aprobado por los Servicios.

Además este Decreto será aplicable a toda fuente emisora de anhídrido sulfuroso o de material particulado localizada en una zona saturada o latente, según se define en el Título III, artículos 9° y 10° de este Decreto.

Artículo 3°.- Para los fines de este Decreto, los términos que se enuncian a continuación tendrán el significado que se especifica para cada uno de ellos:

a) Compensación de emisores. Es un acuerdo entre establecimientos de modo tal, que una de las partes practica una disminución en sus emisores de material contaminante al menos en el monto en que el otro las aumenta.

b) Concentración ambiental: El valor promedio detectado en el aire en microgramos por metro cúbico normal (ug/Nm<sup>3</sup>), de anhídrido sulfuroso, por cualquier monitor ubicado en la zona.

El promedio podrá ser anual, diario u horario. Para determinar la concentración media aritmética anual, el año será medido desde enero a diciembre y sólo se considerarán los días en que efectivamente se realizaron mediciones.

Para efectos de este Decreto, un metro cúbico normal es el que se encuentra a 25° C de temperatura y a 760 mm de mercurio de presión, debiéndose corregir las mediciones realizadas, para llevarlas a este valor normal.

c) Contaminación: La presencia en el aire de anhídrido sulfuroso o de material particulado en concentraciones ambientales mayores a los valores establecidos en las normas de calidad del aire.

d) Emisión: La descarga, directa o indirecta, a la atmósfera de anhídrido sulfuroso o la descarga a la atmósfera de material particulado por chimenea, expresado en unidades de masa por unidad de tiempo. Además, se incluye la descarga producida por procesos de reducción de tamaño, clasificación y traspaso de material particulado.

e) Equipo de captación: El conjunto de dispositivos o prácticas administrativas utilizados por el establecimiento regulado para disminuir la emisión de anhídrido sulfuroso o de material particulado.

f) Establecimiento regulado: Es el conjunto de fuentes emisoras localizadas dentro del área de una propiedad industrial en donde no es posible distinguir

DTO 59  
S. GRAL PRES.  
ART.13 N°1 a)  
D.O. 25.05.1998



el impacto relativo de cada una de ellas en los valores registrados de las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso y material particulado y, que en conjunto, el Artículo 2° de este Decreto les sea aplicable.

g) Fuente emisora: Es el punto o área desde el cual se emite anhídrido sulfuroso, material particulado o arsénico.

h) Material particulado: Son los sólidos sedimentales y en suspensión emitidos por un establecimiento regulado o fuente emisora.

i) Material particulado respirable: Es el material particulado con diámetro aerodinámico menor que 10  $\mu\text{m}$ .

j) Material particulado sedimentable: Es el material particulado, cualquiera sea su tamaño, captado sobre una unidad de superficie en una unidad de tiempo.

k) Modificación de establecimiento regulado: Es la alteración de las instalaciones o procesos de un establecimiento regulado, que involucre un cambio en las emisiones de anhídrido sulfuroso o material particulado.

l) Normas de calidad del aire: Son las concentraciones ambientales máximas permisibles para anhídrido sulfuroso y para material particulado. Las normas de calidad del aire pueden ser de dos tipos, primarias y secundarias.

Las normas primarias se relacionan con la protección de la salud humana y serán aplicables en todo el territorio nacional. Las normas secundarias tienen por objeto preservar los ecosistemas y proteger las explotaciones silvoagropecuarias.

m) Nuevo establecimiento: Todo establecimiento regulado de creación posterior a la entrada en vigencia del presente Decreto.

n) Punto de máximo impacto: Lugar donde sea pertinente la aplicación de las normas de calidad del aire primarias y secundarias y se registre, a nivel de la superficie, la mayor concentración ambiental de anhídrido sulfuroso o de material particulado.

ñ) Red de monitoreo permanente de calidad del aire: El conjunto de equipos de medición de concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso, en régimen continuo, y de material particulado respirable en zonas pobladas.

o) Servicios: Servicios competentes de los sectores de Salud y Agricultura.

## TITULO II

### De las normas de calidad del aire

Artículo 4°.- Con el objeto de proteger la salud de la población, la Comisión Interministerial podrá proponer al Ministerio de Salud que establezca concentraciones ambientales máximas permisibles para anhídrido sulfuroso y aplicables en todo el territorio nacional. Con tal objeto, se establecen las normas primarias de calidad del aire para:

Anhídrido sulfuroso: Ochenta microgramos por metro cúbico normal (80  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) como concentración media aritmética anual, y trescientos sesenta y cinco microgramos por metro cúbico normal (365  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) como concentración media aritmética diaria.

Artículo 5°.- La Comisión Interministerial establecida en el Título VII, podrá proponer al Ministerio de Salud, una norma primaria de calidad del aire para el elemento arsénico en todo el país, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 8° transitorio de este Decreto.

Esta norma, así como los procedimientos para su medición, serán establecidos por Decreto Supremo del

DTO 59  
S. GRAL. PRES.  
ART.13 N°1 b)  
D.O. 25.05.1998  
DTO 59  
S. GRAL. PRES.  
ART.13 N°1 b)  
D.O. 25.05.1998



000304

VTA.

Ministerio del Salud.

Artículo 6°.- Derogado.

Decreto 22,  
S. GRAL. PRES  
Art. 17 a)  
D.O. 16.04.2010

Artículo 7°.- Con el objetivo establecido en el Artículo precedente la Comisión Interministerial establecida en el Título VII de este Decreto, podrá proponer al Ministerio de Agricultura normas secundarias de calidad ambiental para material particulado sedimentable que regirá en áreas con actividad silvoagropecuaria o recursos naturales renovables que considerará:

a) Material particulado sedimentable en su concentración máxima permisible, y

b) La concentración de elementos químicos en el material particulado sedimentable como concentración máxima permisible.

Esta norma, la localización de su aplicación y los procedimientos para su medición, serán establecidos por Decreto Supremo del Ministerio de Agricultura.

### TITULO III

De las zonas de calidad de aire

Artículo 8°.- Para los efectos de la aplicación de este Decreto, el territorio nacional se clasificará conforme a las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso o de material particulado en las siguientes zonas: Saturada, Latente, No Saturada y No Clasificada.

La Comisión Interministerial establecida en el Título VII, podrá proponer la clasificación y modificación de clasificación de una zona a los Ministerios de Salud o de Agricultura, según corresponda. Esta clasificación o modificación de clasificación se hará mediante Decreto del Ministerio que corresponda y solamente regirá para administrar, controlar y fiscalizar la calidad del aire, con el propósito de proteger la salud de la población y las explotaciones silvo-agropecuarias y sin que signifique modificar la división administrativa del país ni la competencia de sus autoridades.

Artículo 9°.- Será zona saturada por anhídrido sulfuroso aquella en que se en que se sobrepasen las normas de calidad del aire de anhídrido sulfuroso en conformidad al Título II del presente Decreto.

Asimismo será zona saturada por material particulado aquella en que se sobrepasen las normas de calidad del aire para material particulado en conformidad al Título II del presente Decreto.

INCISO SUPRIMIDO.

Decreto 22,  
S. GRAL. PRES  
Art. 17 b)  
D.O. 16.04.2010

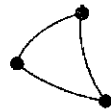
Artículo 10°.- Será zona latente por anhídrido sulfuroso aquella donde la medición de la concentración ambiental de anhídrido sulfuroso se sitúe en el intervalo 80-100% del valor de las normas de calidad del aire que sea pertinente aplicar a dicha zona, en conformidad al Título II del presente Decreto.

Asimismo será zona latente por material particulado aquella zona donde la medición de la concentración ambiental de material particulado se sitúe en el intervalo definido en el inciso anterior.

Artículo 11°.- INCISO SUPRIMIDO.

Asimismo será zona saturada por material particulado

Decreto 22,  
S. GRAL. PRES.



aquella donde la medición de la concentración ambiental de material particulado se sitúe en el intervalo definido en el inciso anterior.

Art. 17 c)  
D.O. 16.04.2010

Artículo 12°.- Será zona saturada natural por anhídrido sulfuroso o por material particulado aquella zona donde la medición de las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso o material particulado respectivamente, sobrepasen las normas de calidad del aire establecidas por este Decreto y su valor no sea consecuencia de emisiones originadas por la actividad humana.

Artículo 13°.- Las zonas no clasificadas serán aquellas donde no se dispone de información certificada para su clasificación.

Artículo 14°.- Las zonas de clasificación de calidad del aire se determinan por menciones certificadas por los Servicios, realizados mediante estaciones meteorológicas y equipos de detección de anhídrido sulfuroso y de material particulado.

#### TITULO IV

##### De los requisitos para establecimientos regulados

Artículo 15°.- Todos los establecimientos regulados que estén en funcionamiento o deseen instalarse o reanudar operaciones o modificar sus instalaciones y que estén localizados en zonas latentes, no saturadas o no clasificada deberán regular sus emisiones de anhídrido sulfuroso y material particulado, de modo que se cumplan las normas de calidad del aire que se apliquen a dicha zona, en el punto de máximo impacto, y cumplir las demás disposiciones establecidas en este Decreto.

Artículo 16°.- Todos los establecimientos regulados que estén en funcionamiento o deseen instalarse o reanudar operaciones o modificar sus instalaciones y que estén localizados en zona saturada, deberán cumplir las siguientes disposiciones:

a) En el caso que una zona saturada es impactada por las emisiones de sólo un establecimiento regulado, éste deberá reducir sus niveles de emisión en forma que establezca el Artículo 17° de este Decreto, con el objetivo que cumpla con las normas de calidad de aire que se apliquen a dicha zona, en el punto de máximo impacto.

b) Si la zona saturada es impactada por las emisiones de más de un establecimiento regulado, éstos deberán reducir sus emisiones, hasta cumplir con las normas de calidad del aire que se apliquen a dicha zona, en el punto de máximo impacto. Las reducciones se harán en forma proporcional a su contribución a las concentraciones ambientales medidas en dicha zona, o en la proporción que ellos libremente acuerden. En este último caso, deberá dejarse constancia de la proporción acordada ante los Servicios. Si no se cumple esta disposición, debido a falta de acuerdo entre las partes, los Servicios deberán establecer las metas de reducción para los establecimientos involucrados y éstos deberán presentar Planes de Descontaminación de acuerdo a lo estipulado en el Título VI.

c) Si la zona saturada es impactada simultáneamente por las emisiones de establecimientos regulados y por otras fuentes emisoras de modo tal que las primeras no puedan cumplir, por sí solas, con las normas de calidad del aire en el punto de máximo impacto, descritas en el Título II que se apliquen a dicha zona, la autoridad competente deberá establecer planes específicos de descontaminación para la zona en coordinación con los Servicios.

En la Región Metropolitana, el plan de





000305

VTA.

descontaminación a que se refiere la letra c) precedente podrá ser propuesto por la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana, creada el 18 de abril de 1990 por D.S. N° 349, del Ministerio del Interior.

Artículo 17°.- Los establecimientos regulados localizados en zonas saturadas, deberán realizar Planes de Descontaminación de acuerdo al Título VI de este Decreto, en un plazo máximo de 6 meses a contar de la fecha de publicación del Decreto que declare la zona como saturada. El propósito de estos planes será la reducción de emisiones para cumplir con lo señalado en el Artículo precedente, en un plazo que se determinará de acuerdo al procedimiento prescrito en el artículo 27° del presente Decreto.

Artículo 18°.- Sin perjuicio de lo mencionado en los Artículos 16° y 17°, todos los establecimientos regulados que se encuentren ubicados en zonas saturadas, deberán llevar un registro diario de las emisiones de anhídrido sulfuroso determinadas por balance de masa equivalente de azufre o medidas en chimenea y un registro semestral de materia particulado medido en chimenea o por un método aprobado por los Servicios. Esta información deberá ser entregada a los Servicios cuando ellos así lo requieran.

Artículo 19°.- Los establecimientos regulados en funcionamiento localizados en zonas saturadas deberán, además disponer de un Plan de Acción Operacional para ser aplicado en caso de episodios críticos. En estos casos, deberán poner en conocimiento inmediato del Servicio de Salud correspondiente, las concentraciones horarias de anhídrido sulfuroso cuando alcancen los siguientes niveles en las zonas representativas de la población, en especial los sectores que incluyen los hospitales y los establecimientos educacionales, para que se apliquen las medidas de precaución que se recomiendan:

Concentración horaria (ppm)	Situación	Medidas de precaución
0,75	Aviso de alerta	Ancianos y personas con enfermedades cardíacas y respiratorias deberán permanecer en sus casas. En ellas se deberán cerrar puertas y ventanas.
1,00	Aviso de advertencia	Adicionalmente a lo anterior los escolares deberán suspender las clases de gimnasia y las actividades en el exterior.
1,5	Aviso de emergencia	Adicionalmente a lo anterior, todas las personas deben permanecer en sus casas minimizando las actividades físicas, desplazándose sólo para concurrir a su trabajo o por razones de fuerza mayor.



Artículo 20°.- Los establecimientos regulados que se encuentren en funcionamiento, a la fecha de entrada en vigencia de este Decreto y que deseen modificar sus instalaciones, conforme a lo que se indica en el letra K) del artículo 3°, deberán cumplir, además, con los requisitos que se establecen en el Título V.

Artículo 21°.- Aquellos establecimientos regulados que por las características de sus funciones operan en forma estacional o aquellas que no se encuentren en funcionamiento a la entrada en vigencia de este Decreto y que deseen readular sus operaciones, deberán notificar la reiniciación de actividades a los Servicios.

Lo señalado en el inciso anterior no excluye al establecimiento, regulado del cumplimiento de lo estipulado en este Decreto si por causa de su funcionamiento se sobrepasan las normas de calidad del aire.

#### TITULO V

De los requisitos para el funcionamiento de nuevos establecimientos regulados

Artículo 22°.- Todo nuevo establecimiento regulado que desee instalarse en una zona clasificada como saturada, latente, no saturada o no clasificada, deberá solicitar y obtener una evaluación previa del Servicio de Salud correspondiente, en la forma que lo establece el Código Sanitario, como requisito para obtener la autorización municipal, sin perjuicio de otras autorizaciones que deba obtener.

Artículo 23°.- Para efectos del informe de evaluación indicado en el Artículo anterior, el interesado deberá presentar al Servicio de Salud respectivo, y al Servicio Agrícola Ganadero cuando corresponda, un informe técnico en los términos señalados en el artículo 24° del presente Decreto, el cual será evaluado de acuerdo al procedimiento que se señala en el Artículo 25°.

Artículo 24°.- El informe técnico deberá incluir, a lo menos, los siguientes antecedentes a fin de evaluar el impacto ambiental de las nuevas emisiones en las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso o de material particulado de la zona:

- a) Descripción conceptual del proceso operativo, incluyendo su localización;
- b) Balance de azufre del proceso y caracterización cuantitativa y cualitativa de los gases y del material particulado.
- c) Descripción de las principales características del ecosistema de la zona, estableciendo su línea base y una indicación del impacto ambiental del proyecto sobre el ecosistema;
- d) Descripción de los equipos de captación de anhídrido sulfuroso y de material particulado, con indicación de su eficiencia probable;
- e) Datos de monitoreo de calidad del aire en la zona donde desea instalarse la fuente y en los probables puntos de máximo impacto, en lo que respecta a anhídrido sulfuroso y material particulado, realizados en forma periódica, de acuerdo a la mejor información disponible;
- f) Indicación de la disposición final de los residuos sólidos y líquidos generados por los equipos de captación;
- g) Comportamiento histórico y estacional de las siguientes variables meteorológicas; dirección y velocidad del viento en altura y superficie, temperatura del aire, humedad y presión atmosféricas, radiación solar, régimen de lluvias y nubosidad, de acuerdo a la mejor información disponible;
- h) Aplicación de un modelo matemático a la predicción

000306

VTA

de la dispersión de contaminantes atmosféricos considerando todas condiciones las meteorológicas de la zona, con el propósito de confeccionar perfiles de concentración ambiental para anhídrido sulfuroso y material particulado en función de la distancia del foco emisor, definiendo el punto de máximo impacto e indicando la probable concentración de anhídrido sulfuroso y de material particulado que allí se generaría, y

i) Un informe que permita estimar las probables consecuencias de tipo ambiental que se producirían en situaciones adversas de fuerza mayor.

Artículo 25°.- La evaluación del informe técnico a que se refieren los Artículos precedentes se realizará de acuerdo al siguiente procedimiento:

a) Análisis del informe técnico por parte del Servicio de Salud, y por el Servicio Agrícola Ganadero cuando corresponda, los que para tal efecto podrán solicitar la opinión de la Comisión Regional del Medio Ambiente, establecida por D.S. N° 240, de 1990, del Ministerio de Bienes Nacionales y además, si estimaran procedente, de la Comisión Interministerial de Calidad del Aire, a que se refiere el Título VII, con el objeto de elaborar el informe de evaluación respectivo.

b) En el caso que el nuevo establecimiento esté en una zona clasificada como latente, no saturada o no clasificada, el objetivo de la evaluación será verificar que se han proyectado las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de las normas de calidad del aire aplicables a la zona, considerando las emisiones que incorpora el nuevo establecimiento conjuntamente con la totalidad de las emisiones que la afectan al momento de la presentación de la solicitud de evaluación.

En el caso que el nuevo establecimiento esté en una zona clasificada como saturada, el objetivo de la evaluación será verificar: (i) que la suma de las nuevas emisiones a las generadas por los establecimientos regulados existentes que afectan a la zona permite cumplir con el plan de descontaminación que en ésta se aplica; y (ii) que existen mecanismos de compensación de emisiones para los cuales la incorporación del nuevo establecimiento regulado en la zona permite eliminar de ésta una cantidad mayor o igual al 100% de las emisiones que él aportará.

c) La emisión del informe de evaluación se realizará en el plazo de ciento veinte días, contado desde su recepción. Este informe deberá contener las conclusiones del Servicio de Salud y del Servicio Agrícola Ganadero, cuando corresponda, respecto al cumplimiento del objetivo establecido en la letra b) precedente, y de los eventuales requisitos de salubridad pública y de monitoreo los cuales se debiera condicionar su funcionamiento.

#### TÍTULO VI

#### De los planes de descontaminación

Artículo 26°.- El Plan de Descontaminación a que se refiere el Artículo 17° deberá contemplar:

a) El informe técnico a que se refiere el artículo 24°.

b) Las medidas, costos y plazos necesarios para cumplir con los artículos 16° y 17°. Para ello se deberá entregar una proyección de las emisiones anuales, en el corto y largo plazo, los equipos de captación que se proyecta instalar y su impacto probable sobre las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso y de material particulado.

En el caso que la zona se encuentre impactada por las emisiones de más de un establecimiento regulado, éstos podrán presentar el Plan de Descontaminación en forma conjunta.

Artículo 27°.- La evaluación del Plan de



Descontaminación a que se refiere el Artículo 17° se realizará de acuerdo al siguiente procedimiento.

a) Presentación del Plan al Intendente Regional para su análisis.

b) Para tal efecto se podrá solicitar informes a los Servicios, a la Comisión Regional del Medio Ambiente y a la Comisión Interministerial de Calidad del Aire.

c) El objetivo del informe será analizar si los plazos propuestos son compatibles con las políticas nacionales y regionales económicas, sociales y ambientales.

d) El Intendente remitirá el Plan y los informes al Presidente de la República para su análisis y resolución.

e) El Presidente de la República, en el caso que lo estime conveniente, aprobará el Plan respectivo mediante Decreto Supremo.

El procedimiento se realizará en un plazo de ciento veinte días, contados desde su recepción por el Intendente Regional. Los plazos indicados en el Plan regirán a partir de la fecha de publicación del Decreto respectivo que lo autoriza.

#### TITULO VII

##### De la Comisión Interministerial de Calidad del Aire

Artículo 28°.- Con el fin de asesorar al Presidente de la República en el cumplimiento de las obligaciones establecidas en este Decreto, se crea la Comisión Interministerial de Calidad del Aire, la que estará formada por los Ministros de Agricultura, Economía, Minería y Salud, la que actuará como Sub-Comité de Ministros de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

La Comisión Interministerial de Calidad del Aire contará con una Secretaría Técnica, cuya función será la de asesorar al Subcomité de Ministros en el cumplimiento de las tareas establecidas en el Artículo 30° de este Decreto. Esta Secretaría estará radicada en el Ministerio que se determine mediante Decreto Supremo del Ministerio de Minería, el que llevará la firma de los Ministros de Agricultura, Economía y Salud. Para tal efecto se tendrá en consideración la proposición que acuerde el Subcomité de Ministros en su primera sesión.

Artículo 29°.- La Comisión tendrá como órgano de consulta y análisis a un Grupo Técnico constituido por el Jefe del Departamento de Programas sobre el Medio Ambiente del Ministerio de Salud, el Director de la División de Protección de los recursos Naturales Renovables del Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura, el Jefe del Departamento Técnico del Ministerio de Minería, el Jefe del Departamento de Política Comercial e Industrial del Ministerio de Economía y por el Secretario Técnico de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o por quienes los respectivos Ministros designen.

La Secretaría Técnica deberá sesionar al menos mensualmente con el Grupo Técnico debiendo levantar actas de lo tratado en dichas sesiones.

Artículo 30°.- Corresponderá a la Comisión Interministerial:

a) Proponer la clasificación y la modificación de la clasificación de una zona de acuerdo a la calidad del aire;

b) Estudiar y evaluar las áreas donde deben establecerse normas de calidad del aire y proponerlas a los Ministerios con atribuciones en esta materia;

c) Evaluar y recomendar la aprobación de los planes de descontaminación a que se refieren los artículos 16°, 17°, y el Título VI;

d) Proponer medidas de coordinación con los establecimientos regulados y los Servicios para realizar mediciones de calidad del aire en las localidades que se requiera;

000307

V T A.

e) Analizar los informes a que se refieren los artículos 23°, 24° y 25°, que presenten los establecimientos regulados;

f) Proponer el plazo dentro del cual los establecimientos regulados deberán cumplir con lo dispuesto en este Decreto;

g) Proponer normas, acciones, estudios y, en general, ampliamente, cualquier mecanismo o iniciativa procedente a juicio de la Comisión y destinadas al cumplimiento de las finalidades propias del presente Decreto.

Artículo 31°.- La Comisión Interministerial se constituirá en el plazo de treinta días, contados desde la publicación de este Decreto y adoptará los procedimientos propios de su funcionamiento.

#### TITULO VIII

##### De la Fiscalización de la calidad del aire

Artículo 32°.- Para los efectos del cumplimiento de este Decreto, corresponderá a los Servicios definidos en el Artículo 3° letra o), lo siguiente:

a) Fiscalizar la calidad del aire, en el territorio nacional, con el objeto de que se cumpla con las normas de calidad del aire establecidas por la autoridad competente.

b) Fiscalizar las redes de monitoreo que los establecimientos regulados instalen para el cumplimiento de este Decreto, en cuanto a su buen funcionamiento y el correcto registro de los datos.

c) Fiscalizar el cumplimiento de los Planes de Desccontaminación a que se refiere el Artículo 17° y Título Vi del presente Decreto, en cuanto a los plazos y niveles de emisión anuales de anhídrido sulfuroso y material particulado.

Artículo 33°.- Los Servicios podrán solicitar mediante Resolución fundada a un establecimiento regulado una declaración sobre la caracterización y cantidad de sus emisiones mediante mediciones de emisión en chimenea o, si desarrolla un Plan de Desccontaminación que proyecte un sistema de medición de calidad del aire, de modo que instale, calibre, opere y mantenga a su costo una red de monitoreo permanente de la calidad del aire con el objeto de detectar y registrar las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso y material particulado, según corresponda.

La declaración o el proyecto deben ser presentados a los Servicios dentro de un plazo no superior a 180 días desde el aviso correspondiente, junto a un programa de ejecución. Este programa contendrá, a lo menos, un cronograma detallado en el que se especifiquen las etapas y el plazo máximo de ejecución; además, deberá contemplar el envío de los datos registrados del monitoreo a los Servicios en forma periódica.

Artículo 34°.- A través de Resolución fundada de los Servicios, se aprobará los proyectos de redes de monitoreo en lo que dice relación con los datos a entregar, la operación y ubicación de los monitoreo y la metodología para el envío de los datos registrados a la autoridad, dentro de un plazo máximo de 60 días.

Además, mediante Resolución fundada de los Servicios, se podrá disponer aprobar la modificación de la localización, número y tipo de los equipos de detección de anhídrido sulfuroso o de material particulado, integrantes de la red de monitoreo de calidad del aire.

En el caso que dos o más Servicios tengan competencia decisoria en los asuntos señalados en los incisos anteriores, deberán actuar en forma coordinada.

El sistema de monitoreo deberá estar plenamente instalado y en operación en el plazo propuesto en el Plan



de Descontaminación promulgado por el Presidente de la República mediante decreto supremo en conformidad a lo establecido en la letra e) del artículo 27° del presente decreto.

000308

Artículo 35°.- Para efectos del monitoreo de la calidad del aire, se considerarán válidas las mediciones de concentraciones que:

- a) SUPRIMIDA.
- b) SUPRIMIDA.
- c) Cumplan a satisfacción los requerimientos para instalación, calibración y operación de los equipos de muestreo y análisis, aprobados por los Servicios.
- d) Otros requerimientos establecidos aprobados por los Servicios.

Decreto 22,  
S. GRAL. PRES  
Art. 17 d)  
D.O. 16.04.2010

#### TITULO IX

##### De las Sanciones

Artículo 36°.- Las contravenciones a las obligaciones que impone el presente decreto, se sancionarán de acuerdo a lo establecido en el Libro X del Código Sanitario y en el decreto ley N° 3.557, de 1980, del Ministerio de Agricultura, según corresponda.

#### TITULO X

##### De las derogaciones

Artículo 37°.- Deróganse el Decreto Supremo N° 196, de 1986, del Ministerio de Salud y toda otra norma reglamentaria contraria al presente decreto, sin perjuicio de lo establecido en el artículo transitorio N° 9.

#### ARTICULOS TRANSITORIOS

Artículo 1°.- Para los efectos de la aplicación de este Decreto, se declara como zona latente para anhídrido sulfuroso a la localidad de Chagres, comuna de Catemu, provincia de San Felipe-Los Andes y la Dirección Regional del Servicio Agrícola y Ganadero de la región de Valparaíso, mediante Resolución conjunta N° 248 de 7 de junio de 1985, que permite la detección y registro de las mediciones de concentración de anhídrido sulfuroso en la atmósfera del área agrícola circundante a la Fundición de Chagres.

Artículo 2°.- La Compañía Minera Disputada de Las Condes deberá mantener y calibrar periódicamente y a su costo, la red permanente de monitoreo de la calidad del aire actualmente en operación aprobada por el Servicio de Salud de San Felipe-Los Andes y la Dirección Regional del Servicio Agrícola y Ganadero de la región de Valparaíso, mediante Resolución conjunta N° 248 de 7 de junio de 1985, que permite la detección y registro de las mediciones de concentración de anhídrido sulfuroso en la atmósfera del área agrícola circundante a la Fundición de Chagres.

Artículo 3°.- La División Chuquicamata de Codelco-Chile deberá mantener y calibrar periódicamente y a su costo, la red permanente de monitoreo de la calidad del aire actualmente en operación aprobada por Resolución 1.273 del 1° de diciembre de 1986 del Director del Servicio de Salud de Antofagasta, que permite la detección y registro de las mediciones de concentración de anhídrido sulfuroso y material particulado respirable, en la atmósfera de las áreas poblacionales del campamento de Chuquicamata y de la ciudad de Calama.

Artículo 4°.- La Empresa Nacional de Minería y



Chilgener S.A., deberán instalar una red de monitoreo permanente de calidad del aire, en la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas, 30 días después de la publicación de este Decreto y presentar un Plan de Descontaminación antes del 31 de julio de 1992.

Artículo 5°.- La División El Teniente de Codelco-Chile deberá instalar una red permanente de monitoreo de calidad del aire en la zona circundante a la fundición Caletones, 30 días después de la publicación de este Decreto.

Artículo 6°.- La División El Salvador de Codelco-Chile deberá instalar una red de monitoreo de calidad del aire para detectar y registrar las concentraciones ambientales de anhídrido sulfuroso y material particulado respirable en el Campamento de Potrerillos, 30 días después de la publicación de este Decreto.

Artículo 7°.- La Empresa Nacional de Minería, ENAMI, deberá instalar una red permanente de monitoreo de calidad del aire en la zona circundante a la fundición Hernán Videla Lira, antes del 30 de Junio de 1992.

Artículo 8°.- Las disposiciones del presente Decreto Supremo respecto de arsénico se aplicarán a los establecimientos emisores de arsénico una vez que se haya publicado el Decreto Supremo a que se refiere el Artículo 5°. Para esto, el Ministerio de Salud dispondrá de un plazo de 180 días para dictar la norma de calidad del aire a que se refiere el Artículo 5°.

Artículo 9°.- La Compañía Minera Disputada de Las Condes tendrá el plazo de 1 año, para adecuarse a las disposiciones establecidas en el presente Decreto. Producida dicha adecuación, la que será certificada por los Servicios, se dará por derogado el Decreto Supremo N° 28 de 1991, del Ministerio de Agricultura.

Anótese, regístrese, tómese razón, comuníquese y publíquese.- PATRICIO AYLWIN AZOCAR, Presidente de la República.- Juan Hamilton Depassier, Ministro de Minería.- Maximiliano Cox Balmaceda, Ministro de Agricultura, subrogante.- Jorge Jiménez de la Jara, Ministro de Salud.- Carlos Ominami Pascual, Ministro de Economía, Fomento y Reconstrucción.

Lo que transcribo a Ud., para su conocimiento.- Saluda atentamente a Ud.- Iván Valenzuela Rabi, Subsecretario de Minería.



Tipo Norma :Decreto 113  
Fecha Publicación :06-03-2003  
Fecha Promulgación :06-08-2002  
Organismo :MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA  
Título :ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE AZUFRE (SO2)  
Tipo Versión :Unica De : 06-03-2003  
Inicio Vigencia :06-03-2003  
Id Norma :208200  
URL :http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=

## ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIOXIDO DE AZUFRE (SO2)

Núm. 113.- Santiago, 6 de agosto de 2002.- Vistos: Lo dispuesto en el artículo 19 N° 8 de la Constitución Política; en el artículo 32 de la ley 19.300; el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, aprobado por el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, que Reglamenta el Funcionamiento de los Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el Territorio de la República; la resolución N°1.215 de 1978 del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud, que establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica; la resolución exenta N° 1.514 de 1999, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); partículas totales en suspensión (PTS); monóxido de carbono (CO); ozono (O3) y dióxido de nitrógeno (NO2); la resolución exenta N° 915 de 2000, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso (SO2); el análisis general del impacto económico y social de la norma señalada; las observaciones formuladas en la etapa de consulta al anteproyecto de norma; el acuerdo N°180 de 3 de mayo de 2001, del Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que aprobó el proyecto definitivo de la norma de calidad; los demás antecedentes que obran en el expediente público respectivo y lo dispuesto en la resolución N°520 de 1996, de la Contraloría General de la República que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la resolución N° 55 de 1992, de la Contraloría General de la República.

## Considerando:

Que de acuerdo con lo preceptuado en la ley 19.300, es deber del Estado dictar y revisar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente, de manera de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y periodos, un riesgo para la salud de las personas.

Que sobre la base de los antecedentes disponibles y que constan en el expediente público, se revisó la norma primaria de calidad de aire para anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre (SO2), contenida en la resolución 1.215 de 1978, del Delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud y en el decreto supremo N°185 de 1991, del Ministerio de Minería, en conformidad al procedimiento y los contenidos establecidos en el decreto supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Que el dióxido de azufre es un importante broncoconstrictor, desde los primeros minutos de exposición y su efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación, al respirar aire frío y seco y en personas con hiperreactividad bronquial.

Que la exposición a este contaminante puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas.

Que el dióxido de azufre se origina de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.), de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales.

Que el dióxido de azufre puede presentar efectos adicionales a los de salud tales como efectos sobre la vegetación, ecosistemas y materiales expuestos a este contaminante.

Que el dióxido de azufre es un precursor de aerosoles secundarios.

Que a objeto de estudiar los efectos que se producen en la salud de las personas, se requiere recopilar información sobre la incidencia y prevalencia de





000310

VTA

asmáticos y los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre en periodos cortos de exposición.

Que la definición de niveles de emergencia ambiental tiene por objetivo proteger a la población en situaciones de excepción, de niveles de concentración que por su magnitud y periodo de exposición pueden producir efectos agudos sobre la población, especialmente la más sensible.

Para el caso de los niveles que definen situaciones de emergencia ambiental y por estar éstos vinculados desde el punto de vista conceptual a efectos agudos, no se establecen niveles de emergencia ambiental como concentración anual.

Que en nuestro país, las situaciones de emergencia ambiental están asociadas a niveles de exposición como concentración de 1 hora y se verifican principalmente en áreas circundantes a grandes megafuentes emisoras de SO<sub>2</sub>. En algunas de estas áreas se han registrado altos niveles de concentración de SO<sub>2</sub> en el aire, debido a la magnitud de las emisiones de estas megafuentes.

Que los niveles y periodo de exposición establecidos son los que hoy en día se encuentran vigentes en el marco del DS N°185 de 1991, del Ministerio de Minería. Para estos niveles, y en las áreas mencionadas, existen en aplicación planes operacionales para el control de los episodios críticos, en el contexto de planes de descontaminación vigentes.

D e c r e t o :

#### TITULO I

##### Disposiciones Generales y Definiciones

Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire.

Artículo 2.- Para efectos de lo dispuesto en la presente norma, se entenderá por:

a. ppbv: Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón.

b. Concentración de Dióxido de Azufre: Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o en microgramos por metro cúbico normal (ug/m<sup>3</sup>N).

La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celsius (25°C).

c. Concentración de 1 hora: Promedio aritmético de los valores de concentración de dióxido de azufre medidos en una 1 hora.

d. Concentración de 24 horas: Promedio aritmético de los valores de concentración de 1 hora de dióxido de azufre correspondientes a un bloque de 24 horas sucesivas, contadas desde las cero horas de cada día.

e. Concentración trimestral: Promedio aritmético de los valores de concentración de 24 horas de dióxido de azufre correspondientes a un periodo de tres meses sucesivos.

f. Concentración anual: Promedio aritmético de los valores de concentración trimestral de dióxido de azufre correspondientes a un año.

g. Año calendario: Período que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.

h. Estación monitorea con representatividad poblacional para gas dióxido de azufre (EMRPG): Una estación de monitoreo que se encuentra localizada en un área habitada. Se entiende como área habitada, una porción del territorio donde vive habitual y permanentemente un conjunto de personas.

i. Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o ug/m<sup>3</sup>N más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_k < X_{n-1} < X_n$$

El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q \times n$ , donde "q" = 0.99 para el percentil 99, y "n" corresponde al número de datos de una serie.

El valor "k" se aproximará al número entero más próximo.



## TITULO II

Nivel de Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre en Aire

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 31 ppbv (80 ug/m3N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, cuando el promedio aritmético de los valores de concentración anual de tres años calendarios sucesivos, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar la concentración anual para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 4.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 96 ppbv (250 ug/m3N).

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario, en cualquier estación monitora EMRPG, fuere mayor o igual al nivel indicado en el inciso precedente.

Si el periodo de medición en una estación monitora EMRPG no comenzare el 1° de enero, se considerarán los tres primeros periodos de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones hasta disponer de tres años calendarios sucesivos de mediciones.

Se considerará sobrepasada la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, si en el primer o segundo periodo de 12 meses a partir del mes de inicio de las mediciones y, al reemplazar el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas para los periodos faltantes por cero, el promedio aritmético de los tres periodos resultare mayor o igual al nivel de la norma.

Artículo 5.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración de una hora:

Nivel 1: 750 - 999 ppbv	(1.962 - 2.615 ug/m3N)
Nivel 2: 1.000 - 1.499 ppbv	(2.616 - 3.923 ug/m3N)
Nivel 3: 1.500 ppbv o superior	(3.924 ug/m3N o superior)

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre podrán ser obtenidos mediante la aplicación de una metodología de pronóstico de calidad de aire aprobada por el Servicio de Salud respectivo en el marco del plan de prevención o de descontaminación que corresponda, o por medio de la constatación de las concentraciones del contaminante a partir de alguna de las estaciones monitoras EMRPG.

Para los efectos de lo señalado anteriormente, se entenderá por metodología de pronóstico de calidad de aire a aquella que:

- a. Entregue un procedimiento mediante el cual es posible predecir la ocurrencia de alguno de los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre.
- b. Entregue el grado de confiabilidad de acuerdo a lo dispuesto en el respectivo plan de prevención o de descontaminación.
- c. Considere, además, los siguientes elementos:



000311

VTA

- La zona geográfica de aplicación, y
- La evaluación y validación de la metodología de pronóstico.

d. Considere, según corresponda y la situación especial en la cual va a ser aplicada, entre otras, las siguientes variables:

- Emisiones de dióxido de azufre,
- Condiciones meteorológicas,
- Condiciones topográficas,
- Procesos de acumulación y remoción de contaminantes

Para la aprobación de la metodología de pronóstico deberá considerarse como antecedente un informe técnico realizado por expertos nacionales o internacionales sobre la metodología de pronóstico.

La metodología de pronóstico aprobada por el Servicio de Salud mediante resolución fundada, deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial.

Se podrá omitir o dejar sin efecto una declaración de situación de emergencia ambiental si se detectare un cambio en las condiciones meteorológicas en forma posterior a la hora de comunicación del pronóstico o a la constatación de la superación de los niveles de calidad de aire, y siempre que dicho cambio asegure una mejoría tal en las condiciones de calidad de aire que invalide los resultados entregados por el pronóstico o que asegure la reducción de los niveles de concentración de calidad de aire por debajo de aquellos que originan situaciones de emergencia ambiental.

Artículo 6.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los valores que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

Cuando el dióxido de azufre fuese precursor de otro contaminante normado, los planes de descontaminación o prevención que se establezcan para el control de este contaminante, podrán incluir medidas de reducción de emisiones del contaminante dióxido de azufre, independientemente del cumplimiento de las normas de calidad de aire que esta norma establece.

### TITULO III

#### Metodología de Medición de la Norma

Artículo 8.- La medición de la concentración de dióxido de azufre en el aire se realizará mediante uno cualesquiera de los siguientes métodos de medición:

- a. Fluorescencia ultravioleta;
- b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ y,
- c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 9.- Para efectos de cumplir con lo establecido en el artículo 13, podrán utilizarse técnicas de medición alternativas a las señaladas en el artículo precedente, las que deberán ser aprobadas por el Servicio de Salud respectivo. Para el monitoreo mediante estas técnicas se deberá considerar lo establecido en la letra (h) del artículo 2 del presente decreto.

### TITULO IV

#### Validación de la Información de Monitoreo de Calidad de Aire



Artículo 10.- Se considerará válida la concentración anual si, para cada uno de los trimestres de un año, se dispusiere de a lo menos un 75% de los datos de concentración de 24 horas para ese periodo.

Se considerará válido el percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas en un año si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 24 horas para el periodo de un año, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un año (ciclo estacional).

Se considerará válida la concentración de 24 horas si, a lo menos, el 75% de los datos de concentración de 1 hora para un periodo de 24 horas, se encontraren disponibles y dan cuenta de la variación de los datos a lo largo de un día (ciclo diario).

En el evento de que se dispusiere de menos del 75% de los datos de concentración de 1 hora, la concentración de 24 horas será considerada, sólo para efectos de verificar el cumplimiento de la norma primaria de calidad de aire como concentración de 24 horas, si, al reemplazar por cero los datos que faltaren para completar el 75% requerido, la concentración de 24 horas fuere mayor o igual al valor de la norma.

Si se dispusiere de datos de concentración de 1 hora para 18, 19, 20, 21, 22 o 23 horas, la concentración de 24 horas se calculará como el promedio aritmético de los datos de concentración de 1 hora disponibles, utilizando como divisor 18, 19, 20, 21, 22 o 23, según corresponda.

Se considerará válida la concentración de 1 hora si, a lo menos, se dispusiere de 30 minutos sucesivos de medición.

#### TITULO V

##### Fiscalización de la Norma

Artículo 11.- Corresponderá a los Servicios de Salud del país, y en la Región Metropolitana al Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente norma.

#### TITULO VI

##### Implementación de la Norma

Artículo 12.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de seis meses, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, determinar mediante resolución fundada aquellas estaciones monitoras que se considerarán como EMRPG.

Artículo 13.- Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de tres años, contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, realizar un diagnóstico de la calidad de aire para dióxido de azufre según sus competencias territoriales.

Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible así como la que se genere a partir de organismos públicos y privados.

Los Servicios de Salud respectivos deberán dentro del plazo de dos años, contados desde que se disponga del diagnóstico, elaborar e implementar un programa priorizado de monitoreo para el seguimiento de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre.

Dicho programa deberá ser revisado periódicamente en función de los nuevos antecedentes de calidad de aire de que se disponga, los cuales deberán incorporar la información tanto pública como privada.

Artículo 14.- El monitoreo de la calidad de aire, según los métodos de medición señalados en los artículos octavo y noveno del presente decreto, deberá realizarse de acuerdo a las disposiciones establecidas por el Servicio de Salud respectivo, el que deberá considerar, cuando se encuentre disponible, lo que señale el manual de aplicación técnico de la norma.

El manual de aplicación técnico de la norma deberá ser elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 15.- Los Servicios de Salud respectivos deberán tener a disposición de la ciudadanía los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

#### TITULO VII

##### Generación de Antecedentes para la Regulación de Efectos Agudos



000312

VTA.

Artículo 16.- Los Servicios de Salud respectivos, en especial en aquellas localidades en las que existe población expuesta a altos niveles de concentración de dióxido de azufre en periodos cortos de exposición, deberán recopilar la siguiente información:

- Niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 5 minutos y una hora, a partir del monitoreo de la calidad de aire de dióxido de azufre.
- Incidencia y prevalencia de asma en la población.

## TITULO VIII

## Entrada en Vigencia

Artículo 17.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes siguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual y de 24 horas, así como los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental, entrarán en vigencia transcurridos tres años contados desde que entre a regir el presente decreto. Con igual fecha, entrarán en vigencia los incisos cuartos de los artículos tercero y cuarto del presente decreto.

Anótese, tómese razón y publíquese.- RICARDO LAGOS ESCOBAR, Presidente de la República.- Mario Fernández Baeza, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Osvaldo Artaza Barrios, Ministro de Salud.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento.- Saluda atte. a Ud., Gonzalo Martner Fanta, Subsecretario General de la Presidencia de la República.



Tipo Norma :Decreto 22  
Fecha Publicación :16-04-2010  
Fecha Promulgación :03-03-2009  
Organismo :MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA  
Título :ESTABLECE NORMA DE CALIDAD SECUNDARIA DE AIRE PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO2)  
Tipo Versión :Unica De : 01-06-2010  
Inicio Vigencia :01-06-2010  
Id Norma :1012498  
URL :http://www.leychile.cl/N?i=1012498&f=2010-06-01&p=

## ESTABLECE NORMA DE CALIDAD SECUNDARIA DE AIRE PARA ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO2)

Núm. 22.- Santiago, 3 de marzo de 2009.- Vistos: Los artículos 19 N° 8 y 32 N° 6 de la Constitución Política de la República; el artículo 32 de la ley N° 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente; los artículos 3 letra k) y 8, de la ley N° 18.755; el DS. N° 185 de 1991, del Ministerio de Minería, que estableció la norma secundaria de calidad ambiental para anhídrido sulfuroso; el Acuerdo N° 149 de fecha 28 de abril de 2000, del Consejo Directivo de CONAMA que aprobó el Quinto Programa Priorizado de Normas, publicado en el Diario Oficial el día 15 de mayo de 2000; lo dispuesto en los artículos 36 y 37 del DS. N° 3 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Reglamento para la dictación de normas de calidad y emisión; la Resolución Exenta N° 2.645 de 2005, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de la norma; la Resolución Exenta N° 1.268 de fecha 4 de junio de 2007, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial el día 15 de junio del 2007 y en el Diario La Nación el día 22 de junio de 2007, que aprobó el anteproyecto respectivo; la opinión del Consejo Consultivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de fecha 31 de julio de 2008; el Acuerdo N° 386 de 23 de septiembre de 2008, del Consejo Directivo de CONAMA, que aprueba el proyecto definitivo de revisión de la norma de emisión; y demás antecedentes que obran en el expediente; la Resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón, y la demás normativa aplicable a la materia.

## Considerando:

1° Que el DS. N° 185 de 1991, del Ministerio de Minería, publicado en el Diario Oficial el día 16 de enero de 1992, estableció la norma secundaria de calidad ambiental para anhídrido sulfuroso.

2° Que de acuerdo con lo preceptuado en la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, es deber del Estado revisar las normas que regulan la presencia de contaminantes en el ambiente, de manera de prevenir que éstos puedan significar o representar, por sus niveles, concentraciones y períodos, un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.

3° Que el dióxido de azufre, también conocido como anhídrido sulfuroso, es un contaminante gaseoso cuya exposición no solamente tiene efectos de corto y largo plazo en las personas, sino que también se han reconocido sus efectos sobre la vegetación (algunos benéficos como los de efecto fertilizante, pero mayormente negativos como la reducción del crecimiento, daños visibles en el follaje como síntomas crónicos o agudos, asociados o no a reducciones en el crecimiento y la producción, así como muerte de plantas en condiciones extremas); sobre los ecosistemas (interfiriendo en el equilibrio de las condiciones ambientales del hábitat, cuando la presencia de azufre en ellos es elevada); y sobre los materiales expuestos a este contaminante.

4° Que la presente revisión efectúa un mejoramiento de la norma actualmente vigente, mediante la introducción del percentil como criterio de excedencia a la norma diaria y horaria actual; la actualización de los métodos de monitoreo y obligación de entrega de información al fiscalizador; la caracterización de estaciones monitoras apropiadas para evaluar la norma secundaria. Lo anterior, en armonía con lo establecido en las demás normas de calidad actualmente vigentes en el país.

Decreto:  
TITULO I  
OBJETIVO Y DEFINICIONES

000313

VIA

Artículo 1°.- El objetivo de la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre es la protección y conservación de los recursos naturales renovables del ámbito silvoagropecuario y de vida silvestre, de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de azufre en el aire.

Artículo 2°.- Para los efectos de lo dispuesto en este decreto, se entenderá por:

a. ppbv: Unidad de medida de concentración en volumen, correspondiente a una parte por billón americano (1/1.000.000.000) o una parte por millardo.

b. Concentración de Dióxido de Azufre: Valor promedio temporal detectado en el aire expresado en partes por billón (ppbv) o en microgramos por metro cúbico normal ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

La condición normal corresponde a la presión de una atmósfera (1 atm.) y una temperatura de 25 grados Celsius (25°C).

c. Concentración de 1 hora: Promedio aritmético de los valores de las concentraciones de dióxido de azufre, ordenados en bloques representativos cada uno de promedios de 5 minutos de mediciones realizadas durante esa hora.

d. Concentración de 24 horas: Promedio aritmético de los valores de las concentraciones de dióxido de azufre de 1 hora, medidas desde las cero horas de cada día hasta la última hora de ese mismo día.

e. Concentración mensual: Promedio aritmético de los valores de concentración de 24 horas de dióxido de azufre correspondientes a un mes.

f. Concentración anual: Promedio aritmético de los valores de las concentraciones de dióxido de azufre de 24 horas, medidas en un año calendario.

g. Año calendario: Período que se inicia el 1° de enero y culmina el 31 de diciembre del mismo año.

h. Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de valores de concentración aproximados al ppbv o  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  más cercano. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada estación de monitoreo.

$$X_1 \leq X_2 \leq X_3 \dots \leq X_k \leq X_{n-1} \leq X_n$$

El percentil será el valor del elemento de orden "k", para el que "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$k = q * n$ , donde "q" puede obtenerse de la Tabla N° 1, según el percentil que allí se indica, y "n" corresponde al número de datos de una serie, equivalente a un año calendario. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo.

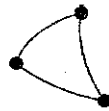
Tabla N°1: Ejemplos de evaluación de percentiles diarios y horarios en un año calendario

Percentil	q	N	K	Días permitidos sobre el valor de la norma	Horas permitidas sobre el valor de la norma
99,7	0,997	365	364	1	--
99,7	0,997	366	365	1	--
99,73	0,9973	8760	8736	--	24
99,73	0,9973	8784	8760	--	24

Nota: en caso que el número de datos de una serie correspondiente a un año calendario sea menor que los indicados en la presente tabla, las horas o días permitidos variarán en forma acorde.

i. Explotaciones silvoagropecuarias: Todo terreno que se utiliza total o parcialmente en actividades agrícolas, pecuarias y/o forestales.

j. Recursos naturales renovables: Componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses



espirituales, culturales, sociales y económicos, y que bajo condiciones de uso y aprovechamiento racional o de reparación (sustentable), es posible asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración (renovación).

k. Estación monitora con representatividad de recursos naturales (EMRRN): Estación monitora que a través de la medición de la concentración ambiental de SO<sub>2</sub>, representa la exposición a este contaminante de:

- k.1 Las explotaciones silvoagropecuarias ubicadas fuera de los límites urbanos establecidos por los instrumentos de planificación territorial;
- k.2 Los ecosistemas pertenecientes a áreas silvestres protegidas; y
- k.3 Las especies de flora y fauna silvestre puestas bajo protección oficial mediante decreto respectivo, o clasificadas oficialmente en las categorías "insuficientemente conocidas", "en peligro de extinción", "vulnerables" o "raras", según el procedimiento establecido en el D.S. N°75/04 del MINSEGPRES; y antes de ser sometidas a este procedimiento de clasificación, especies de fauna silvestre identificadas en alguna de las categorías de conservación señaladas anteriormente, según lo establecido en el DS. N° 5/98 del MINAGRI, Reglamento de la Ley N° 19.473, sobre caza.

## TITULO II

### NIVEL DE NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AIRE PARA DIÓXIDO DE AZUFRE

Artículo 3°.- Para efectos de aplicación de la presente norma secundaria de calidad de aire, el país se divide en zona norte y zona sur. El límite entre ambas se define a continuación: De Oeste a Este, desde la desembocadura del río Maipo, por su cauce, hasta el límite entre las Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Continúa por este límite hacia el Sur hasta el límite entre las Regiones Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins. Sigue por este último hasta el punto de coordenadas geográficas: Norte: 6.247.399; Este 350.336(\*), en el sector de los cerros de Chada, desde allí hasta la cota 900 m.s.n.m. en la precordillera de Los Andes, y por esta misma cota, hasta el Cerro Puntilla los Loros (1106 msnm). Luego continúa hacia el sur por la línea de altas cumbres ubicada al poniente del cajón del Río Claro de Cauquenes, desde la Carretera H-255 hasta el Cerro Pelado (2021 msnm). Desde este último punto el límite se proyecta en forma perpendicular hacia la frontera con Argentina. (\*) Coordenadas: Datum WGS 84, Huso 19.

Artículo 4°.- La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual en la zona norte del país será de 31 ppbv (80 µg/m<sup>3</sup>N). La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual en la zona sur del país será de 23 ppbv (60 µg/m<sup>3</sup>N).

Se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores de concentración anual, en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual al nivel correspondiente indicado en el primer inciso del presente artículo.

Se considerará también sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual, si en un año calendario, el valor de concentración en cualquier estación monitora clasificada como EMRRN fuere mayor o igual al doble del nivel indicado en el primer inciso del presente artículo.

Artículo 5°.- La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas en la zona norte del país será de 140 ppbv (365 µg/m<sup>3</sup>N). La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como





000314

vTA.

concentración de 24 horas en la zona sur del país será de 99 ppbv (260  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

Se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas registradas cada año, en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual al nivel correspondiente indicado en el primer inciso del presente artículo.

Se considerará también sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas, si en un año calendario, el percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas registradas en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN fuere mayor o igual al doble del nivel correspondiente indicado en el primer inciso del presente artículo.

Artículo 6°.- La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora en la zona norte del país será de 382 ppbv (1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ). La norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora en la zona sur del país será de 268 ppbv (700  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

Se considerará sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora, cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año, en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN, fuere mayor o igual al nivel correspondiente indicado en el primer inciso del presente artículo.

Se considerará también sobrepasada la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 1 hora, si en un año calendario, el percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas en cualquier estación monitorea clasificada como EMRRN fuere mayor o igual al doble del nivel correspondiente indicado en el primer inciso del presente artículo.

Artículo 7°.- Para evaluar el cumplimiento de la presente norma deberán considerarse los datos de concentración de cada una de las EMRRN de manera independiente.

### TITULO III

#### Metodología de Medición de la Norma

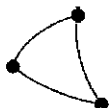
Artículo 8°.- La medición de la concentración de dióxido de azufre en el aire se realizará mediante uno de los siguientes métodos de medición:

- a. Fluorescencia ultravioleta;
- b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in - situ y;
- c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

El monitoreo de calidad de aire deberá realizarse con instrumentos que cumplan con los métodos de medición señalados en el inciso anterior, que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Artículo 9°.- Se considerará válida una concentración de 1 hora, si para su cálculo se usare el promedio de a lo menos 9 bloques representativos cada uno de promedios de 5 minutos de mediciones realizadas durante esa hora.

Se considerará válida una concentración de 24 horas, si para su cálculo se



usare el promedio de a lo menos 18 valores de concentración de 1 hora.

Se considerará válida una concentración mensual, si para su cálculo se dispusiere, a lo menos, de 24 valores diarios.

Se considerará válida una concentración anual, si para cada uno de los trimestres de ese año calendario se dispusiere de a lo menos el 75% de los valores de concentración de 24 horas.

Se considerará válido el percentil de las concentraciones de 1 hora registradas en un año calendario, si se dispusiere de a lo menos el 75% de los valores de concentración de 1 hora para ese año calendario.

Se considerará válido el percentil de las concentraciones de 24 horas registradas en un año calendario, si se dispusiere de a lo menos el 75% de los valores de concentración de 24 horas para ese año calendario.

#### TITULO IV

##### Fiscalización de la Norma

Artículo 10°.- La fiscalización del cumplimiento de las disposiciones de la presente norma le corresponderá a las Direcciones Regionales del Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura.

Artículo 11.- Las Direcciones Regionales del Servicio Agrícola y Ganadero serán las encargadas de determinar las estaciones de monitoreo que se considerarán como EMRRN según cumplan lo definido en los Títulos I y III de la presente norma. Esta clasificación deberá oficializarse a través de una Resolución fundada de la Dirección Regional del Servicio Agrícola y Ganadero respectiva, que indique al menos la ubicación de la estación o red; los objetos de protección o conservación específicos cuya exposición al contaminante SO<sub>2</sub> se espera monitorear con dicha estación o red de monitoreo; y las condiciones en que se realiza el monitoreo. La Resolución deberá fundarse en un informe técnico que dé cuenta de la validez del emplazamiento de la o las estaciones de monitoreo correspondientes.

En cada región en que exista monitoreo asociado a la norma secundaria de dióxido de azufre (D.S. N°185/91) anterior a la fecha de publicación del presente decreto en el Diario Oficial, la entidad fiscalizadora deberá determinar dentro de un plazo máximo de dieciocho meses, contados desde la entrada en vigencia del presente decreto, las estaciones de monitoreo que se consideran como EMRRN.

Artículo 12.- En cada región en que exista monitoreo asociado a la presente norma secundaria a la fecha de publicación del presente decreto en el Diario Oficial, el órgano fiscalizador deberá realizar un diagnóstico de la calidad de aire para dióxido de azufre según sus competencias territoriales y en lo que le compete a la presente norma de calidad. Dicho diagnóstico deberá considerar la información de calidad de aire disponible, sea ésta generada a partir de organismos públicos y/o privados, y realizarse dentro del plazo de tres años, contados desde la vigencia del presente decreto.

Artículo 13.- Los obligados a mantener las redes y estaciones monitoras asociadas a esta norma secundaria, en virtud del DS N°185 y de sus respectivas Resoluciones de Calificación Ambiental, deberán reportar sus resultados al fiscalizador con frecuencia mínima mensual, y dentro de los próximos 15 días del mes siguiente al del período que se informa.

Artículo 14.- Durante los primeros tres meses de cada año, las Direcciones Regionales del Servicio Agrícola y Ganadero deberán entregar a la Comisión Regional del Medio Ambiente correspondiente un informe en que indique la condición



000315

V 7A.

de cumplimiento de la norma en las estaciones monitoras de su región clasificadas como EMRRN.

Artículo 15.- Las Direcciones Regionales del Servicio Agrícola y Ganadero deberán tener a disposición de la ciudadanía los datos de los niveles de concentración de calidad de aire para dióxido de azufre correspondientes a la presente norma, los que serán públicos.

## TITULO V

## Vigencia

Artículo 16.- El presente decreto entrará en vigencia el día 1° del mes subsiguiente al de su publicación en el Diario Oficial.

## TITULO VI

## Derogaciones o modificaciones

Artículo 17.- Modifíquense las siguientes disposiciones del Decreto Supremo N°185 de 1991 del Ministerio de Minería, a contar de la fecha de entrada en vigencia de esta norma:

- a) Suprímase el artículo 6°.
- b) Suprímase el tercer inciso del artículo 9°.
- c) Suprímase el primer inciso del artículo 11°.
- d) Suprímense la letra a) y la letra b) del artículo 35.

## Artículo Transitorio

Artículo transitorio: Las declaraciones de zonas saturadas o latentes, realizadas en virtud de la norma secundaria de SO<sub>2</sub> contenida en el DS. N° 185/91, se mantendrán vigentes en tanto no se cuente con mediciones efectuadas según lo establecido en esta norma.

Anótese, tómese razón, comuníquese y publíquese.- MICHELLE BACHELET JERIA, Presidenta de la República.- José Antonio Viera-Gallo Quesney, Ministro Secretario General de la Presidencia.- Marigen Hornkohl Venegas, Ministra de Agricultura.

Lo que transcribo a Ud., para su conocimiento.- Saluda atte. a Ud., Claudio Alvarado Andrade, Subsecretario General de la Presidencia.

**NORMATIVA de ESTADOS UNIDOS**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en Estados Unidos:

- Cuadro que resume la historia de la norma primaria y secundaria de calidad del aire para dióxido de azufre en Estados Unidos, United State Environmental Protection Agency (USEPA).
- Actual norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre en Estados Unidos (Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide; Final Rule).
- Documento de la corte de apelaciones de los Estados Unidos donde se refiere al proceso judicial emprendido por la Asociación Americana del Pulmón de los Estados Unidos (American Lung Association) contra la USEPA.

000317



[http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_history.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_history.html)

**Technology Transfer Network  
National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)  
Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Primary Standards -  
Table of Historical SO<sub>2</sub> NAAQS**

**History of the National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Sulfur  
During the Period 1971-2010**

Final Rule/Decision	Primary/ Secondary	Indicator <sup>(1)</sup>	Averaging Time	Level <sup>(2)</sup>	Form
1971  36 FR 8186 Apr 30, 1971	Primary	SO <sub>2</sub>	24-Hour	0.14 ppm	Not to be exceeded more than once per year
			Annual	0.03 ppm	Annual arithmetic average
	Secondary		3-Hour	0.5 ppm	Not to be exceeded more than once per year
			Annual <sup>(3)</sup>	0.02 ppm	Annual arithmetic average
1973  38 FR 25678 Sept 14, 1973	Secondary	Secondary 3-hour SO <sub>2</sub> standard retained, without revision; secondary annual SO <sub>2</sub> standard revoked.			
1996  61 FR 25666 May 22, 1996	Primary	Existing primary SO <sub>2</sub> standards retained, without revision.			
2010  75 FR 35520 Jun 22, 2010 <sup>(4)</sup>	Primary	SO <sub>2</sub>	1-hour	75 ppb	99th percentile, averaged over 3 years <sup>(5)</sup>
		Primary annual and 24-hour SO <sub>2</sub> standards revoked.			

<sup>(1)</sup> SO<sub>2</sub> = sulfur dioxide

<sup>(2)</sup> Units of measure are in parts per million (ppm) and parts per billion (ppb).

<sup>(3)</sup> The 1971 final rule also included a secondary 24-hour SO<sub>2</sub> standard of 0.1 ppm, maximum 24-hour concentration not to be exceeded more than once per year, as a guide to be used in assessing implementation plans to achieve the annual standard.

<sup>(4)</sup> The 1-hour SO<sub>2</sub> standard added in 2010 is a primary standard. The revision of the SO<sub>2</sub> NAAQS in 2010 did not address the secondary standard, which remains a 3-hour standard with a level of 0.5 ppm.

<sup>(5)</sup> The form of the 1-hour standard is the 3-year average of the 99th percentile of the yearly distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations.



# Federal Register

---

Tuesday,  
June 22, 2010

---

Part II

## Environmental Protection Agency

---

40 CFR Parts 50, 53, and 58  
Primary National Ambient Air Quality  
Standard for Sulfur Dioxide; Final Rule

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY****40 CFR Parts 50, 53, and 58**

[EPA-HQ-OAR-2007-0352; 9160-4]

RIN 2060-A048

**Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide**

AGENCY: Environmental Protection Agency (EPA).

ACTION: Final rule.

**SUMMARY:** Based on its review of the air quality criteria for oxides of sulfur and the primary national ambient air quality standard (NAAQS) for oxides of sulfur as measured by sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), EPA is revising the primary SO<sub>2</sub> NAAQS to provide requisite protection of public health with an adequate margin of safety. Specifically, EPA is establishing a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard at a level of 75 parts per billion (ppb), based on the 3-year average of the annual 99th percentile of 1-hour daily maximum concentrations. The EPA is also revoking both the existing 24-hour and annual primary SO<sub>2</sub> standards.

**DATES:** This final rule is effective on August 23, 2010.

**ADDRESSES:** EPA has established a docket for this action under Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352. All documents in the docket are listed on the <http://www.regulations.gov> Web site. Although listed in the index, some information is not publicly available, e.g., confidential business information or other information whose disclosure is restricted by statute. Certain other material, such as copyrighted material, will be publicly available only in hard copy form. Publicly available docket materials are available either electronically through <http://www.regulations.gov> or in hard copy at the Air and Radiation Docket and Information Center, EPA/DC, EPA West, Room 3334, 1301 Constitution Ave., NW., Washington, DC. The Public Reading Room is open from 8:30 a.m. to 4:30 p.m., Monday through Friday, excluding legal holidays. The telephone number for the Public Reading Room is (202) 566-1744 and the telephone number for the Air and Radiation Docket and Information Center is (202) 566-1742.

**FOR FURTHER INFORMATION CONTACT:** Dr. Michael J. Stewart, Health and Environmental Impacts Division, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Mail code C504-06, Research Triangle Park, NC 27711; telephone: 919-541-

7524; fax: 919-541-0237; e-mail: [stewart.michael@epa.gov](mailto:stewart.michael@epa.gov).

**SUPPLEMENTARY INFORMATION:****Table of Contents**

The following topics are discussed in this preamble:

- I. Background
  - A. Summary of Revisions to the SO<sub>2</sub> Primary NAAQS
  - B. Statutory Requirements
  - C. Related SO<sub>2</sub> Control Programs
  - D. History of Reviews of the Primary NAAQS for Sulfur Oxides
  - E. Summary of Proposed Revisions to the SO<sub>2</sub> Primary NAAQS
  - F. Organization and Approach to Final SO<sub>2</sub> Primary NAAQS Decisions
- II. Rationale for Decisions on the Primary Standards
  - A. Characterization of SO<sub>2</sub> Air Quality
    1. Anthropogenic Sources and Current Patterns of SO<sub>2</sub> Air Quality
    2. SO<sub>2</sub> Monitoring
  - B. Health Effects Information
    1. Short-Term (5-Minute to 24-Hour) SO<sub>2</sub> Exposure and Respiratory Morbidity Effects
      - a. Adversity of Short-Term Respiratory Morbidity Effects
      2. Health Effects and Long-Term Exposures to SO<sub>2</sub>
      3. SO<sub>2</sub>-Related Impacts on Public Health
  - C. Human Exposure and Health Risk Characterization
  - D. Approach for Determining Whether To Retain or Revise the Current Standards
  - E. Adequacy of the Current Standards
    1. Rationale for Proposed Decision
    2. Comments on the Adequacy of the Current Standards
      - a. Comments on EPA's Interpretation of the Epidemiologic Evidence
      - b. Comments on EPA's Interpretation of the Controlled Human Exposure Evidence
      - c. Comments on EPA's Characterization of SO<sub>2</sub>-Associated Exposures and Health Risks
    3. Conclusions Regarding the Adequacy of the Current 24-Hour and Annual Standards
  - F. Conclusions on the Elements of a New Short-Term Standard
    1. Indicator
      - a. Rationale for Proposed Decision
      - b. Comments on Indicator
      - c. Conclusions on Indicator
    2. Averaging Time
      - a. Rationale for Proposed Decision
      - b. Comments on Averaging Time
      - c. Conclusions on Averaging Time
    3. Form
      - a. Rationale for Proposed Decision
      - b. Comments on Form
      - c. Conclusions on Form
    4. Level
      - a. Rationale for Proposed Decision
      - b. Comments on Level
      - c. Conclusions on Level
    5. Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards
      - a. Rationale for Proposed Decision
      - b. Comments on Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards

- c. Conclusions on Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards
  - G. Summary of Decisions on Primary Standards
- III. Overview of the Approach for Monitoring and Implementation
  - IV. Amendments to Ambient Monitoring and Reporting Requirements
    - A. Monitoring Methods
      1. Requirements for SO<sub>2</sub> Federal Reference Method (FRM)
        - a. Proposed Ultraviolet Fluorescence SO<sub>2</sub> FRM and Implementation
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions on Ultraviolet Fluorescence SO<sub>2</sub> FRM and Implementation
      2. Requirements for Automated SO<sub>2</sub> Methods
        - a. Proposed Performance Specifications for Automated Methods
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions for Performance Specifications for SO<sub>2</sub> Automated Methods
    - B. Network Design
      1. Approach for Network Design
        - a. Proposed Approach for Network Design
        - b. Alternative Network Design
        - c. Public Comments
      2. Modeling Ambient SO<sub>2</sub> Concentrations
      3. Monitoring Objectives
        - a. Proposed Monitoring Objectives
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions on Monitoring Objectives
      4. Final Monitoring Network Design
      5. Population Weighted Emissions Index
        - a. Proposed Use of the Population Weighted Emissions Index
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions on the Use of the Population Weighted Emissions Index
      6. Regional Administrator Authority
        - a. Proposed Regional Administrator Authority
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions on Regional Administrator Authority
      7. Monitoring Network Implementation
        - a. Proposed Monitoring Network Implementation
        - b. Public Comments
        - c. Conclusions on Monitoring Network Implementation
    - C. Data Reporting
      1. Proposed Data Reporting
      2. Public Comments
      3. Conclusions on Data Reporting
  - V. Initial Designation of Areas for the 1-Hour SO<sub>2</sub> NAAQS
    - A. Clean Air Act Requirements
      1. Approach Described in Proposal
      2. Public Comments
    - B. Expected Designations Process
  - VI. Clean Air Act Implementation Requirements
    - A. How This Rule Applies to Tribes
    - B. Nonattainment Area Attainment Dates
      1. Attaining the NAAQS
      2. Consequences of a Nonattainment Area Failing To Attain by the Statutory Attainment Date
    - C. Section 110(a)(1) and (2) NAAQS Maintenance/Infrastructure Requirements
      1. Section 110(a)(1)-(2) Submission

- D. Attainment Planning Requirements
  - 1. SO<sub>2</sub> Nonattainment Area SIP Requirements
  - 2. New Source Review and Prevention of Significant Deterioration Requirements
  - 3. General Conformity
- E. Transition From the Existing SO<sub>2</sub> NAAQS to a Revised SO<sub>2</sub> NAAQS
- VII. Appendix T—Interpretation of the Primary NAAQS for Oxides of Sulfur and Revisions to the Exceptional Events Rule
  - A. Interpretation of the NAAQS for Oxides of Sulfur
    - 1. Proposed Interpretation of the Standard
    - 2. Comments on Interpretation of the Standard
    - 3. Conclusions on Interpretation of the Standard
  - B. Exceptional Events Information Submission Schedule
- VIII. Communication of Public Health Information
- IX. Statutory and Executive Order Reviews
  - A. Executive Order 12866: Regulatory Planning and Review
  - B. Paperwork Reduction Act
  - C. Regulatory Flexibility Act
  - D. Unfunded Mandates Reform Act
  - E. Executive Order 13132: Federalism
  - F. Executive Order 13175: Consultation and Coordination With Indian Tribal Governments
  - G. Executive Order 13045: Protection of Children From Environmental Health & Safety Risks
  - H. Executive Order 13211: Actions That Significantly Affect Energy Supply, Distribution or Use
  - I. National Technology Transfer and Advancement Act
  - J. Executive Order 12898: Federal Actions To Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-Income Populations

#### References

#### I. Background

##### A. Summary of Revisions to the SO<sub>2</sub> Primary NAAQS

Based on its review of the air quality criteria for oxides of sulfur and the primary national ambient air quality standard (NAAQS) for oxides of sulfur as measured by sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), EPA is making revisions to the primary SO<sub>2</sub> NAAQS so the standards are requisite to protect public health with an adequate margin of safety, as appropriate under section 109 of the Clean Air Act (Act or CAA). Specifically, EPA is replacing the current 24-hour and annual standards with a new short-term standard based on the 3-year average of the 99th percentile of the yearly distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations. EPA is setting the level of this new standard at 75 ppb. EPA is adding data handling conventions for SO<sub>2</sub> by adding provisions for this new 1-hour primary standard. EPA is also establishing requirements for an SO<sub>2</sub>

monitoring network. These new provisions require monitors in areas where there is an increased coincidence of population and SO<sub>2</sub> emissions. EPA is also making conforming changes to the Air Quality Index (AQI).

#### B. Statutory Requirements

Two sections of the Clean Air Act (Act or CAA) govern the establishment and revision of National Ambient Air Quality Standards NAAQS. Section 108 of the Act directs the Administrator to identify and list air pollutants that meet certain criteria, including that the air pollutant “in his judgment, cause[s] or contribute[s] to air pollution which may reasonably be anticipated to endanger public health and welfare” and “the presence of which in the ambient air results from numerous or diverse mobile or stationary sources.” CAA section 108(a)(1)(A) and (B). For those air pollutants listed, section 108 requires the Administrator to issue air quality criteria that “accurately reflect the latest scientific knowledge useful in indicating the kind and extent of all identifiable effects on public health or welfare which may be expected from the presence of [a] pollutant in ambient air \* \* \*” Section 108(a)(2).

Section 109(a) of the Act directs the Administrator to promulgate “primary” and “secondary” NAAQS for pollutants for which air quality criteria have been issued. Section 109(b)(1) defines a primary standard as one “the attainment and maintenance of which in the judgment of the Administrator, based on [the air quality] criteria and allowing an adequate margin of safety, are requisite to protect the public health.”<sup>1</sup> Section 109(b)(1). A secondary standard, in turn, must “specify a level of air quality the attainment and maintenance of which, in the judgment of the Administrator, based on [the air quality] criteria, is requisite to protect the public welfare from any known or anticipated adverse effects associated with the presence of

<sup>1</sup> The legislative history of section 109 indicates that a primary standard is to be set at “the maximum permissible ambient air level \* \* \* which will protect the health of any [sensitive] group of the population,” and that for this purpose “reference should be made to a representative sample of persons comprising the sensitive group rather than to a single person in such a group.” S. Rep. No. 91–1196, 91st Cong., 2d Sess. 10 (1970). See also *American Lung Ass’n v. EPA*, 134 F. 3d 388, 389 (DC Cir. 1998) (“NAAQS must protect not only average healthy individuals, but also ‘sensitive citizens’—children, for example, or people with asthma, emphysema, or other conditions rendering them particularly vulnerable to air pollution. If a pollutant adversely affects the health of these sensitive individuals, EPA must strengthen the entire national standard.”); *Coalition of Battery Recyclers Ass’n v. EPA*, No. 09–1011 (DC Cir. May 14, 2010) slip op. at 7 (same).

such pollutant in the ambient air.”<sup>2</sup> Section 109(b)(2) This rule concerns exclusively the primary NAAQS for oxides of sulfur.

The requirement that primary standards include an adequate margin of safety is intended to address uncertainties associated with inconclusive scientific and technical information available at the time of standard setting. It is also intended to provide a reasonable degree of protection against hazards that research has not yet identified. *Lead Industries Association v. EPA*, 647 F.2d 1130, 1154 (DC Cir. 1980), cert. denied, 449 U.S. 1042 (1980); *American Petroleum Institute v. Costle*, 665 F.2d 1176, 1186 (DC Cir. 1981), cert. denied, 455 U.S. 1034 (1982). Both kinds of uncertainties are components of the risk associated with pollution at levels below those at which human health effects can be said to occur with reasonable scientific certainty. Thus, in selecting primary standards that include an adequate margin of safety, the Administrator is seeking not only to prevent pollution levels that have been demonstrated to be harmful but also to prevent lower pollutant levels that may pose an unacceptable risk of harm, even if the risk is not precisely identified as to nature or degree. The CAA does not require the Administrator to establish a primary NAAQS at a zero-risk level or at background concentration levels, see *Lead Industries Association v. EPA*, 647 F.2d at 1156 n. 51, but rather at a level that reduces risk sufficiently so as to protect public health with an adequate margin of safety.

In addressing the requirement for a margin of safety, EPA considers such factors as the nature and severity of the health effects involved, the size of the at-risk population(s), and the kind and degree of the uncertainties that must be addressed. The selection of any particular approach to providing an adequate margin of safety is a policy choice left specifically to the Administrator’s judgment. *Lead Industries Association v. EPA*, 647 F.2d at 1161–62.

In setting standards that are “requisite” to protect public health and welfare, as provided in section 109(b), EPA’s task is to establish standards that are neither more nor less stringent than necessary for these purposes. In so doing, EPA may not consider the costs of implementing the standards. *Whitman v. American Trucking*

<sup>2</sup> EPA is currently conducting a separate review of the secondary SO<sub>2</sub> NAAQS jointly with a review of the secondary NO<sub>2</sub> NAAQS (see <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/no2so2sec/index.html> for more information).



*Associations*, 531 U.S. 457, 471, 475–76 (2001).

Section 109(d)(1) of the Act requires the Administrator to periodically undertake a thorough review of the air quality criteria published under section 108 and the NAAQS and to revise the criteria and standards as may be appropriate. The Act also requires the Administrator to appoint an independent scientific review committee composed of seven members, including at least one member of the National Academy of Sciences, one physician, and one person representing State air pollution control agencies, to review the air quality criteria and NAAQS and to “recommend to the Administrator any new \* \* \* standards and revisions of existing criteria and standards as may be appropriate under section 108 and subsection (b) of this section.” CAA section 109(d)(2). This independent review function is performed by the Clean Air Scientific Advisory Committee (CASAC) of EPA’s Science Advisory Board.

#### C. Related SO<sub>2</sub> Control Programs

States are primarily responsible for ensuring attainment and maintenance of ambient air quality standards once EPA has established them. Under section 110 of the Act, and related provisions, States are to submit, for EPA approval, State implementation plans (SIPs) that provide for the attainment and maintenance of such standards through control programs directed to sources of the pollutants involved. The States, in conjunction with EPA, also administer the prevention of significant deterioration program that covers these pollutants. See CAA sections 160–169. In addition, Federal programs provide for nationwide reductions in emissions of these and other air pollutants through the Federal motor vehicle and motor vehicle fuel control program under title II of the Act (CAA sections 202–250) which involves controls for emissions from all moving sources and controls for the fuels used by these sources; new source performance standards under section 111; and title IV of the Act (CAA sections 402–416), which specifically provides for major reductions in SO<sub>2</sub> emissions. EPA has also promulgated the Clean Air Interstate Rule (CAIR) to require additional SO<sub>2</sub> emission reductions needed in the eastern half of the United States to address emissions which contribute significantly to nonattainment with, or interfere with maintenance of, the PM NAAQS by downwind States in the CAIR region. This rule was remanded by the DC Circuit, and although it remains in

effect, EPA is reevaluating it pursuant to the court remand.

Currently, there are several areas designated as being in nonattainment of the primary SO<sub>2</sub> NAAQS (see section VI). Moreover, as a result of this final rule, additional areas could be classified as non-attainment. Certain States would then be required to develop SIPs that identify and implement specific air pollution control measures to reduce ambient SO<sub>2</sub> concentrations to attain and maintain the revised SO<sub>2</sub> NAAQS, most likely by requiring air pollution controls on sources that emit oxides of sulfur (SO<sub>x</sub>).

#### D. History of Reviews of the Primary NAAQS for Sulfur Oxides

On April 30, 1971, the EPA promulgated primary SO<sub>2</sub> NAAQS (36 FR 8187). These primary standards, which were based on the findings outlined in the original 1969 Air Quality Criteria for Sulfur Oxides, were set at 0.14 parts per million (ppm) averaged over a 24-hour period, not to be exceeded more than once per year, and 0.030 ppm annual arithmetic mean. In 1982, EPA published the Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (EPA, 1982) along with an addendum of newly published controlled human exposure studies, which updated the scientific criteria upon which the initial standards were based (EPA, 1982). In 1986, EPA published a second addendum presenting newly available evidence from epidemiologic and controlled human exposure studies (EPA, 1986). In 1988, EPA published a proposed decision not to revise the existing standards (53 FR 14926) (April 26, 1988). However, EPA specifically requested public comment on the alternative of revising the current standards and adding a new 1-hour primary standard of 0.4 ppm (400 ppb) to protect asthmatics against 5–10 minute peak SO<sub>2</sub> concentrations.

As a result of public comments on the 1988 proposal and other post-proposal developments, EPA published a second proposal on November 15, 1994 (59 FR 58958). The 1994 re-proposal was based in part on a supplement to the second addendum of the criteria document, which evaluated new findings on 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures in asthmatics (EPA, 1994a; EPA, 1994b). As in the 1988 proposal, EPA proposed to retain the existing 24-hour and annual standards. EPA also solicited comment on three regulatory alternatives to further reduce the health risk posed by exposure to high 5-minute peaks of SO<sub>2</sub> if additional protection were judged to be necessary. The three alternatives

were: (1) Revising the existing primary SO<sub>2</sub> NAAQS by adding a new 5-minute standard of 0.6 ppm (600 ppb) SO<sub>2</sub>; (2) establishing a new regulatory program under section 303 of the Act to supplement protection provided by the existing NAAQS, with a trigger level of 0.6 ppm (600 ppb) SO<sub>2</sub>, one expected exceedance; and (3) augmenting implementation of existing standards by focusing on those sources or source types likely to produce high 5-minute peak concentrations of SO<sub>2</sub>.

On May 22, 1996, EPA announced its final decision not to revise the NAAQS for SO<sub>x</sub> (61 FR 25566). EPA found that asthmatics—a susceptible population group—could be exposed to short-term SO<sub>2</sub> bursts resulting in repeated ‘exposure events’ such that tens or hundreds of thousands of asthmatics could be exposed annually to lung function effects “distinctly exceeding \* \* \* [the] typical daily variation in lung function” that asthmatics routinely experience, and found further that repeated occurrences should be regarded as significant from a public health standpoint. 61 FR at 25572, 25573. Nonetheless, the agency concluded that “the likelihood that asthmatic individuals will be exposed \* \* \* is very low when viewed from a national perspective”, that “5-minute peak SO<sub>2</sub> levels do not pose a broad public health problem when viewed from a national perspective”, and that “short-term peak concentrations of SO<sub>2</sub> do not constitute the type of ubiquitous public health problem for which establishing a NAAQS would be appropriate.” *Id.* at 25575. EPA concluded, therefore, that it would not revise the existing standards or add a standard to specifically address 5-minute exposures. EPA also announced an intention to propose guidance, under section 303 of the Act, to assist States in responding to short-term peaks of SO<sub>2</sub> and later initiated a rulemaking to do so (62 FR 210 (Jan. 2, 1997)).

The American Lung Association and the Environmental Defense Fund challenged EPA’s decision not to establish a 5-minute standard. On January 30, 1998, the Court of Appeals for the District of Columbia Circuit found that EPA had failed to adequately explain its determination that no revision to the SO<sub>2</sub> NAAQS was appropriate and remanded the determination back to EPA for further explanation. *American Lung Ass’n v. EPA*, 134 F. 3d 388 (DC Cir. 1998). Specifically, the court held that EPA had failed to adequately explain the basis for its conclusion that short-term SO<sub>2</sub> exposures to asthmatics do not constitute a public health problem,

noting that the agency had failed to explain the link between its finding that repeated short-term exposures were significant, and that there would be tens to hundreds of thousands of such exposures annually to a susceptible subpopulation. 134 F. 3d at 392. The court also rejected the explanation that short-term SO<sub>2</sub> bursts were "localized, infrequent, and site-specific" as a rational basis for the conclusion that no public health problem existed for purposes of section 109: "[N]othing in the Final Decision explains why 'localized', 'site-specific', or even 'infrequent' events might nevertheless create a public health problem, particularly since, in some sense, all pollution is local and site-specific \* \* \*". *Id.* The court accordingly remanded the case to EPA to adequately explain its determination or otherwise take action in accordance with the opinion. In response, EPA has collected and analyzed additional air quality data focused on 5-minute concentrations of SO<sub>2</sub>. These air quality analyses conducted since the last review helped inform the current review, which (among other things) address the issues raised in the court's remand of the Agency's last decision.

EPA formally initiated the current review of the air quality criteria for oxides of sulfur and the SO<sub>2</sub> primary NAAQS on May 15, 2006 (71 FR 28023) with a general call for information. EPA's draft Integrated Review Plan for the Primary National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Dioxide (EPA, 2007a) was made available in April 2007 for public comment and was discussed by the CASAC via a publicly accessible teleconference on May 11, 2007. As noted in that plan, SO<sub>x</sub> includes multiple gaseous (*e.g.*, SO<sub>3</sub>) and particulate (*e.g.*, sulfate) species. Because the health effects associated with particulate species of SO<sub>x</sub> have been considered within the context of the health effects of ambient particles in the Agency's review of the NAAQS for particulate matter (PM), the current review of the primary SO<sub>2</sub> NAAQS is focused on the gaseous species of SO<sub>x</sub> and does not consider health effects directly associated with particulate species.

The first draft of the Integrated Science Assessment for Oxides of Sulfur-Health Criteria (ISA) and the Sulfur Dioxide Health Assessment Plan: Scope and Methods for Exposure and Risk Assessment (EPA, 2007b) were reviewed by CASAC at a public meeting held on December 5–6, 2007. Based on comments received from CASAC and the public, EPA developed the second draft of the ISA and the first

draft of the Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standard (Risk and Exposure Assessment (REA)). These documents were reviewed by CASAC at a public meeting held on July 30–31, 2008. Based on comments received from CASAC and the public at this meeting, EPA released the final ISA in September of 2008 (EPA, 2008a; henceforth referred to as ISA). In addition, comments received were considered in developing the second draft of the REA. Importantly, the second draft of the REA contained a draft staff policy assessment that considered the evidence presented in the final ISA and the air quality, exposure, and risk characterization results presented in the second draft REA, as they related to the adequacy of the current SO<sub>2</sub> NAAQS and potential alternative primary SO<sub>2</sub> standards. This document was reviewed by CASAC at a public meeting held on April 16–17, 2009. In preparing the final REA report, which included the final staff policy assessment, EPA considered comments received from CASAC and the public at and subsequent to that meeting. The final REA containing the final staff policy assessment was completed in August 2009 (EPA 2009a; henceforth referred to as REA)).

On December 8, 2009 EPA published its proposed revisions to the primary SO<sub>2</sub> NAAQS. 74 FR 64810 presented a number of conclusions, findings, and determinations proposed by the Administrator. EPA invited general, specific, and/or technical comments on all issues involved with this proposal, including all such proposed judgments, conclusions, findings, and determinations. EPA invited specific comment on the level, or range of levels, appropriate for such a standard, as well as on the rationale that would support that level or range of levels. These comments were carefully considered by the Administrator as she made her final decisions, as described in this notice, on the primary SO<sub>2</sub> NAAQS

The schedule for completion of this review is governed by a judicial order resolving a lawsuit filed in September 2005, concerning the timing of the current review. *Center for Biologic Diversity v. Johnson* (Civ. No. 05–1814) (D.D.C. 2007). The order that now governs this review, entered by the court in August 2007 and amended in December 2008, provides that the Administrator will sign, for publication, a final rulemaking concerning the review of the primary SO<sub>2</sub> NAAQS no later than June 2, 2010.

#### *E. Summary of Proposed Revisions to the SO<sub>2</sub> Primary NAAQS*

For the reasons discussed in the preamble of the proposal for the SO<sub>2</sub> primary NAAQS, EPA proposed to make revisions to the primary SO<sub>2</sub> NAAQS (and to add SO<sub>2</sub> data handling conventions) so the standards provide requisite protection of public health with an adequate margin of safety. Specifically, EPA proposed to replace the current 24-hour and annual standards with a new short-term SO<sub>2</sub> standard. EPA proposed that this new short-term standard would be based on the 3-year average of the 99th percentile (or 4th highest) of the yearly distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations. EPA proposed to set the level of this new 1-hour standard within the range of 50 to 100 ppb and solicited comment on standard levels as high as 150 ppb. EPA also proposed to establish requirements for an SO<sub>2</sub> monitoring network at locations where maximum SO<sub>2</sub> concentrations are expected to occur and to add a new Federal Reference Method (FRM) for measuring SO<sub>2</sub> in the ambient air. Finally, EPA proposed to make corresponding changes to the Air Quality Index for SO<sub>2</sub>.

#### *F. Organization and Approach to Final SO<sub>2</sub> Primary NAAQS Decisions*

This action presents the Administrator's final decisions regarding the need to revise the current SO<sub>2</sub> primary NAAQS, and what those revisions should be. Revisions to the primary NAAQS for SO<sub>2</sub>, and the rationale supporting those revisions, are described below in section II.

An overview of the approach for monitoring and implementation is presented in section III. Requirements for the SO<sub>2</sub> ambient monitoring network and for a new, additional FRM for measuring SO<sub>2</sub> in the ambient air are described in section IV. EPA's current plans for designations and for implementing the revised SO<sub>2</sub> primary NAAQS are discussed in sections V and VI respectively. Related requirements for data completeness, data handling, data reporting, rounding conventions, and exceptional events are described in section VII. Communication of public health information through the AQI is discussed in section VIII. A recitation of statutory authority and a discussion of those executive order reviews which are relevant are provided in section IX.

Today's final decisions are based on a thorough review in the ISA of scientific information on known and potential human health effects associated with exposure to SO<sub>2</sub> in the

air. These final decisions also take into account: (1) Assessments in the REA of the most policy-relevant information in the ISA as well as quantitative exposure and risk analyses based on that information; (2) CASAC Panel advice and recommendations, as reflected in its letters to the Administrator and its public discussions of the ISA and REA; (3) public comments received during the development of the ISA and REA; and (4) public comments received on EPA's notice of proposed rulemaking.

## II. Rationale for Decisions on the Primary Standards

This section presents the rationale for the Administrator's decision to revise the existing SO<sub>2</sub> primary standards by replacing the current 24-hour and annual standards with a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard at a level of 75 ppb, based on the 3-year average of the annual 99th percentile of 1-hour daily maximum concentrations. As discussed more fully below, this rationale takes into account: (1) Judgments and conclusions presented in the ISA and the REA; (2) CASAC advice and recommendations as reflected in the CASAC panel's discussions of drafts of the ISA and REA at public meetings, in separate written comments, and in letters to the Administrator (Henderson 2008a; Henderson 2008b; Samet, 2009); (3) public comments received at CASAC meetings during the development of the ISA and the REA; and (4) public comments received on the notice of proposed rulemaking.

In reaching this decision, EPA has drawn upon an integrative synthesis of the entire body of evidence on human health effects associated with the presence of SO<sub>2</sub> in the ambient air, and upon the results of the quantitative exposure and risk assessments reflecting this evidence. As discussed below, this body of evidence addresses a broad range of health endpoints associated with exposure to SO<sub>2</sub> in the ambient air. In considering this entire body of evidence, EPA chose to focus most on those health endpoints for which the ISA found the strongest evidence of an association with SO<sub>2</sub> (see section II.B below). Thus, the rationale for this final decision on the SO<sub>2</sub> NAAQS focused primarily on respiratory morbidity following short-term (5-minutes to 24-hours) exposure to SO<sub>2</sub>, for which the ISA found a causal relationship.

As discussed below, a substantial amount of new research has been conducted since EPA's last review of the SO<sub>2</sub> NAAQS, with important new information coming from epidemiologic studies in particular. In addition to the substantial amount of new

epidemiologic research, the ISA considered a limited number of new controlled human exposure studies and re-evaluated key older controlled human exposure studies. In evaluating both the new and key older controlled human exposure studies, the ISA utilized updated guidelines published by the American Thoracic Society (ATS) on what constitutes an adverse effect of air pollution (see ISA, section 3.1.3; p. 3–4). Importantly, all controlled human exposure and epidemiologic studies evaluated in the ISA have undergone intensive scrutiny through multiple layers of peer review and opportunities for public review and comment. Thus, the review of this information has been extensive and deliberate.

After a background discussion of the principal emitting sources and current patterns of SO<sub>2</sub> air quality and a description of the current SO<sub>2</sub> monitoring network from which those air quality patterns are obtained (section II.A), the remainder of this section discusses the Administrator's rationale for her final decisions on the primary standards. Section II.B includes an overview of the scientific evidence related to the respiratory effects associated with ambient SO<sub>2</sub> exposure. This overview includes a discussion of the at-risk populations considered in the ISA. Section II.C summarizes the key approaches taken by EPA to assess exposures and health risks associated with exposure to ambient SO<sub>2</sub>. Section II.D summarizes the approach that was used in the current review of the SO<sub>2</sub> NAAQS with regard to consideration of the scientific evidence and the air quality, exposure, and risk-based results related to the adequacy of the current standards and potential alternative standards. Sections II.E and II.F discuss, respectively, the Administrator's decisions regarding the adequacy of the current standards and the elements of a new short-term standard, taking into consideration public comments on the proposed decisions. Section II.G summarizes the Administrator's decisions with regard to the SO<sub>2</sub> primary NAAQS.

### A. Characterization of SO<sub>2</sub> Air Quality

#### 1. Anthropogenic Sources and Current Patterns of SO<sub>2</sub> Air Quality

Anthropogenic SO<sub>2</sub> emissions originate chiefly from point sources, with fossil fuel combustion at electric utilities (~66%) and other industrial facilities (~29%) accounting for the majority of total emissions (ISA, section 2.1). Other anthropogenic sources of SO<sub>2</sub> include both the extraction of metal from ore as well as the burning of high

sulfur-containing fuels by locomotives, large ships, and equipment utilizing diesel engines. SO<sub>2</sub> emissions and ambient concentrations follow a strong east to west gradient due to the large numbers of coal-fired electric generating units in the Ohio River Valley and upper Southeast regions. In the 12 Consolidated Metropolitan Statistical Areas (CMSAs) that had at least four SO<sub>2</sub> regulatory monitors from 2003–2005, 24-hour average concentrations in the continental U.S. ranged from a reported low of ~1 ppb in Riverside, CA and San Francisco, CA to a high of ~12 ppb in Pittsburgh, PA and Steubenville, OH (ISA, section 2.5.1). In addition, outside or inside all CMSAs from 2003–2005, the annual average SO<sub>2</sub> concentration was 4 ppb (ISA, Table 2–8). However, spikes in hourly concentrations occurred. The mean 1-hour maximum concentration outside or inside CMSAs was 13 ppb, with a maximum value of greater than 600 ppb outside CMSAs and greater than 700 ppb inside CMSAs (ISA, Table 2–8).

Temporal and spatial patterns of 5-minute peaks of SO<sub>2</sub> are also important given that controlled human exposure studies have demonstrated that exposure to these peaks can result in adverse respiratory effects in exercising asthmatics (see section II.B below). For those monitors which voluntarily reported 5-minute block average data,<sup>3</sup> when maximum 5-minute concentrations were reported, the absolute highest concentration over the ten-year period exceeded 4000 ppb, but for all individual monitors, the 99th percentile was below 200 ppb (ISA, section 2.5.2 Table 2–10). Median concentrations from these monitors reporting 5-minute data ranged from 1 ppb to 8 ppb, and the average for each maximum 5-minute level ranged from 3 ppb to 17 ppb. Delaware, Pennsylvania, Louisiana, and West Virginia had mean values for maximum 5-minute data exceeding 10 ppb. Among aggregated within-State data for the 16 monitors from which all 5-minute average intervals were reported, the median values ranged from 1 ppb to 5 ppb, and the means ranged from 3 ppb to 11 ppb (ISA, section 2.5.2 at 2–43). The highest reported concentration was 921 ppb, but the 99th percentile values

<sup>3</sup> A small number of sites, 98 total from 1997 to 2007 of the approximately 500 SO<sub>2</sub> monitors, and not the same sites in all years, voluntarily reported 5-minute block average data to AQS (ISA, section 2.5.2). Of these, 16 reported all twelve 5-minute averages in each hour for at least part of the time between 1997 and 2007. The remainder reported only the maximum 5-minute average in each hour.

for aggregated within-State data were all below 90 ppb (*id.*).

## 2. SO<sub>2</sub> Monitoring

Although EPA established the SO<sub>2</sub> standards in 1971, uniform minimum monitoring network requirements for SO<sub>2</sub> monitoring were only adopted in May 1979. From the time of the implementation of the 1979 monitoring rule through 2008, the SO<sub>2</sub> monitoring network has steadily decreased in size from approximately 1496 sites in 1980 to the approximately 488 sites operating in 2008. At present, except for SO<sub>2</sub> monitoring required at National Core Monitoring Stations (NCore stations), there are no minimum monitoring requirements for SO<sub>2</sub> in 40 CFR part 58 Appendix D, other than a requirement for EPA Regional Administrator approval before removing any existing monitors and a requirement that any ongoing SO<sub>2</sub> monitoring must have at least one monitor sited to measure the maximum concentration of SO<sub>2</sub> in that area. EPA removed the specific minimum monitoring requirements for SO<sub>2</sub> in the 2006 monitoring rule revisions, except for monitoring at NCore stations, based on the fact that there were no SO<sub>2</sub> nonattainment areas at that time, coupled with trends showing an increasing gap between national average SO<sub>2</sub> concentrations and the current 24-hour and annual standards. The rule was also intended to provide State, local, and Tribal air monitoring agencies flexibility in meeting perceived higher priority monitoring needs for other pollutants, or to implement the new multi-pollutant sites (NCore network) required by the 2006 rule revisions (71 FR 61236, (October 6, 2006)). More information on SO<sub>2</sub> monitoring can be found in section IV.

### B. Health Effects Information

The ISA concluded that there was sufficient evidence to infer a "causal relationship" between respiratory morbidity and short-term (5-minutes to 24-hours) exposure to SO<sub>2</sub> (ISA, section 5.2). Importantly, we note that a "causal relationship" is the strongest finding the ISA can make.<sup>4</sup> This conclusion was

<sup>4</sup> A causal relationship is based on "[e]vidence [that] is sufficient to conclude that there is a causal relationship between relevant pollutant exposures and the health outcome. That is, a positive association has been observed between the pollutant and the outcome in studies in which chance, bias, and confounding could be ruled out with reasonable confidence. Evidence includes, for example, controlled human exposure studies; or observational studies that cannot be explained by plausible alternatives or are supported by other lines of evidence (e.g. animal studies or mechanism of action information). Evidence includes replicated

based on the consistency, coherence, and plausibility of findings observed in controlled human exposure studies of 5–10 minutes, epidemiologic studies mostly using 1-hour daily maximum and 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations, and animal toxicological studies using exposures of minutes to hours (ISA, section 5.2). This evidence is briefly summarized below and discussed in more detail in the proposal (see sections II.B.1 to II.B.5, see 74 FR at 64815–821). We also note that the ISA judged evidence of an association between SO<sub>2</sub> exposure and other health categories to be less convincing; other associations were judged to be suggestive but not sufficient to infer a causal relationship (*i.e.*, short-term exposure to SO<sub>2</sub> and mortality) or inadequate to infer the presence or absence of a causal relationship (*i.e.*, short-term exposure to SO<sub>2</sub> and cardiovascular morbidity, and long-term exposure to SO<sub>2</sub> and respiratory morbidity, other morbidity, and mortality). Key conclusions from the ISA are described in greater detail in Table 5–3 of the ISA.

#### 1. Short-Term (5-minute to 24-hour) SO<sub>2</sub> Exposure and Respiratory Morbidity Effects

The ISA examined numerous controlled human exposure studies and found that moderate or greater decrements in lung function (*i.e.*,  $\geq 15\%$  decline in Forced Expiratory Volume (FEV<sub>1</sub>) and/or  $\geq 100\%$  increase in specific airway resistance (sRaw)) occur in some exercising asthmatics exposed to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200–300 ppb for 5–10 minutes. The ISA also found that among asthmatics, both the percentage of individuals affected, and the severity of the response increased with increasing SO<sub>2</sub> concentrations. That is, at 5–10 minute concentrations ranging from 200–300 ppb, the lowest levels tested in free breathing chamber studies, approximately 5–30% percent of exercising asthmatics experienced moderate or greater decrements in lung function (ISA, Table 3–1). At concentrations of 400–600 ppb, moderate or greater decrements in lung function occurred in approximately 20–60% of exercising asthmatics, and compared to exposures at 200–300 ppb, a larger percentage of asthmatics experienced severe decrements in lung function (*i.e.*,  $\geq 20\%$  decrease in FEV<sub>1</sub> and/or  $\geq 200\%$  increase in sRaw; ISA, Table 3–1). Moreover, at SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq 400$  ppb (5–10 minute

and consistent high-quality studies by multiple investigators." ISA Table 1–2, at 1–11.

exposures), moderate or greater decrements in lung function were often statistically significant at the group mean level and frequently accompanied by respiratory symptoms. *Id.*

The ISA also found that in locations meeting the current SO<sub>2</sub> NAAQS, numerous epidemiologic studies reported positive associations between ambient SO<sub>2</sub> concentrations and respiratory symptoms in children, as well as emergency department visits and hospitalizations for all respiratory causes and asthma across multiple age groups. Moreover, the ISA concluded that these epidemiologic studies were consistent and coherent. This evidence was consistent in that associations were reported in studies conducted in numerous locations and with a variety of methodological approaches (ISA, section 5.2; p. 5–5). It was coherent in that respiratory symptom results from epidemiologic studies of short-term (predominantly 1-hour daily maximum or 24-hour average) SO<sub>2</sub> concentrations were generally in agreement with respiratory symptom results from controlled human exposure studies of 5–10 minutes. These results were also coherent in that the respiratory effects observed in controlled human exposure studies of 5–10 minutes further provided a basis for a progression of respiratory morbidity that could lead to the increased emergency department visits and hospital admissions observed in epidemiologic studies (ISA, section 5.2; p. 5–5). In addition, the ISA found that when evaluated as a whole, SO<sub>2</sub> effect estimates in multi-pollutant models generally remained positive and relatively unchanged when co-pollutants were included. Therefore, although recognizing the uncertainties associated with separating the effects of SO<sub>2</sub> from those of co-occurring pollutants, the ISA concluded that "the limited available evidence indicates that the effect of SO<sub>2</sub> on respiratory health outcomes appears to be generally robust and independent of the effects of gaseous co-pollutants, including NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, as well as particulate co-pollutants, particularly PM<sub>2.5</sub>" (ISA, section 5.3; p. 5–9).

The ISA also found that the respiratory effects of SO<sub>2</sub> were consistent with the mode of action as it is currently understood from animal toxicological and controlled human exposure studies (ISA, section 5.2; p. 5–2). The immediate effect of SO<sub>2</sub> on the respiratory system is bronchoconstriction. This response is mediated by chemosensitive receptors in the tracheobronchial tree. Activation of these receptors triggers central nervous system reflexes that result in

bronchoconstriction and respiratory symptoms that are often followed by rapid shallow breathing (*id*). The ISA noted that asthmatics are likely more sensitive to the respiratory effects of SO<sub>2</sub> due to pre-existing inflammation associated with the disease. For example, pre-existing inflammation may lead to enhanced release of inflammatory mediators, and/or enhanced sensitization of the chemosensitive receptors (*id*).

Taken together, the ISA concluded that the controlled human exposure, epidemiologic, and toxicological evidence supported its determination of a causal relationship between respiratory morbidity and short-term (5-minutes to 24-hours) exposure to SO<sub>2</sub>.

#### a. Adversity of Short-Term Respiratory Morbidity Effects

As discussed more fully in the proposal (section II.B.1.c, 74 FR at 64817) and in section II.E.2.b below, based on: (1) American Thoracic Society (ATS) guidelines; (2) advice and recommendations from CASAC (*see* specific consensus CASAC comments in sections II.E.2.b and II.F.4.b below); and (3) conclusions from previous NAAQS reviews, EPA found that 5–10 minute exposures to SO<sub>2</sub> concentrations at least as low as 200 ppb can result in adverse health effects in some asthmatics (*i.e.*, 5–30% of the tested individuals in controlled human exposure studies of 200–300 ppb). As just mentioned, at SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  400 ppb, controlled human exposure studies have reported decrements in lung function that are often statistically significant at the group mean level, and that are frequently accompanied by respiratory symptoms. Being mindful that the ATS guidelines specifically indicate decrements in lung function with accompanying respiratory symptoms as being adverse (*see* proposal section II.B.1.c, 74 FR at 64817 and section II.E.2.b below), exposure to 5–10 minute SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  400 ppb can result in health effects that are clearly adverse.

The ATS also indicated that exposure to air pollution that increases the risk of an adverse effect to a population is adverse, even though it may not increase the risk of any individual to an unacceptable level (ATS 2000; *see* proposal section II.B.1.c, 74 FR at 64817). As an example, ATS states:

A population of children with asthma could have a distribution of lung function such that no individual child has a level associated with significant impairment. Exposure to air pollution could shift the distribution toward lower levels without bringing any individual child to a level that is associated with clinically relevant

consequences. Individuals within the population would, however, have diminished reserve function and are at potentially increased risk if affected by another agent, *e.g.*, a viral infection. Assuming that the relationship between the risk factor and the disease is causal, the committee considered that such a shift in the risk factor distribution, and hence the risk profile of the exposed population, should be considered adverse, even in the absence of the immediate occurrence of frank illness (ATS 2000, p. 668).

As mentioned above, the ISA reported that exposure to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200–300 ppb for 5–10 minutes results in approximately 5–30% of exercising asthmatics experiencing moderate or greater decrements in lung function (defined in terms of a  $\geq$  15% decline in FEV<sub>1</sub> or 100% increase in sRaw; ISA, Table 3–1). Even though these results were not statistically significant at the group mean level, in light of EPA's interpretation of how to apply the ATS guidelines for defining an adverse effect, as described above, the REA found that these results could reasonably indicate an SO<sub>2</sub>-induced shift in these lung function measurements for this subset of the population. As a result, an appreciable percentage of exercising asthmatics exposed to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200 ppb would be expected to have diminished reserve lung function and would be expected to be at greater risk if affected by another respiratory agent, for example, viral infection. Importantly, as explained immediately above, diminished reserve lung function in a population that is attributable to air pollution is considered an adverse effect under ATS guidance. In addition to the 2000 ATS guidelines, the REA was also mindful of previous CASAC recommendations (Henderson 2006) and NAAQS review conclusions (EPA 2006, EPA 2007d) indicating that moderate decrements in lung function can be clinically significant in some asthmatics (discussed in detail below, *see* section II.E.2.b). The REA further considered that subjects participating in these controlled human exposure studies do not include severe asthmatics and that it was reasonable to presume that persons with more severe asthma than the study participants would have a more serious health effect from short-term exposure to 200 ppb SO<sub>2</sub>.<sup>5</sup> Taken together, the REA concluded that exposure to SO<sub>2</sub> concentrations at least as low as 200 ppb can result in adverse

<sup>5</sup> We also note that very young children were not included in the controlled human exposure studies and this absence of data on what is likely to be a sensitive life stage is a source of uncertainty for children's susceptibility to SO<sub>2</sub>.

health effects in asthmatics and that this conclusion was in agreement with consensus CASAC comments and recommendations expressed during the current SO<sub>2</sub> NAAQS review (*see* sections II.E.2.b and II.F.4.b below).

In addition to the controlled human exposure evidence, epidemiologic studies also indicate that adverse respiratory morbidity effects are associated with SO<sub>2</sub> (REA, section 4.3). As mentioned above, in reaching the conclusion of a causal relationship between respiratory morbidity and short-term SO<sub>2</sub> exposure, the ISA generally found positive associations between ambient SO<sub>2</sub> concentrations and emergency department visits and hospitalizations for all respiratory causes and asthma. Notably, emergency department visits, hospitalizations, episodic respiratory illness, and aggravation of respiratory diseases (*e.g.* asthma) attributable to air pollution are considered adverse health effects under ATS guidelines.

#### 2. Health Effects and Long-Term Exposures to SO<sub>2</sub>

There were numerous studies published since the last review examining possible associations between long-term SO<sub>2</sub> exposure and mortality and morbidity (respiratory morbidity, carcinogenesis, adverse prenatal and neonatal outcomes) endpoints. However, the ISA concluded that the evidence relating long-term (weeks to years) SO<sub>2</sub> exposure to adverse health effects was "inadequate to infer the presence or absence of a causal relationship" (ISA, Table 5–3). That is, the ISA found the long-term health evidence to be of insufficient quantity, quality, consistency, or statistical power to make a determination as to whether SO<sub>2</sub> was truly associated with these health outcomes (ISA, Table 1–2).

#### 3. SO<sub>2</sub>-Related Impacts on Public Health

Interindividual variation in human responses to air pollutants indicates that some populations are at increased risk for the detrimental effects of ambient exposure to SO<sub>2</sub>. The NAAQS are intended to provide an adequate margin of safety for both the general population and susceptible populations that are potentially at increased risk for health effects in response to exposure to ambient air pollution (*see* footnote 1 above). To facilitate the identification of populations at increased risk for SO<sub>2</sub>-related health effects, studies have identified factors that contribute to the susceptibility of individuals to SO<sub>2</sub>. Susceptible individuals are broadly defined as those with a greater

likelihood of an adverse outcome given a specific exposure in comparison with the general population (American Lung Association, 2001). The susceptibility of an individual to SO<sub>2</sub> can encompass a multitude of factors which represent normal developmental phases or life stages (e.g., age) or biologic attributes (e.g., gender); however, other factors (e.g., socioeconomic status (SES)) may influence the manifestation of disease and also increase an individual's susceptibility (American Lung Association, 2001). In addition, populations may be at increased risk to SO<sub>2</sub> due to an increase in their exposure during certain life stages (e.g., childhood or old age) or as a result of external factors (e.g., SES) that contribute to an individual being disproportionately exposed to higher concentrations than the general population.<sup>6</sup> It should be noted that in some cases specific populations may be affected by multiple susceptibility factors. For example, a population that is characterized as having low SES may have less access to healthcare resulting in the manifestation of a disease, which increases their susceptibility to SO<sub>2</sub>, while they may also reside in a location that results in disproportionately high exposure to SO<sub>2</sub>.

To examine whether SO<sub>2</sub> differentially affects certain populations, stratified analyses are often conducted in epidemiologic investigations to identify the presence or absence of effect modification. A thorough evaluation of potential effect modifiers may help identify susceptible populations that are at increased risk to SO<sub>2</sub> exposure. These analyses are based on the proper identification of confounders and subsequent adjustment for them in statistical models, which helps separate a spurious from a true causal association. Although the design of toxicological and human clinical studies does not allow for an extensive examination of effect modifiers, the use of animal models of disease and the study of individuals with underlying disease or genetic polymorphisms do allow for comparisons between subgroups. Therefore, the results from these studies, combined with those results obtained through stratified analyses in epidemiologic studies, contribute to the overall weight of evidence for the increased susceptibility of specific populations to SO<sub>2</sub>. Those populations identified in the ISA to be potentially at greater risk of experiencing an adverse health effect from SO<sub>2</sub> were described in detail in the

proposal (section II.B.5) and include: (1) Those with pre-existing respiratory disease; (2) children and older adults; (3) persons who spend increased time outdoors or at elevated ventilation rates; (4) persons with lower SES; and (5) persons with certain genetic factors.

As discussed in the proposal (section II.B.5.g, 74 FR at 64821), large proportions of the U.S. population are likely to be at increased risk of experiencing SO<sub>2</sub>-related health effects. In the United States, approximately 7% of adults and 9% of children have been diagnosed with asthma. Notably, the prevalence and severity of asthma is higher among certain ethnic or racial groups such as Puerto Ricans, American Indians, Alaskan Natives, and African Americans (EPA 2008b). Furthermore, a higher prevalence of asthma among persons of lower SES and an excess burden of asthma hospitalizations and mortality in minority and inner-city communities have been observed (EPA, 2008b). In addition, population groups based on age comprise substantial segments of individuals that may be potentially at risk for SO<sub>2</sub>-related health impacts. Based on U.S. census data from 2000, about 72.3 million (26%) of the U.S. population are under 18 years of age, 18.3 million (7.4%) are under 5 years of age, and 35 million (12%) are 65 years of age or older. There is also concern for the large segment of the population that is potentially at risk to SO<sub>2</sub>-related health effects because of increased time spent outdoors at elevated ventilation rates (those who work or play outdoors). Overall, the considerable size of the population groups at risk indicates that exposure to ambient SO<sub>2</sub> could have a significant impact on public health in the United States.

### C. Human Exposure and Health Risk Characterization

To put judgments about SO<sub>2</sub>-associated health effects into a broader public health context, EPA has drawn upon the results of the quantitative exposure and risk assessments. Judgments reflecting the nature of the evidence and the overall weight of the evidence are taken into consideration in these quantitative exposure and risk assessments. These assessments include estimates of the likelihood that asthmatic children at moderate or greater exertion (e.g. while exercising) in St. Louis or Greene County, Missouri would experience SO<sub>2</sub> exposures of potential concern. In addition, these analyses include an estimate of the number and percent of exposed asthmatic children in these locations likely to experience SO<sub>2</sub>-induced lung

function responses (i.e., moderate or greater decrements in lung function defined in terms of sRaw or FEV<sub>1</sub>) under varying air quality scenarios (i.e., current air quality and air quality simulated to just meet the current or potential alternative standards). These assessments also characterize the kind and degree of uncertainties inherent in such estimates.

As previously mentioned, the ISA concluded that the evidence for an association between respiratory morbidity and short-term SO<sub>2</sub> exposure was "sufficient to infer a causal relationship" (ISA, section 5.2) and that the "definitive evidence" for this conclusion was from the results of 5–10 minute controlled human exposure studies demonstrating decrements in lung function and/or respiratory symptoms in exercising asthmatics (ISA, section 5.2). Accordingly, the air quality and exposure analyses and their associated risk characterizations focused on 5-minute concentrations of SO<sub>2</sub> in excess of potential health effect benchmark values derived from the controlled human exposure literature (see proposal section II.C.1, 74 FR at 64821, and REA, section 6.2). These benchmark levels are not potential standards, but rather are SO<sub>2</sub> exposure concentrations which represent "exposures of potential concern" which are used in these analyses to estimate potential exposures and risks associated with 5-minute concentrations of SO<sub>2</sub>. The REA considered 5-minute benchmark levels of 100, 200, 300, and 400 ppb in these analyses, but especially noted exceedances or exposures with respect to the 200 and 400 ppb 5-minute benchmark levels. These benchmark levels were highlighted because (1) 400 ppb represents the lowest concentration in free-breathing controlled human exposure studies where moderate or greater lung function decrements occurred which were often statistically significant at the group mean level and were frequently accompanied by respiratory symptoms; and (2) 200 ppb is the lowest level at which moderate or greater decrements in lung function in free-breathing controlled human exposure studies were found in some individuals, although these lung function changes were not statistically significant at the group mean level. Notably, 200 ppb is also the lowest level that has been tested in free-breathing controlled human exposure studies (REA, section 4.2.2).<sup>7</sup>

<sup>6</sup>This aspect of susceptibility is referred to as vulnerability in the proposal and in the ISA.

<sup>7</sup>The ISA cites one chamber study with intermittent exercise where healthy and asthmatic



The REA utilized three approaches to characterize health risks. In the first approach, for each air quality scenario, statistically estimated 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations<sup>8</sup> and measured ambient 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations were compared to the 5-minute potential health effect benchmark levels discussed above (REA, chapter 7). This air quality analysis included all available ambient monitoring data as well as a more detailed analysis in 40 counties. The air quality analysis was considered a broad characterization of national air quality and human exposures that might be associated with these 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations. An advantage of the air quality analysis is its relative simplicity; however, there is uncertainty associated with the assumption that SO<sub>2</sub> air quality can serve as an adequate surrogate for total exposure to ambient SO<sub>2</sub>. Actual exposures might be influenced by factors not considered by this approach, including small-scale spatial variability in ambient SO<sub>2</sub> concentrations (which might not be represented by the current fixed-site ambient monitoring network) and spatial/temporal variability in human activity patterns. A more detailed overview of the air quality analysis and its associated limitations and uncertainties is provided in the proposal (see sections II.C.2, 74 FR at 64822 and II.C.3, 74 FR at 64823, respectively) and the air quality analysis is thoroughly described in the REA (chapter 7).

In the second approach, an inhalation exposure model was used to generate more realistic estimates of personal exposures in asthmatics (REA, chapter 8). This analysis estimated temporally and spatially variable microenvironmental 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations and simulated

children were exposed to 100 ppb SO<sub>2</sub> in a mixture with ozone and sulfuric acid. The ISA notes that compared to exposure to filtered air, exposure to the pollutant mix did not result in statistically significant changes in lung function or respiratory symptoms (ISA, section 3.1.3.4).

<sup>8</sup> Benchmark values derived from the controlled human exposure literature were associated with a 5-minute averaging time. However, as noted in footnote 3 above, only 98 ambient monitors located in 13 States from 1997–2007 reported measured 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations since such monitoring is not required (see section II.A.2 and section IV). In contrast, 809 monitors in 48 States, DC, Puerto Rico, and the Virgin Islands reported 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations over a similar time period. Therefore, to broaden analyses to areas where measured 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations were not available, the REA utilized a statistical relationship to estimate the highest 5-minute level in an hour, given a reported 1-hour average SO<sub>2</sub> concentration (REA, section 6.4). Then, similar to measured 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations, statistically estimated 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations were compared to 5-minute potential health effect benchmark values (REA, chapters 7 and 8, respectively).

asthmatics' contact with these pollutant concentrations while at moderate or greater exertion (*i.e.*, while at elevated ventilation rates). The approach was designed to estimate exposures that are not necessarily represented by the existing ambient monitoring data and to better represent the physiological conditions corresponding with the respiratory effects reported in controlled human exposure studies. AERMOD, an EPA dispersion model, was used to estimate 1-hour ambient SO<sub>2</sub> concentrations using emissions estimates from stationary, non-point, and where applicable, port sources. The Air Pollutants Exposure (APEX) model, an EPA human exposure model, was then used to estimate population exposures using the estimated hourly census block level SO<sub>2</sub> concentrations. From the 1-hour census block concentrations, 5-minute maximum SO<sub>2</sub> concentrations within each hour were estimated by APEX (REA, section 8.7.1) using the statistical relationship mentioned above in footnote 8. Estimated exposures to 5-minute SO<sub>2</sub> levels were then compared to the 5-minute potential health effect benchmark levels discussed above. This approach to assessing exposures was more resource intensive than using ambient levels as an indicator of exposure; therefore, the final REA included the analysis of two locations: St. Louis and Greene County, MO. Although the geographic scope of this analysis was limited, the approach provided estimates of SO<sub>2</sub> exposures in asthmatics and asthmatic children in St. Louis and Greene Counties, and thus served to complement the broader air quality characterization. A more detailed overview of this exposure analysis and its associated limitations and uncertainties is provided in the proposal (see sections II.C.2, 74 FR at 64822 and II.C.3, 74 FR at 64823, respectively) and the exposure analysis is thoroughly described in the REA (chapter 8).

The third approach was a quantitative risk assessment. This approach combined results from the exposure analysis (*i.e.*, the number of exposed total asthmatics or asthmatic children while at moderate or greater exertion) with exposure-response functions derived from individual level data from controlled human exposure studies (see ISA, Table 3–1 and Johns (2009)<sup>9</sup>) to estimate the percentage and number of

<sup>9</sup> EPA recently conducted a complete quality assurance review of all individual subject data. The results of this review did not substantively change any of the entries in ISA, Table 3–1, and did not in any way affect the conclusions of the ISA (see Johns and Simmons, 2009).

exposed asthmatics and asthmatic children in St. Louis and Greene County likely to experience a moderate or greater lung function response (*i.e.*, decrements in lung function defined in terms of FEV<sub>1</sub> and sRaw) under the air quality scenarios mentioned above (REA, chapter 9). A more detailed overview of this analysis and its associated limitations and uncertainties is provided in the proposal (see sections II.C.2, 74 FR at 64822 and II.C.3, 74 FR at 64823, respectively) and the quantitative risk analysis is thoroughly described in the REA (chapter 9).

Notably, for the reasons described in the REA (REA, section 10.3.3) and the proposal (see section II.E.1.b, 74 FR at 64827), when considering the St. Louis and Greene County exposure and risk results as they relate to the adequacy of the current standards, the REA concluded that the St. Louis results were more informative in terms of ascertaining the extent to which the current standards protect against health effects linked to the various benchmarks (linked in turn to 5-minute SO<sub>2</sub> exposures). The results in fact suggested that the current standards may not adequately protect public health (REA, section 10.3.3, p. 364). Moreover, the REA judged that the exposure and risk estimates for the St. Louis study area provided useful insights into exposures and risks for other urban areas in the U.S. with similar population and SO<sub>2</sub> emissions densities (*id.*). For similar reasons, the St. Louis results were more informative for ascertaining the adequacy of the potential alternative standards under consideration.

Key results of the air quality, exposure, and risk analyses were presented in the policy assessment chapter of the REA (chapter 10) and summarized in the proposal (see Tables 2–4 in the preamble to the proposed rule). In considering these results, the proposal noted that these analyses support that 5-minute SO<sub>2</sub> exposures, reasonably judged important from a public health perspective, were associated with air quality adjusted upward to simulate just meeting the current standards (see proposal, section II.E.1.c, 74 FR at 64828). Moreover, these results indicated that 99th percentile 1-hour daily maximum standard levels in the range of 50–100 ppb could substantially limit exposures of asthmatic children at moderate or greater exertion from 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations ≥400 ppb, and appreciably limit exposures of these children from 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations ≥200 ppb (REA, p. 392–393). Results of these analyses also indicated that a 1-hour standard at 150

ppb could still substantially limit exposures of asthmatic children at moderate or greater exertion from 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations ≥400 ppb, but would provide these children appreciably less protection from exposure to 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations ≥200 ppb (REA, p. 395–396).

#### *D. Approach for Determining Whether To Retain or Revise the Current Standards*

EPA notes that the final decision on retaining or revising the current primary SO<sub>2</sub> standards is a public health policy judgment to be made by the Administrator. This judgment has been informed by a recognition that the available health effects evidence reflects a continuum consisting of ambient levels of SO<sub>2</sub> at which scientists generally agree that health effects are likely to occur, through lower levels at which the likelihood and magnitude of the response become increasingly uncertain. The Administrator's final decisions draw upon scientific information and analyses related to health effects, population exposures and risks; judgments about the appropriate response to the range of uncertainties that are inherent in the scientific evidence and analyses; and comments received from CASAC and the public.

To evaluate whether the current primary SO<sub>2</sub> standards are adequate or whether revisions are appropriate, EPA has used an approach in this review described in chapter 10 of the REA which builds upon the approaches used in reviews of other criteria pollutants, including the most recent reviews of the NO<sub>2</sub>, Pb, O<sub>3</sub>, and PM NAAQS (EPA, 2008c; EPA, 2007c; EPA, 2007d; EPA, 2005), and reflects the latest body of evidence and information that is currently available, as reflected by the ISA. As in other recent reviews, EPA considered the implications of placing more or less weight or emphasis on different aspects of the scientific evidence and the exposure-/risk-based information, recognizing that the weight to be given to various elements of the evidence and exposure/risk information is part of the public health policy judgments that the Administrator will make in reaching decisions on the standard.

A series of general questions framed this approach to considering the scientific evidence and exposure-/risk-based information. First, EPA's consideration of the scientific evidence and exposure/risk information with regard to the adequacy of the current standards has been framed by the following questions:

- To what extent does evidence that has become available since the last review reinforce or call into question evidence for SO<sub>2</sub>-associated effects that were identified in the last review?
- To what extent has evidence for different health effects and/or susceptible populations become available since the last review?
- To what extent have uncertainties identified in the last review been reduced and/or have new uncertainties emerged?
- To what extent does evidence and exposure-/risk-based information that has become available since the last review reinforce or call into question any of the basic elements (indicator, averaging time, form, and level) of the current standard?

To the extent that the available evidence and exposure-/risk-based information suggests it may be appropriate to consider revision of the current standards, EPA considers that evidence and information with regard to its support for consideration of a standard that is either more or less stringent than the current standards. This evaluation is framed by the following questions:

- Is there evidence that associations, especially causal or likely causal associations, extend to ambient SO<sub>2</sub> concentrations as low as, or lower than, the concentrations that have previously been associated with health effects? If so, what are the important uncertainties associated with that evidence?
- Are exposures above benchmark levels and/or health risks estimated to occur in areas that meet the current standard? If so, are the estimated exposures and health risks important from a public health perspective? What are the important uncertainties associated with the estimated risks?

To the extent that there is support for consideration of a revised standard, EPA then considers the specific elements of the standard (indicator, averaging time, form, and level) within the context of the currently available information. In so doing, the Agency addresses the following questions regarding the elements of the standard:

- Does the evidence provide support for considering a different indicator for gaseous SO<sub>x</sub>?
- Does the evidence provide support for considering different, or additional averaging times?
- What ranges of levels and forms of alternative standards are supported by the evidence, and what are the associated uncertainties and limitations?
- To what extent do specific averaging times, levels, and forms of alternative standards reduce the estimated exposures above benchmark levels and risks attributable to exposure to ambient SO<sub>2</sub>, and what are the uncertainties associated with the estimated exposure and risk reductions?

The questions outlined above have been addressed in the REA. The following sections present

considerations regarding the adequacy of the current standards and conclusions on the elements of a new short-term standard in terms of indicator, averaging time, form, and level.

#### *E. Adequacy of the Current Standards*

This section discusses considerations related to the decision as to whether the current 24-hour and annual SO<sub>2</sub> primary NAAQS are requisite to protect public health with an adequate margin of safety. Specifically, section II.E.1 provides an overview of the rationale supporting the Administrator's proposal that the current standards do not provide adequate public health protection; section II.E.2 discusses public comments received on the adequacy of the current standards; and section II.E.3 discusses the Administrator's final decision on whether the current SO<sub>2</sub> primary NAAQS is requisite to protect public health with an adequate margin of safety, as required by sections 109(d) and (b) of the Act.

##### **1. Rationale for Proposed Decision**

In the proposal, the Administrator initially concluded that the current 24-hour and annual SO<sub>2</sub> NAAQS were not adequate to protect public health with an adequate margin of safety (see section II.E.4, 74 FR at 64829). In reaching this conclusion, she considered the: (1) Scientific evidence and conclusions in the ISA; (2) exposure and risk information presented in the REA; (3) conclusions of the policy assessment chapter of the REA; and (4) views expressed by CASAC. These considerations are discussed in detail in the proposal (see section II.E., 74 FR at 64826) and are summarized in this section.

In the proposal the Administrator noted the following in considering the adequacy of the current 24-hour and annual primary SO<sub>2</sub> standards:

- The conclusion of the ISA that the results of controlled human exposure and epidemiologic studies form a plausible and coherent data set that supports a causal relationship between short-term (5-minutes to 24-hours) SO<sub>2</sub> exposures and adverse respiratory effects, and that the epidemiologic evidence (buttressed by the clinical evidence) indicates that the effects seen in the epidemiologic studies are attributable to exposure to SO<sub>2</sub> (ISA, section 5.2).

- The conclusion of the ISA that “[i]n the epidemiologic studies, respiratory effects were observed in areas where the maximum ambient 24-h avg SO<sub>2</sub> concentration was below the current 24-



h avg NAAQS level \* \* \*." (ISA, section 5.2, p. 5–2.) and so would occur at ambient SO<sub>2</sub> concentrations that are present in locations meeting the current 24-hour NAAQS.

- These respiratory effects also occurred in areas with annual air quality levels considerably lower than those allowed by the current annual standard, indicating that the current annual standard is also not providing protection against short-term health effects reported in epidemiologic studies (ISA, section 5.2).

- Analyses in the REA supporting that 5-minute exposures, reasonably judged important from a public health perspective (*i.e.*, respiratory effects judged to be adverse to the health of asthmatics, see sections II.B.1.c above, and II.E.2.b below), were associated with air quality adjusted upward to simulate just meeting the current 24-hour and annual standards.

- CASAC advice "that the current 24-hour and annual standards are not adequate to protect public health, especially in relation to short term exposures to SO<sub>2</sub> (5–10 minutes) by exercising asthmatics" (Samet, 2009, p. 15).

Based on these considerations (discussed in more detail in the proposal, see sections II.E.1 and II.E.2), the Administrator proposed that the current 24-hour and annual SO<sub>2</sub> standards are not requisite to protect public health with an adequate margin of safety against adverse respiratory effects associated with short-term (5-minute to 24-hour) SO<sub>2</sub> exposures. In considering approaches to revising the current standards, the Administrator initially concluded it appropriate to consider setting a new 1-hour standard. The Administrator noted that a 1-hour standard would likely provide increased public health protection, especially for members of at-risk groups, from the respiratory effects described in both epidemiologic and controlled human exposure studies.

## 2. Comments on the Adequacy of the Current Standards

This section discusses public comments on the proposal that either supported or opposed the Administrator's proposed decision to revise the current SO<sub>2</sub> primary NAAQS. Comments on the adequacy of the current standards that focused on the scientific and/or the exposure/risk basis for the Administrator's proposed conclusions are discussed in sections II.E.2.a–II.E.2.c. Comments on the epidemiologic evidence are considered in section II.E.2.a. Comments on the controlled human exposure evidence

are considered in section II.E.2.b. Comments on human exposure and health risk assessments are considered in section II.E.2.c. To the extent these comments on the evidence and information are also used to justify commenters' conclusions on decisions related to indicator, averaging time, form, or level, they are noted as well in the appropriate sections below (II.F.1–II.F.4, respectively). The summaries of comments, and responses thereto, presented below are not exclusive: other comments and responses are being included in the Response to Comment (RTC) Document which is part of the record for this rulemaking (EPA, 2010).

Many public commenters agreed with the proposal that based on the available information, the current SO<sub>2</sub> standards are not requisite to protect public health with an adequate margin of safety and that revisions to the standards are therefore appropriate. Among those calling for revisions to the standards were environmental groups (*e.g.*, Sierra Club, WEACT for Environmental Justice, Center for Biological Diversity, (CBD) Environmental Defense Fund (EDF), Natural Resources Defense Council (NRDC)); medical/public health organizations (*e.g.*, American Lung Association (ALA), American Thoracic Society (ATS)); State environmental organizations (*e.g.*, National Association of Clean Air Agencies (NACAA), Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM); State environmental agencies (*e.g.*, such agencies in DE, IA, IL, MI, NY, NM, OH, PA, TX, VT); the Fond du Lac Band of Lake Superior Chippewa (Fond du Lac) Tribe, local groups (*e.g.*, Houston-Galveston Area Council, Alexandria Department of Transportation and Environmental Services) and most individual commenters (~13,000). These commenters generally concluded that the current SO<sub>2</sub> standards need to be revised and that a more stringent standard is needed to protect the health of susceptible population groups. In supporting the need to adopt a more stringent NAAQS for SO<sub>2</sub>, these commenters often referenced the conclusions of CASAC, as well as evidence and information presented in the proposal. As such, the rationale offered by these commenters was consistent with that presented in the proposal to support the Administrator's proposed decision to revise the current SO<sub>2</sub> NAAQS.

Most industry commenters (*e.g.*, Utility Air Regulatory Group (UARG), American Petroleum Institute (API), Arizona Public Service, National Petrochemical & Refiners Association (NPRA), Montana-Dakota Utilities Co.,

Dominion Resources, Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), Edison Electric Institute (EEI), Duke Energy, National Mining Association (NMA)); and some organizations (*e.g.*, Texas Association of Business, The Annapolis Center for Science-Based Public Policy (ACSBPP), South Carolina Chamber of Commerce) opposed the proposed revisions to the SO<sub>2</sub> primary NAAQS. In supporting their views, industry commenters generally concluded that EPA did not appropriately consider uncertainties associated with the epidemiologic and controlled human exposure evidence.

More specifically, with respect to the epidemiologic studies, many of these commenters concluded that results of these studies are confounded by co-pollutants and thus too uncertain to determine whether SO<sub>2</sub> is truly associated with the health outcomes being measured (*e.g.*, hospital admissions; **Federal Register** see below). With respect to the controlled human exposure studies, many commenters were critical of the 5-minute benchmark levels that were derived from these studies and subsequently used by EPA in the air quality, exposure, and risk analyses. These groups were particularly concerned about the Administrator's reliance on the 200 ppb 5-minute benchmark level in assessing the adequacy of the current and potential alternative standards. In general, many industry groups maintained that adverse respiratory effects did not occur following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures < 400 ppb (*e.g.*, API, EEI, CIBO) and some groups stated that even at SO<sub>2</sub> concentrations ≥ 400 ppb, reported effects may not be of clinical concern, and thus are likely not adverse (*e.g.*, UARG). Many industry groups (*e.g.*, API, UARG) also disagreed with EPA's (and CASAC's) conclusions that severe asthmatics were not included in these controlled human exposure studies, and that severe asthmatics would likely have a more pronounced response to SO<sub>2</sub> exposures at a given level, or would respond to even lower levels of SO<sub>2</sub>.

In responding to these specific comments, we note that the Administrator relied in the proposal on the evidence, information, and judgments contained in the ISA and the REA (including the policy assessment chapter), as well as on the advice of CASAC. In considering the evidence, information, and judgments of the ISA and the REA, the Agency notes that these documents have been reviewed and discussed extensively by CASAC at multiple public meetings (*see above*, section I.D) and in their letters to the

EPA Administrator. Thus, it is important to note that CASAC generally accepted the key findings and conclusions presented in both the ISA and REA (see Henderson 2008a, Henderson 2008b, and Samet, 2009).

a. Comments on EPA's Interpretation of the Epidemiologic Evidence

Many industry groups (e.g., API, UARG, American Chemistry Council (ACC), Dominion Resources, ExxonMobil, Progress Energy, CIBO, The Fertilizer Institute, EEI, Dow Chemical Company (Dow), MeadWestvaco Corporation (MWV), (NMA) and some organizations (e.g., ACSBPP) commented that, given the presence of numerous co-pollutants in the air, the epidemiologic studies do not support the contention that SO<sub>2</sub> itself is causing health effects. For example, UARG stated: "The epidemiological evidence cannot determine that SO<sub>2</sub> is a cause of or a contributor to hospital admissions ("HA"), emergency department ("ED") visits or respiratory symptoms, the effects cited in the Proposed Rule."

Although EPA has recognized that multiple factors can contribute to the etiology of respiratory disease and that more than one air pollutant could independently impact respiratory health, we continue to judge, as discussed in the ISA, that the available evidence supports the conclusion that there is an independent effect of SO<sub>2</sub> on respiratory morbidity. In reaching this judgment, we recognize that a major methodological issue affecting SO<sub>2</sub> epidemiologic studies concerns the evaluation of the extent to which other air pollutants, particular PM<sub>2.5</sub>,<sup>10</sup> may confound or modify SO<sub>2</sub>-related effect estimates. The use of multi-pollutant regression models is a common approach for evaluating potential confounding by co-pollutants in epidemiologic studies. It is therefore important to note that when the ISA evaluated U.S. and international epidemiologic studies employing multi-pollutant models, SO<sub>2</sub> effect estimates generally remained positive and relatively unchanged when co-pollutants, including PM, were included (see ISA, p. 5–5). Therefore, although recognizing the uncertainties associated with separating the effects of SO<sub>2</sub> from those of co-occurring pollutants, the ISA concluded that the limited available evidence indicates that the effect of SO<sub>2</sub> on respiratory health outcomes appears

to be generally robust and independent of the effects of gaseous co-pollutants, including NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, as well as particulate co-pollutants, particularly PM<sub>2.5</sub> (ISA, section 5.2; p. 5–9).

In considering questions of confounding and causation, the epidemiologic studies should not be considered in a vacuum. As emphasized by the ISA, and endorsed by CASAC, controlled human exposure studies provide support for the plausibility of the associations reported in epidemiologic studies (ISA, section 5–5; Henderson 2008a; Henderson 2008b). These controlled human exposure studies exposed exercising asthmatics to 5–10 minute peaks of SO<sub>2</sub> and reported decrements in lung function and/or respiratory symptoms in up to 60% of these individuals (depending on exposure concentration; see ISA, Table 5–3; p. 5–11). Thus, these experimental study results provide strong support for an independent contribution of SO<sub>2</sub> to the respiratory health effects reported in epidemiologic studies: "The effects of SO<sub>2</sub> on respiratory symptoms, lung function, and airway inflammation observed in the human clinical studies using peak exposures further provides a basis for a progression of respiratory morbidity resulting in increased emergency department visits and hospital admissions. Collectively, these findings provide biological plausibility for the observed association between ambient SO<sub>2</sub> levels and emergency department visits and hospitalizations for all respiratory diseases and asthma, notably in children and older adults. \* \* \* (ISA, section 5.2 at p. 5–5). Thus, EPA is not relying solely on the epidemiologic studies to evaluate whether associations reported in these studies (e.g., associations with emergency department visits) are likely the result of ambient SO<sub>2</sub> exposure.

b. Comments on EPA's Interpretation of the Controlled Human Exposure Evidence

Many industry groups (e.g., API, ACC, Progress Energy, EEI, CIBO) commented that adverse health effects do not occur following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures < 400 ppb. In addition, some groups (e.g., UARG) commented that adverse respiratory effects do not occur in exercising asthmatics following SO<sub>2</sub> exposures below 600 ppb. The disagreement is not whether effects occur in exercising asthmatics at these exposure levels and exposure durations. Rather, the issue is whether the effects experienced can properly be regarded as adverse. In general, these groups conclude that EPA's judgment of adverse health effects at SO<sub>2</sub> exposure

levels below 600 or 400 ppb is inappropriately based on an unsound interpretation of ATS guidelines. More specifically, these groups generally contend that decrements in lung function without accompanying respiratory symptoms are not adverse effects of SO<sub>2</sub> exposure, and that decrements in lung function in a percentage of exercising asthmatics does not represent a shift in lung function at the population level. Some of these groups also contend that EPA followed the advice of individual CASAC members, rather than consensus CASAC written comments on the ISA and REA when concluding respiratory effects associated with SO<sub>2</sub> exposures below 600 or 400 ppb are adverse. Furthermore, some groups contend that effects below 400 ppb should not be considered adverse because compared to the number of asthmatics experiencing decrements in lung function, there were similar numbers of asthmatics experiencing increases in lung function. EPA disagrees with these comments, and believes that the clinical evidence also supports the conclusion that the current standards are not requisite to protect public health with and adequate margin of safety.

The Agency disagrees that adverse respiratory effects do not occur in exercising asthmatics following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures ranging from 400–600 ppb. As previously mentioned, at SO<sub>2</sub> concentrations ranging from 400–600 ppb, moderate or greater decrements in lung function occur in approximately 20–60% of exercising asthmatics (again, defined in terms of a ≥ 15% decline in FEV<sub>1</sub> or 100% increase in sRaw; ISA, Table 3–1). Moreover, at concentrations ≥ 400 ppb, decrements in lung function are often statistically significant at the group mean level, and are frequently accompanied by respiratory symptoms (ISA, Table 5–1). ATS guidelines on what constitutes an adverse health effect of air pollution clearly state that reversible loss of lung function in combination with the presence of symptoms should be considered adverse (ATS 1985, 2000). Moderate or greater decrements in lung function accompanied by respiratory symptoms fit this description. Thus, the Agency's conclusion of adverse health effects associated with SO<sub>2</sub> concentrations ≥ 400 ppb is consistent with ATS guidelines.

The Agency also disagrees with industry commenters regarding the adversity of the respiratory effects seen in exercising asthmatics following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures ranging from 200–300 ppb. As mentioned above (section II.B.1), and discussed more

<sup>10</sup> As noted in the proposal (see sections II.D.1, 74 FR at 64824–64825 and II.F.4.a, 74 FR at 64835), there is special sensitivity in this review in disentangling SO<sub>2</sub>-related effects from PM-related effects (especially sulfate PM).

fully in the proposal (see section II.B.3, 74 FR at 64819), the ISA reported that exposure to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200–300 ppb for 5–10 minutes results in approximately 5–30% of exercising asthmatics experiencing moderate or greater decrements in lung function. In 2000, the ATS updated its guidelines on “what constitutes an adverse health effect of air pollution.” These guidelines indicated that exposure to air pollution that increases the risk of an adverse effect to the entire population is adverse, even though it may not increase the risk of any individual to an unacceptable level (ATS 2000). For example, ATS notes that a population of asthmatics could have a distribution of lung function such that no individual has a level associated with significant impairment. Exposure to air pollution could shift the distribution to lower levels that still do not bring any individual to a level that is associated with clinically relevant effects. However, this would be considered adverse because individuals within the population would have diminished reserve function, and therefore would be at increased risk if affected by another agent (ATS 2000).

Considering the 2000 ATS guidelines, the results of the clinical studies conducted at 200–300 ppb were reasonably interpreted by EPA to indicate an SO<sub>2</sub>-induced shift in these lung function measurements for a subset of this population. That is, an appreciable percentage of this population of exercising asthmatics would be expected to experience moderate or greater decrements in lung function in response to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200 ppb, and thus would be expected to have diminished reserve lung function. As a result, this sub-population would be at greater risk of a more severe response if affected by another respiratory agent (e.g., viral infection, or O<sub>3</sub>).

EPA is also mindful of CASAC comments on this issue following the second draft ISA. The second draft ISA placed relatively little weight on health effects associated with SO<sub>2</sub> exposures at 200–300 ppb. CASAC strongly disagreed with this characterization of the health evidence. Their consensus letter following the second draft ISA states:

Our major concern is the conclusions in the ISA regarding the weight of the evidence for health effects for short-term exposure to low levels of SO<sub>2</sub>. Although the ISA presents evidence from both clinical and epidemiological studies that indicate health effects occur at 0.2 ppm or lower, the final chapter emphasizes health effects at 0.4 ppm and above \* \* \* CASAC believes the clinical and epidemiological evidence warrants

stronger conclusions in the ISA regarding the available evidence of health effects at 0.2 ppm or lower concentrations of SO<sub>2</sub>. The selection of a lower bound concentration for health effects is very important because the ISA sets the stage for EPA’s risk assessment decisions. In its draft Risk and Exposure Assessment (REA) to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards (July 2008), EPA chose a range of 0.4 ppm–0.6 ppm SO<sub>2</sub> concentrations for its benchmark analysis. As CASAC will emphasize in a forthcoming letter on the REA, we recommend that a lower bound be set at least as low as 0.2 ppm. (Henderson 2008a)

EPA also notes the similar CASAC comments on the first draft of the REA. The consensus CASAC letter following the 1st draft REA states:

The CASAC believes strongly that the weight of clinical and epidemiology evidence indicates there are detectable clinically relevant health effects in sensitive subpopulations down to a level at least as low as 0.2 ppm SO<sub>2</sub>. These sensitive subpopulations represent a substantial segment of the at-risk population. (Henderson 2008b; p. 1)

See *Coalition of Battery Recyclers Association v. EPA*, No. 09–1011 (DC Cir., May 14, 2010), slip opinion at 9, holding that it was reasonable for EPA to conclude that a two IQ point mean population loss is an adverse effect based in part on CASAC advice that such a decrement is significant. CASAC’s strong advice regarding the adversity of effects at the 200 ppb level similarly supports EPA’s conclusion that the observed lung decrements are adverse.

In addition to the considerations described above, we also note the following key points:

- In the current SO<sub>2</sub> NAAQS review, clinicians on the CASAC Panel advised that moderate or greater decrements in lung function can be clinically significant in some individuals with respiratory disease.<sup>11</sup>

- In the last O<sub>3</sub> NAAQS review, CASAC indicated that moderate decrements in lung function can be clinically significant in some asthmatics (Henderson 2006), and that in the context of standard setting, a focus on the lower end of the range of moderate functional responses is most appropriate for estimating potentially adverse lung function decrements in people with lung disease (e.g., asthma; see 73 FR at 16463).

- In the last O<sub>3</sub> NAAQS review, the Criteria Document and the Staff Paper

<sup>11</sup> See hearing transcripts from EPA Clean Air Scientific Advisory Committee (CASAC), July 30–31 2008, Sulfur Oxides-Health Criteria (part 3 of 4) pages 211–213. These transcripts can be found in Docket ID No. EPA–HQ–ORD–2006–0260. Available at <http://www.regulations.gov>.

indicated that for many people with lung disease (e.g., asthma), even moderate decrements in lung function or respiratory symptoms would likely interfere with normal activities and result in additional and more frequent use of medication (EPA 2006, EPA 2007d).

- Subjects participating controlled human exposure studies do not include severe asthmatics, and it is reasonable to presume that persons with more severe asthma than the study participants would have a more serious health effect from short-term exposure to 200 ppb SO<sub>2</sub>.

Considering these key points along with the ATS guidelines and consensus CASAC comments on the draft ISA and REA described above, we reasonably conclude that 5–10 minute exposures to SO<sub>2</sub> concentrations at least as low as 200 ppb can result in adverse health effects in exercising asthmatics.

In addition, as noted above some groups (e.g., API) contend that effects below 400 ppb should not be considered adverse because compared to the number of asthmatics experiencing decrements in lung function, there were similar numbers of asthmatics experiencing increases in lung function.

The commenters correctly point out that at the lowest concentration tested in free-breathing chamber studies (200 ppb), there are a similar number of asthmatics experiencing a moderate or greater decrease in lung function (i.e., ≥ 100 increase in sRaw or ≥ 15 decrease in FEV<sub>1</sub>) and experiencing what might be called a moderate improvement in lung function (i.e., ≥ 100 decrease in sRaw or ≥ 15 increase in FEV<sub>1</sub>). This observation is consistent with data presented in Figures 4–2 and 4–3 of the ISA showing essentially no SO<sub>2</sub>-induced change in lung function at 200 ppb when averaged across asthmatics participating in the three Lin *et al.*, controlled human exposure studies. However, these figures also demonstrate that asthmatics who are sensitive to SO<sub>2</sub> at a higher concentration (600 ppb) experience, on average, a greater decrement in lung function at lower concentrations, including 200 ppb, when compared with all subjects combined. Therefore, while some asthmatics are relatively insensitive to SO<sub>2</sub>-induced respiratory effects even at concentrations ≥ 600 ppb, there is clear empirical evidence that others experience significant bronchoconstriction following exposures to both relatively high (600 ppb) and low (200 ppb) SO<sub>2</sub> concentrations. Among these SO<sub>2</sub>-sensitive asthmatics, Figures 4–2 and 4–3 of the ISA show a clear increase in

bronchoconstriction with increasing SO<sub>2</sub> concentrations from 200–400 ppb. Given this clear relationship of exposure and effect at all levels in the sensitive asthmatics (i.e. those who experienced significant decrements in lung function at the highest exposure concentration used (600 ppb)), EPA does not accept the commenter's premise that controlled human exposure studies do not demonstrate adverse effects in some asthmatics at 5–10 minute levels below 400 ppb.

In addition to disagreeing with EPA's proposed finding of adverse health effects following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures as low as 200 ppb, many industry groups (e.g., API, UARG, ACC, ExxonMobil) also disagreed with EPA that severe asthmatics were not included in controlled human exposure studies. That is, these groups contend that EPA is incorrect in assuming that severe asthmatics would likely have a more pronounced response to SO<sub>2</sub> exposures at a given level, or would respond to even lower levels of SO<sub>2</sub> and that this should be taken into account when judging the adequacy of the current standards. As support for their assertion, multiple industry groups cite controlled human exposure studies in the ISA stating that they included "severe asthmatics" and also cite a study by Linn *et al.* (1987) which concluded that among asthmatics, responses to SO<sub>2</sub> exposure are not dependent on the clinical severity of asthma and that "the subjects with the highest risk [of temporary respiratory disturbances from ambient SO<sub>2</sub>] can be identified only by actually measuring their responses to SO<sub>2</sub>".

We disagree with the assertion that severe asthmatics have been evaluated in 5–10 minute controlled human exposure studies. Although studies cited in the ISA referred to a group of subjects as "moderate/severe" asthmatics, these individuals had well-controlled asthma, were able to withhold medication, were not dependent on corticosteroids, and were able to engage in moderate to heavy levels of exercise. By today's standards, these individuals would clearly be classified as moderate asthmatics. EPA therefore concludes that persons with asthma that is more severe than moderate asthma, as that term is currently understood, were not included in the controlled human exposure studies (and understandably so, for ethical reasons).

In addition, EPA agrees with the commenters that there is little evidence from controlled human exposure studies to suggest that the respiratory effects of SO<sub>2</sub> differ between mild and moderate

asthmatics (see Linn *et al.*, 1987). However, this may very well be due, at least in part, to persistence of medication among the moderate asthmatic subjects. More importantly, the moderate asthmatics began the exposure with compromised lung function relative to the mild asthmatics. Therefore, similar functional declines from different baselines between mild and moderate asthmatics would clearly not have the same physiological importance. CASAC specifically addressed the issue of asthma severity in a letter to the Administrator: "For ethical reasons severe asthmatics were not part of these clinical studies, but it is not unreasonable to presume that they would have responded to even a greater degree (Henderson 2008a; p. v)." It is also important to note that in addition to the strict health-specific inclusion and exclusion criteria for a given controlled human exposure study, many asthmatics who might otherwise be able to participate choose not to participate because of anxiety related to what they viewed as potential adverse health risks. EPA concludes that it is appropriate to assume, as CASAC suggested, that persons with more severe asthma would respond to an even greater degree than the moderate asthmatics in the clinical studies.

#### c. Comments on EPA's Characterization of SO<sub>2</sub>-Associated Exposures and Health Risks

Several commenters discussed the analyses of SO<sub>2</sub>-associated exposures and health risks presented in the REA. As in past reviews (EPA 2005, 2007c, 2007d), EPA has estimated risks associated with the current standards to inform judgments on the public health risks that could exist under different standard options. Some industry commenters (e.g., API, UARG, Lignite Energy Council (LEC), Jackson Walker, ASARCO, the National Rural Electric Cooperative Association) concluded that when considering the adequacy of the current standards, the Administrator should consider exposures and risks associated with actual SO<sub>2</sub> air quality rather than air quality allowed by the current NAAQS. They consequently challenged the relevance and appropriateness of EPA's use of SO<sub>2</sub> concentrations that have been simulated to just meet the current standards in assessing the adequacy of the current standards.

In addition to the objections noted above, we note that UARG generally concluded that the results of EPA's quantitative risk assessment are fundamentally flawed in that they substantially overestimate risks

associated with the various air quality scenarios. UARG contends that this is because EPA did not use proper exposure-response functions in estimating risks associated with SO<sub>2</sub> exposure. Moreover, UARG contends EPA further overestimates risk because of the use of 50 ppb exposure bins in estimating the number of occurrences of an adverse lung function response (see below).

With respect to comments that when considering the adequacy of the current standards, the Administrator should consider exposures and risks associated with actual SO<sub>2</sub> air quality rather than that simulated to just meet the current standards, these commenters generally concluded: (1) It is more relevant to assess exposures and risks associated with actual SO<sub>2</sub> air quality since adjusting air quality to just meet the current standards require large adjustments to air quality that are highly uncertain; and (2) NAAQS are intended to address actual, rather than highly improbable, risks to human health. In addition, these groups generally concluded that exposure and risk estimates presented in the REA suggest relatively little health risk associated with current levels of SO<sub>2</sub>, and thus, there is no need to revise the current SO<sub>2</sub> standards.

We disagree with these commenters that exposure- and risk-related considerations in the NAAQS reviews should rely only on actual air quality, and that EPA therefore improperly adjusted air quality in its risk and exposure analyses to simulate air quality allowed by the current primary SO<sub>2</sub> NAAQS. EPA is required to review whether the present standards—not present air quality—are requisite to protect public health with an adequate margin of safety. Section 109(b)(1). In making this determination it is relevant to consider exposures and risks which could be permissible under the current standards. See *American Trucking Associations v. EPA*, 283 F.3d 355, 370 (DC Cir. 2002) (existence of evidence showing adverse effects occurring at levels allowed by the current standards justifies finding that it is appropriate to revise the existing NAAQS). Consequently, it is at the very least reasonable for EPA, in its REA, to make air quality adjustments to estimate SO<sub>2</sub>-related exposures and health risks that could exist in areas that just meet the present standards. Thus, although we acknowledge that exposure and health risk estimates associated with current ambient concentrations are substantially smaller than those associated with air quality adjusted to just meet the current standards, we also note that this is

irrelevant to the question of whether the current standards are requisite to protect public health with an margin of safety.

In both of these cases, EPA is not trying to evaluate whether areas would or would not be in attainment of the current standards. Those are issues that are addressed during the implementation of the NAAQS. Instead, in this rulemaking EPA is evaluating what NAAQS would be appropriate under section 109(b)(1), by evaluating the impact on or risks to public health from air quality that is at the level of the current standards, as well as evaluating air quality that is at the level of various alternative standards. EPA uses this information to inform the decision on what NAAQS would be requisite to protect public health with an adequate margin of safety.

If EPA determines that the current standards require revision, EPA is further required to determine what revisions are appropriate in light of the requirement that primary NAAQS be requisite to protect public health with an adequate margin of safety. Section 109(d)(1). It is thus similarly reasonable for EPA to make air quality adjustments to simulate different potential alternative standards to provide information on exposures and risks under these potential alternative standards.<sup>12</sup>

We agree that there are uncertainties inherent in making air quality adjustments. These uncertainties are discussed thoroughly in the REA (REA, sections 6.5 and 7.4.2.5). For example, the REA noted the following regarding adjustment of SO<sub>2</sub> concentrations:

This procedure for adjusting either the ambient concentrations (*i.e.*, in the air quality characterization) or health effect benchmark levels (*i.e.*, in the exposure assessment) was necessary to provide insight into the degree of exposure and risk which would be associated with an increase in ambient SO<sub>2</sub> levels such that the levels were just at the current standards in the areas analyzed. Staff recognizes that it is extremely unlikely that SO<sub>2</sub> concentrations in any of the selected areas where concentrations have been adjusted would rise to meet the current NAAQS and that there is considerable uncertainty associated with the simulation of conditions that would just meet the current standards. Nevertheless, this procedure was necessary to assess the ability of the current standards, not current ambient SO<sub>2</sub> concentrations, to protect public health (REA, section 6.5; p. 64)

These air quality adjustments are not meant to imply an expectation that SO<sub>2</sub>

concentrations will increase broadly across the United States or in any given area. Rather, as just noted above, they are meant to estimate SO<sub>2</sub>-related exposures and health risks if air quality were at the level of the current and potential alternative standards. Such estimates can inform decisions on whether the current standards, or particular potential alternative standards, provide the requisite protection of public health.

As mentioned above, UARG generally concluded that under all air quality scenarios, the results of EPA's quantitative risk assessment (the third of the analyses conducted in the REA (chapter 9), *see* section II.C above) are substantially overestimated because EPA did not use proper methods to estimate the parameters of the exposure-response functions used in its analyses. UARG contends this is because many of the subjects in the controlled human exposure studies from which EPA's exposure-response functions were derived (*see* REA, Table 9-3) were exposed to more than one SO<sub>2</sub> concentration, yet EPA treated each exposure event as being independent (*e.g.*, if the same subject was exposed to 200 and 300 ppb SO<sub>2</sub>, EPA considered these as representing two independent exposure events). UARG contends that observations from the same subject exposed to different SO<sub>2</sub> concentrations are not independent observations and should not be treated as such. Notably, when UARG derived their own exposure-response functions taking into account that observations from the same subject exposed to different SO<sub>2</sub> concentrations are not independent of each other, they estimated appreciably less risk than that estimated by EPA.

There are a variety of techniques and/or assumptions that can be used to fit individual subject data from the controlled human exposure studies (*see* REA, Table 9-3) to exposure-response curves. Moreover, any technique or assumption utilized will have inherent uncertainties. EPA discussed the uncertainties associated with our quantitative risk assessment in detail in the REA (REA, section 9.4); we also gave an overview of key uncertainties in the proposal (*see* section II.C.3, 74 FR at 64824). The approach used to estimate the exposure-response functions was not first introduced in the SO<sub>2</sub> risk assessment, it was previously recommended to EPA by an applied statistician serving on the O<sub>3</sub> CASAC Panel and used in the O<sub>3</sub> risk assessment (which had individual controlled human exposure data similar to that in the current SO<sub>2</sub> NAAQS review; *see* EPA 2007d and EPA 2007e).

Importantly, this approach allowed EPA to use all the available individual subject data. Moreover, an inspection of the estimated exposure-response curve and the underlying data suggest that any biases in the parameter estimates are likely to be slight (*see* EPA 2010, section II.C). Consequently, EPA does not accept UARG's view that the methodology used in EPA's quantitative risk assessment was inappropriate.

We further note that UARG's exposure-response functions do not fit the underlying controlled human exposure data (the proportions of subjects who responded at each exposure level) nearly as well as the exposure-response functions estimated using EPA's approach. We believe this could be due to the methodology used in UARG's reanalysis of the individual-level data from the controlled human exposure studies used in the quantitative risk assessment. UARG attempted to estimate subject-specific exposure-response functions, and to use the results of these estimates to obtain estimates of the two parameters in the population-level exposure-response functions. As described in more detail in section II.C of the RTC document (EPA 2010), EPA does not believe there are sufficient data to properly estimate the parameters of subject-specific exposure-response functions. More specifically, UARG chose a three-parameter quadratic function for the subject-specific exposure-response functions. However, none of the subjects had more than three exposures, and many had only one or two. EPA believes that this information is particularly limited for estimating these subject-specific exposure-response functions, especially given that a large percentage of the total number of subjects had fewer exposures than the number of parameters UARG was attempting to estimate (*i.e.*, UARG estimated three parameters in its exposure-response functions, but over fifty percent of subjects only had one or two exposures). It appears that UARG's population-level exposure-response function estimates depended on these subject-specific exposure-response function estimates and thus could explain why UARG's estimated population-level exposure-response functions do not fit the underlying controlled human exposure data nearly as well as the approach used by EPA. A more detailed response to this comment can be found in section II.C of the RTC document (EPA 2010).

As mentioned above, UARG also concluded that EPA further overestimates the total number of occurrences of an adverse lung function response (*i.e.*, total number of

<sup>12</sup> In conducting these analyses, EPA is not trying to evaluate whether areas would or would not be in attainment of the current standards. Again, those issues are addressed during the implementation of the NAAQS.

occurrences of increases in  $sRaw \geq 100$  or 200% and/or declines in  $FEV_1 \geq 15$  or 20%) in its quantitative risk assessment. More specifically, UARG concluded that the use of 50 ppb bins, combined with assigning all exposures within a bin the probability of an adverse lung function response at the midpoint of that bin (e.g., all exposures from 0–50 ppb were assigned the probability of an adverse lung function response occurring at 25 ppb), resulted in a substantial overestimate of the total number of occurrences of lung function responses in asthmatics at moderate or greater exertion. UARG generally concludes that this is because the vast majority of exposures of asthmatics at moderate or greater exertion are occurring below the midpoint of the 0–50 ppb exposure bin (i.e., most exposures are occurring below 25 ppb), yet EPA is assigning these very low  $SO_2$  exposures the higher probability of a lung function response associated with the midpoint of the 0–50 ppb exposure bin. UARG contends that this results in a substantial overestimation of the total number of occurrences of lung function response in asthmatics and asthmatic children at moderate or greater exertion. UARG further notes that this methodological concern was raised in its comments on the second draft REA, but EPA failed to address this issue and relied heavily on this metric in the proposal with respect to the adequacy of the current and potential alternative standards. EPA's response to this comment is discussed below and in more detail in section II.C of the RTC document (EPA 2010).

EPA generally agrees with UARG's technical comments that there is a substantial overestimation of the total occurrences of lung function responses because of the binning issues described above. However, we strongly disagree that: (1) This issue was not acknowledged in the final REA; and (2) the metric of total occurrences was relied on heavily in the policy assessment chapter of the REA (REA, chapter 10) and in the Administrator's rationale with respect to the adequacy of the current and potential alternative standards. First, EPA did respond to this concern in the final REA. More specifically, page 344 of the final REA states:

As noted in public comments on the 2nd draft  $SO_2$  REA, the assignment of response probability to the midpoint of the exposure bin combined with the lack of more finely divided intervals in this range can lead to significant overestimation of risks based on total occurrences of a defined lung function response. This is because the distribution of population exposures for occurrences is not

evenly distributed across the bin, but rather is more heavily weighted toward the lower range of the bin. Thus, combining all exposures estimated to occur in the lowest bin with a response probability assigned to the midpoint of the bin results in a significant overestimate of the risk. Therefore, staff places less weight on the estimated number of occurrences of lung function responses.

Thus, as noted in the final REA, less weight was placed on this metric in the quantitative risk assessment chapter (REA, chapter 9), and importantly, no weight was placed on this metric in either the policy assessment chapter of the REA (REA, chapter 10) or in the Administrator's rationale sections of the proposal preamble. Rather, the policy assessment chapter of the REA and the Administrator's rationale at the proposal considered the percent of exposed asthmatic children at moderate or greater exertion estimated to have at least one defined lung function response per year in St. Louis. Importantly, this metric is not appreciably affected by the binning issue raised in UARG's comments. As stated on page 344–345 of the final REA:

This overestimation of total occurrences does not impact the risk metric expressed as incidence or percent incidence of a defined lung function response 1 or more times per year because the bulk of the exposures contributing to these risk metrics are not skewed toward the lower range of the reported exposure bins.<sup>13</sup>

Finally, it is important to note that the Administrator's rationale in the proposal regarding the adequacy of the current and potential alternative standards in general placed only limited reliance on the results of the quantitative risk assessment in St. Louis, with no reliance on the estimates of total occurrences. Rather, in addition to the substantial weight that she placed on the scientific evidence as described in the ISA, the Administrator placed relatively more weight on the results of the St. Louis exposure analysis. For example, in discussing the adequacy of

<sup>13</sup> Although in St. Louis, the percent of exposed asthmatic children at moderate or greater exertion estimated to have at least one defined lung function response per year was not appreciably affected, it was found that for this same metric, the already very low risk estimates in Greene County became appreciably lower when the binning issue discussed above was considered. However, as noted above in section II.C and discussed in more detail in the REA (REA, section 10.3.3) and the proposal (see section II.E.b, 74 FR at 64827), the St. Louis exposure and risk results were found to be more informative in addressing the adequacy of the current and potential alternative standards. Moreover, while the Administrator's rationale in the proposal relied minimally on the St. Louis quantitative risk results (see above), she importantly placed no weight on any metric from the Greene County quantitative risk assessment.

the current standards, the proposal states: "The Administrator especially notes the results of the St. Louis exposure analysis which, as summarized above, indicates that substantial percentages of asthmatic children at moderate or greater exertion would be exposed, at least once annually, to air quality exceeding the 400 and 200 ppb benchmarks" (see 74 FR at 64829). We note that results of the quantitative risk assessment in St. Louis, with respect to the percent of asthmatic children estimated to have at least one lung function response per year (using EPA's exposure-response functions), supports the Administrator's overall conclusions in the proposal regarding the adequacy of the current and potential alternative standards.

### 3. Conclusions Regarding the Adequacy of the Current 24-Hour and Annual Standards

In reviewing the adequacy of the current standards, the Administrator has considered the scientific evidence assessed in the ISA, the exposure and risk results presented in the REA, the conclusions of the policy assessment chapter of the REA, and comments from CASAC and the public. These considerations are described below.

As in the proposal, the Administrator accepts and agrees with the ISA's conclusion that the results of controlled human exposure and epidemiologic studies form a plausible and coherent data set that supports a causal relationship between short-term (5 minutes to 24 hours)  $SO_2$  exposures and adverse respiratory effects. The Administrator acknowledges that there are uncertainties associated with the epidemiologic evidence (e.g., potential confounding by co-pollutants). However, she agrees that the epidemiologic evidence, supported by the controlled human exposure evidence, generally indicates that the effects seen in these studies are attributable to exposure to  $SO_2$ , rather than co-pollutants, most notably  $PM_{2.5}$ . She also accepts and agrees with the conclusion of the ISA that "[i]n the epidemiologic studies, respiratory effects were observed in areas where the maximum ambient 24-h avg  $SO_2$  concentration was below the current 24-h avg NAAQS level. \* \* \*" (ISA, section 5.2, p. 5–2) and so would occur at ambient  $SO_2$  concentrations that are present in locations meeting the current 24-hour NAAQS. The Administrator also notes that these effects occurred in areas with annual air quality levels considerably lower than those allowed by the current annual standard, indicating that the annual standard also



is not providing protection against such effects. Existence of epidemiologic studies showing adverse effects occurring at levels allowed by the current standards is an accepted justification for finding that it is appropriate to revise the existing standards. See, e.g. *American Trucking Associations v. EPA*, 283 F. 3d at 370; see also *American Farm Bureau v. EPA*, 559 F. 3d 512, 521–23 (DC Cir. 2009) (effects associated with short-term exposure seen in areas with ambient concentrations lower than long-term standard, so that without further explanation, standard does not adequately protect against short-term exposures).

With respect to the controlled human exposure studies, the Administrator judges that effects following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures ≥ 400 ppb and ≥ 200 ppb can result in adverse health effects to asthmatics. This judgment is based on ATS guidelines, explicit CASAC consensus written advice and recommendations, and judgments made by EPA in previous NAAQS reviews. Thus, similar to the proposal, she notes analyses in the REA supporting that 5-minute exposures ≥ 400 ppb and ≥ 200 ppb were associated with air quality adjusted upward to simulate just meeting the current standards. The Administrator especially notes the results of the St. Louis exposure analysis which, as summarized in the proposal (see section II.E.1.b and Table 3, see 74 FR at 64841), indicates that substantial percentages of asthmatic children at moderate or greater exertion would be exposed, at least once annually, to air quality exceeding the 400 and 200 ppb 5-minute benchmarks given air quality simulated to just meet the current standards. The Administrator judged these 5-minute exposures to be significant from a public health perspective due to their estimated frequency: Approximately 24% of child asthmatics at moderate or greater exertion in St. Louis are estimated to be exposed at least once per year to air quality exceeding the 5-minute 400 ppb benchmark, a level associated with lung function decrements in the presence of respiratory symptoms. Additionally, approximately 73% of child asthmatics in St. Louis at moderate or greater exertion would be expected to be exposed at least once per year to air quality exceeding the 5-minute 200 ppb benchmark. This health evidence and risk-based information underlie CASAC's conclusion that the current SO<sub>2</sub> standards do not adequately protect public health. As discussed in the

proposal, CASAC stated: "the current 24-hour and annual standards are not adequate to protect public health, especially in relation to short-term exposures to SO<sub>2</sub> (5–10 minutes) by exercising asthmatics" (Samet, 2009, p. 15). The Administrator agrees with this conclusion.

In considering approaches to revising the current standards, the Administrator concludes that it is appropriate to set a new standard, that such standard must provide requisite protection with an adequate margin of safety to a susceptible population (i.e., asthmatics at elevated ventilation), and that the standard must afford protection from short-term exposures to SO<sub>2</sub> in order to prevent the adverse health effects reported in both the controlled human exposure and epidemiologic studies. The Administrator notes that a 1-hour standard could provide increased public health protection, especially for members of at-risk groups, from health effects described in both controlled human exposure and epidemiologic studies, and hence, health effects associated with 5-minute to 24-hour exposures to SO<sub>2</sub>.<sup>14</sup> As discussed in section II.F.5 below, given the degree of protection afforded by such a standard, it may be appropriate to replace, and not retain, the current 24-hour and annual standards in conjunction with setting a new short-term standard.

#### F. Conclusions on the Elements of a New Short-Term Standard

In considering a revised SO<sub>2</sub> primary NAAQS, the Administrator notes the need to protect at-risk populations from: (1) 1-hour daily maximum and 24-hour average exposures to SO<sub>2</sub> that could cause the types of respiratory morbidity effects reported in epidemiologic studies; and (2) 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposure concentrations reported in controlled human exposure studies to result in moderate or greater decrements in lung function and/or respiratory symptoms. Considerations with regard to potential alternative standards and the specific conclusions of the Administrator are discussed in the following sections in terms of indicator, averaging time, form, and level (sections II.F.1 to II.F.4 below).

<sup>14</sup> We also note that such a standard would, among other things, address the deficiency in the current NAAQS which occasioned the remand of that standard for failing to adequately explain the absence of protection from short-term SO<sub>2</sub> bursts which could cause adverse health effects in hundreds of thousands of heavily breathing asthmatics. *American Lung Ass'n v. EPA*, 134 F. 3d at 392–93.

#### 1. Indicator

##### a. Rationale for Proposed Decision

In the last review, EPA focused on SO<sub>2</sub> as the most appropriate indicator for ambient SO<sub>x</sub>. In making a decision in the current review on the most appropriate indicator, the Administrator has considered the conclusions of the ISA and REA as well as the views expressed by CASAC and the public. The REA noted that, although the presence of gaseous SO<sub>x</sub> species other than SO<sub>2</sub> has been recognized, no alternative to SO<sub>2</sub> has been advanced as being a more appropriate surrogate for ambient gaseous SO<sub>x</sub>. Controlled human exposure studies and animal toxicology studies provide specific evidence for health effects following exposure to SO<sub>2</sub>. Epidemiologic studies also typically report levels of SO<sub>2</sub>, as opposed to other gaseous SO<sub>x</sub>. Because emissions that lead to the formation of SO<sub>2</sub> generally also lead to the formation of other SO<sub>x</sub> oxidation products, measures leading to reductions in population exposures to SO<sub>2</sub> can generally be expected to lead to reductions in population exposures to other gaseous SO<sub>x</sub>. Therefore, as noted in the proposal, meeting an SO<sub>2</sub> standard that protects the public health can also be expected to provide protection against potential health effects that may be independently associated with other gaseous SO<sub>x</sub> even though such effects are not discernable from currently available studies indexed by SO<sub>2</sub> alone. See *American Petroleum Institute v. EPA*, 665 F. 2d 1176, 1186 (DC Cir. 1981) (reasonable for EPA to use ozone as the indicator for all photochemical oxidants even though health information on the other photochemical oxidants is unknown; regulating ozone alone is reasonable since it presents a "predictable danger" and in doing so EPA did not abandon its responsibility to regulate other photochemical oxidants encompassed by the determination that photochemical oxidants as a class may be reasonably anticipated to endanger public health or welfare). Given these key points, the REA concluded that the available evidence supports the retention of SO<sub>2</sub> as the indicator in the current review (REA, section 10.5.1). Consistent with this conclusion, CASAC stated in a letter to the EPA Administrator that: "for indicator, SO<sub>2</sub> is clearly the preferred choice" (Samet 2009, p. 14).

##### b. Comments on Indicator

A small number of commenters directly addressed the issue of the indicator for the standard. These

commenters generally endorsed the proposal to continue to use SO<sub>2</sub> as the indicator for ambient SO<sub>x</sub>.

#### c. Conclusions on Indicator

Based on the available information discussed above, and consistent with the views of CASAC and other commenters, the Administrator concludes that it is appropriate to continue to use SO<sub>2</sub> as the indicator for a standard that is intended to address effects associated with exposure to SO<sub>2</sub>, alone or in combination with other gaseous SO<sub>x</sub>. In so doing, the Administrator recognizes that measures leading to reductions in population exposures to SO<sub>2</sub> will also reduce population exposures to other oxides of sulfur.

#### 2. Averaging Time

This section discusses considerations related to the averaging time of the SO<sub>2</sub> primary NAAQS. Specifically, this section summarizes the rationale for the Administrator's proposed decision regarding averaging time (II.F.2.a below; see section II.F.2 of the proposal for more detail at 74 FR 64832–64833), discusses public comments and EPA responses related to averaging time (II.F.2.b), and presents the Administrator's final conclusions regarding averaging time (II.F.2.c). Notably, public comments and the Administrator's conclusions on whether to retain or revoke the current 24-hour and/or annual standards given a new 1-hour standard are discussed in section II.F.5.

##### a. Rationale for Proposed Decision

In considering the most appropriate averaging time for the SO<sub>2</sub> primary NAAQS, the Administrator noted in the proposal the conclusions and judgments made in the ISA about the available scientific evidence, air quality correlations discussed in the REA, conclusions of the policy assessment chapter of the REA, and CASAC recommendations (section II.F.2 in the proposal). Specifically, she noted the following:

- The REA conclusion that an appropriate averaging time should focus protection on SO<sub>2</sub> exposures from 5-minutes to 24-hours (REA, section, 10.5.2).
- Air quality, exposure, and risk analyses from the REA indicating it is likely a 1-hour standard—with the appropriate form and level—can substantially reduce 5–10 minute peaks of SO<sub>2</sub> shown in controlled human exposure studies to result in respiratory symptoms and/or decrements in lung function in exercising asthmatics (*i.e.* 5-

minute SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  200 and 400 ppb).

- Air quality analyses indicating that a 1-hour standard—with the appropriate form and level—can substantially reduce the upper end of the distribution of SO<sub>2</sub> levels more likely to be associated with adverse respiratory effects (*see* section II.F.3 below); that is: (1) 99th percentile 1-hour daily maximum air quality concentrations in U.S. cities where positive effect estimates in epidemiologic studies of hospital admissions and emergency department visits for all respiratory causes and asthma were observed; and (2) 99th percentile 24-hour average air quality concentrations found in U.S. cities where emergency department visit and hospitalization studies (for all respiratory causes and asthma) reported statistically significant associations in multi-pollutant models with PM.

- The REA conclusion that a 5-minute averaging time is undesirable because it would result in significant and unnecessary instability due to the likelihood that locations would frequently shift in and out of attainment—thereby reducing public health protection by disrupting an area's ongoing implementation plans and associated control programs.

- CASAC statement addressing whether a 1-hour averaging time can adequately control 5–10 minute peak exposures and whether there should be a 5-minute averaging time. CASAC stated that the REA's rationale for a one-hour standard was “convincing” (Samet 2009, p. 16), and that “a one-hour standard is the preferred averaging time” (Samet 2009, p. 15).

- CASAC's statement that they were “in agreement with having a short-term standard and finds that the REA supports a 1-hour standard as protective of public health” (Samet 2009, p. 1).

##### b. Comments on Averaging Time

A large number of public commenters also endorsed the establishment of a new standard with a 1-hour averaging time (although some groups' support hinged on the accompanying level). These included a number of State organizations (*e.g.*, NACAA, NESCAUM); State environmental agencies (*e.g.*, such agencies in IA, IL, NY, MI, NM, OH, PA, TX, VT); public health and environmental organizations (*e.g.*, ALA, ATS, New York Department of Health (NYDOH), Sierra Club, EDF); the Fond du Lac Tribe; local groups (*e.g.*, Houston-Galveston Area Council, New York City); and almost all of the individual commenters (13,000). The supporting rationales offered by these commenters often acknowledged the

recommendations of CASAC and the Administrator's rationale as discussed in the proposal.

Though many industry commenters did not support the proposed revisions to the SO<sub>2</sub> primary NAAQS (as discussed above in section II.E.2), a few of these groups did express that if a short-term standard were to be set, a 1-hour averaging time could be appropriate, depending on the level and form selected (*e.g.*, ExxonMobil, Kean Miller). Other industry commenters (*e.g.*, ASARCO, RIO Tinto Alcan, Association of Battery Recyclers (ABR)) and the South Dakota Department of Environment and Natural Resources (SD DENR) expressed that EPA should have considered longer averaging times (*e.g.*, 3 hours). In addition, although health and environmental groups were supportive of setting a new 1-hour standard to protect against short-term exposures to SO<sub>2</sub> (again, depending on the level of the 1-hour standard selected), these groups also commented that a 5-minute standard to protect susceptible populations from health effects associated with 5-minute peaks of SO<sub>2</sub> would be optimal (*e.g.*, ALA, ATS, Sierra Club, EDF). These comments, and EPA's responses, are discussed in more detail below.

As discussed above, industry commenters who disagreed with setting a new 1-hour standard generally based this conclusion on their interpretation of the scientific evidence and their conclusion that this evidence does not support the proposed revisions to the current SO<sub>2</sub> NAAQS. EPA's responses to these commenters were presented above in section II.E.2.a and II.E.2.b.

Also noted above, some industry commenters (*e.g.*, ASARCO, RIO Tinto Alcan, ABR) and the SD DENR expressed that EPA should have considered longer averaging times (*e.g.*, 3-hour, 8-hour, 24-hour). In general, these groups concluded that a standard with a longer averaging time could potentially provide the same public health protection as a 1-hour standard, while also providing a more stable regulatory target. For example, in its comments, the SD DENR states: “DENR recommends EPA evaluate a 3-hour or 8-hour standard to determine if these averaging periods are also protective of the public health. If they are, EPA should propose a 3-hour or 8-hour sulfur dioxide standard instead of a 1-hour standard. A longer averaging period would smooth out the variability of the upper range measurements and provide a more stable standard.” Similarly, Rio Tinto Alcan stated in its comments: “the short-term averaging period defined by EPA (*i.e.*, 5 minutes



to 24 hours) is not limited to only 5-minute, 1-hour and 24-hour averaging periods. EPA could explain in more detail why these three averaging periods were examined when considering appropriate averaging periods to limit short-term peaks of SO<sub>2</sub> \* \* \* a longer term average could provide additional stability to the standard while at the same time effectively protecting public health.”

Although we agree that alternative averaging times could potentially provide similar public health protection (assuming an appropriate form and level), we believe that a 1-hour averaging time is reasonably justified by the scientific evidence presented in the ISA and by the air quality information presented in the REA. As described in detail in the proposal (*see* section II.F.2), the controlled human exposure evidence presented in the ISA provided support for an averaging time that protects against 5–10 minute peak SO<sub>2</sub> exposures (REA, section 10.5.2, pp. 371–372), and results from epidemiologic studies most directly provided support for both 1-hour and 24-hour averaging times (REA, section 10.5.2, p. 372). Thus, we found it most reasonable to consider these averaging times for a revised SO<sub>2</sub> NAAQS given that there is very little basis in the health evidence presented in the ISA to consider other averaging times (*e.g.*, 3-hour or 8-hour). In so doing, we first noted the likelihood that averaging times of 1 and 24 hours could provide protection against 5-minute peak SO<sub>2</sub> exposures. As described in detail in the proposal (*see* section II.F.2, 74 FR at 64830–64833), it was initially concluded that a 1-hour averaging time, rather than a 24-hour averaging time, would be more appropriate for limiting 5-minute peaks of SO<sub>2</sub>. Similarly, we concluded that a 1-hour standard, given the appropriate form and level, could likely limit 99th percentile 24-hour average air quality concentrations found in U.S. locations where emergency department visit and hospitalization studies (for all respiratory causes and asthma) observed statistically significant associations in multi-pollutant models with PM (*i.e.*, 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentration ≥ 36 ppb). Taken together, we reasonably concluded that a 1-hour standard, with an appropriate form and level, can provide adequate protection against the range of health outcomes associated with averaging times from 5 minutes to 24 hours (proposal section II.F.2 and REA, section 10.5.2.3). We also note that our conclusion is in agreement with CASAC comments on the second draft

REA. CASAC stated that they were “in agreement with having a short-term standard and finds that the REA supports a one-hour standard as protective of public health” (Samet 2009, p. 1). In addition, as discussed in more detail below in section II.F.3, we found that a 1-hour standard in combination with the selected form, will provide a stable regulatory target.

As noted above, although health and environmental groups were supportive of setting a new 1-hour standard to protect against short-term exposures to SO<sub>2</sub> (again, depending on the level of the 1-hour standard selected), these groups generally commented that a 5-minute standard to protect against health effects associated with 5-minute peaks would be optimal (*e.g.*, ALA, Sierra Club, EDF). For example, in their combined comments ALA, EDF, NRDC, and Sierra Club (ALA *et al.*) stated: “We need a short-term SO<sub>2</sub> standard, optimally a 5-minute standard, to protect against bursts of pollution that can result from start-up, shutdown, upset, malfunction, downwash, complex terrain, atmospheric inversion conditions, and other situations” and that “EPA has over emphasized a concern about the stability of a 5-minute standard \* \* \* The record does not show that any alleged instability of a 5-minute standard has any relevance to whether such a standard is requisite to protect public health.”

We agree that there needs to be a short-term standard to protect against 5-minute peaks of SO<sub>2</sub>. However, we do not believe setting a 5-minute standard to be the best way of accomplishing that objective. As in past NAAQS reviews, EPA properly considered the stability of the design of pollution control programs in its review of the elements of a NAAQS, since more stable programs are more effective, and hence result in enhanced public safety. *American Trucking Associations v. EPA*, 283 F. 3d at 375 (choice of 98th percentile form for 24-hour PM NAAQS, which allows a number of high exposure days per year to escape regulation under the NAAQS, justifiable as “promot[ing] development of more ‘effective [pollution] control programs’”, since such programs would otherwise be “less ‘stable’—and hence \* \* \* less effective—than programs designed to address longer-term average conditions”, and there are other means (*viz.* emergency episode plans) to control those high exposure days). In this review, there were legitimate concerns about the stability of a standard using a 5-minute averaging time. Specifically, there was concern that compared to longer averaging times (*e.g.*, 1-hour, 24-hour), year-to-year

variation in 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations were likely to be substantially more temporally and spatially diverse. Thus, it is more likely that locations would frequently shift in and out of attainment thereby reducing public health protection by disrupting an area’s ongoing implementation plans and associated control programs. Consequently, the REA concluded that a 5-minute averaging time would not provide a stable regulatory target and therefore would not be the preferred approach to provide adequate public health protection. A 1-hour averaging time does not have these drawbacks. As noted in the REA and the proposal (*see* proposal sections II.F.2.a and II.F.2.c), air quality, exposure, and risk analyses support that a 1-hour averaging time, given an appropriate form and level can adequately limit 5-minute SO<sub>2</sub> exposures and provide a more stable regulatory target than setting a 5-minute standard. More specifically, based on the air quality and exposure analyses presented in chapters 7 and 8 of the REA, there is also a strong likelihood that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard will limit 5–10 minute peaks of SO<sub>2</sub> shown in controlled human exposure studies to result in decrements in lung function and/or respiratory symptoms in exercising asthmatics (*see* especially REA Tables 7–11 to 7–14 and Figure 8–19).

We also note that a 1-hour standard to protect against 5-minute exposures is in agreement with CASAC advice and recommendations. That is, CASAC stated that they were “in agreement with having a short-term standard and finds that the REA supports a 1-hour standard as protective of public health” (Samet 2009, p. 1). Similarly, in a CASAC statement addressing whether a 1-hour averaging time can adequately control 5–10 minute peak exposures and whether there should be a 5-minute averaging time, CASAC stated that the REA had presented a “convincing rationale” (Samet 2009, p. 16) for a 1-hour standard, and that “a one-hour standard is the preferred averaging time” (Samet 2009, p. 15).

### c. Conclusions on Averaging Time

In considering the most appropriate averaging time(s) for the SO<sub>2</sub> primary NAAQS, the Administrator notes the conclusions and judgments made in the ISA about the available scientific evidence, air quality considerations from the REA, CASAC advice and recommendations, and public comments received. Based on these considerations, the Administrator concludes that a new standard based on

1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations will provide increased protection against effects associated with short-term (5 minutes to 24 hours) exposures. The rationale for this decision is described below.

Similar to the proposal (*see* section II.F.2.c), the Administrator first agrees with the REA's conclusion that the standard should focus protection on short-term SO<sub>2</sub> exposures from 5 minutes to 24 hours. As noted above, CASAC's strong recommendation supports this approach as well.<sup>15</sup> The Administrator further agrees that the standard must provide requisite protection from 5–10 minute exposure events, but believes that this can be provided without having a standard with a 5-minute averaging time. The Administrator agrees with the REA conclusion that it is likely a 1-hour standard—with the appropriate form and level—can substantially reduce 5–10 minute peaks of SO<sub>2</sub> shown in controlled human exposure studies to result in respiratory symptoms and/or decrements in lung function in exercising asthmatics. The Administrator further believes that a 5-minute averaging time would result in significant and unnecessary instability and is undesirable for that reason. The Administrator also notes the statements from CASAC mentioned above addressing whether a 1-hour averaging time can adequately control 5–10 minute peak exposures and whether there should be a 5-minute averaging time. As noted above, addressing this question, CASAC stated that the REA had presented a "convincing rationale" (Samet 2009, p. 16) for a 1-hour standard, and that "a one-hour standard is the preferred averaging time" (Samet 2009, p. 15).

Second, as in the proposal the Administrator agrees that a 1-hour averaging time (again, with the appropriate form and level) would provide protection against the range of health outcomes associated with averaging times of 1 hour to 24 hours. Specifically, the Administrator finds that a 1-hour standard can substantially reduce the upper end of the distribution of SO<sub>2</sub> levels more likely to be associated with adverse respiratory effects (*see* discussion on Form, section II.F.3); that is: (1) 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> air quality

concentrations in U.S. locations where positive SO<sub>2</sub> effect estimates were reported in epidemiologic studies of emergency department visits and hospital admissions for all respiratory causes and asthma; and (2) 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> air quality concentrations found in U.S. locations where emergency department visit and hospital admission studies using multi-pollutant models with PM reported statistically significant associations (for all respiratory causes or asthma) with ambient SO<sub>2</sub> (*see* REA, section 10.5.2.2 and proposal section II.F.2, 74 FR at 64831). Finally, the Administrator again notes that establishing a new 1-hour averaging time is in agreement with CASAC recommendations. As noted above, CASAC stated that they were "in agreement with having a short-term standard and finds that the REA supports a one-hour standard as protective of public health" (Samet 2009, p. 1). Moreover, CASAC agreed with the REA that a "one-hour standard is the preferred averaging time" (Samet 2009, p.15).

### 3. Form

This section discusses considerations related to the form of the 1-hour SO<sub>2</sub> primary NAAQS. Specifically, this section summarizes the rationale for the Administrator's proposed decision regarding form (II.F.3.a; *see* proposal section II.F.3, 74 FR at 64833–64834 of the proposal for more detail), discusses comments related to form (II.F.3.b), and presents the Administrator's final conclusions regarding form (II.F.3.c).

#### a. Rationale for Proposed Decision

In considering the most appropriate form for the SO<sub>2</sub> primary NAAQS, the Administrator noted in the proposal the conclusions and judgments made in the ISA about available scientific evidence, air quality information discussed in the REA, conclusions of the policy assessment chapter of the REA, and CASAC recommendations (*see* section II.F.3, 74 FR at 64833–64834 in the proposal). Specifically, the proposal referenced the following:

- Information in the ISA that suggested that adverse respiratory effects are more likely to occur at the upper end of the distribution of ambient SO<sub>2</sub> concentrations. That is, the ISA describes a few studies that reported an increase in SO<sub>2</sub>-related respiratory health effects at the upper end of the distribution of SO<sub>2</sub> concentrations (ISA, section 5.3, p. 5–9).

- The REA conclusion that a concentration-based form averaged over three years would better reflect the

continuum of health risks posed by increasing SO<sub>2</sub> concentrations (*i.e.* the percentage of asthmatics affected and the severity of the response increases with increasing SO<sub>2</sub> concentrations; REA, section 10.5.3) by giving proportionally greater weight to years when 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are well above the level of the standard, than just above the level of the standard.

- Analyses in the REA that suggested for a given SO<sub>2</sub> standard level, a 99th percentile form is appreciably more effective at limiting 5-minute peak SO<sub>2</sub> concentrations than a 98th percentile form (REA, section 10.5.3 and REA, Figures 7–27 and 7–28).

- Analyses in the REA indicating that over the last 10 years and for the vast majority of the sites examined, there appears to be little difference in 98th and 99th percentile design value stability (REA, section 10.5.3).

- The REA conclusion that taken together, the evidence and air quality information indicate that consideration should be given primarily to a 1-hour daily maximum standard with a 99th percentile or 4th highest daily maximum form (REA, section 10.5.3.3).

- CASAC indications that: "there is adequate information to justify the use of a concentration-based form averaged over 3 years" (Samet 2009, p. 16).

- CASAC recommendations that when evaluating 98th vs. 99th percentile forms, EPA should consider the number of days per year 98th vs. 99th percentile forms would allow SO<sub>2</sub> concentrations to exceed the selected standard level. Similarly, CASAC recommendations to consider the number of exceedences of 5-minute benchmarks given 98th vs. 99th percentile forms at a given standard level (Samet 2009).

#### b. Comments on Form

Most all State organizations and agencies (*e.g.*, NAACA, NESCAUM and agencies in FL, NM, PA, SC, TX, VT) supported a 99th percentile or 4th highest form. Similarly, public health (*e.g.*, ALA, ATS) and environmental organizations (*e.g.*, CBD, WEACT for Environmental Justice) and the Alexandria Department of Transportation and Environmental Services preferred either a 99th percentile or a more stringent form (*e.g.*, no exceedence) to further limit the occurrence of SO<sub>2</sub> concentrations that exceed the standard level in locations that attain the standard. In contrast, many industry groups (*e.g.*, UARG, NAM, LEC, RRI Energy, AirQuality Research & Logistics (AQR)), and the SD DENR conditionally supported a

<sup>15</sup> As noted above, such a standard also satisfactorily addresses the issue raised by the reviewing court in the litigation that followed the last review of the SO<sub>2</sub> NAAQS: Why was no protection afforded in the standard for a susceptible subpopulation known to experience repeated adverse effects from exposure to 5–10 minute SO<sub>2</sub> bursts. American Lung Ass'n, 134 F. 3d at 392–93.

98th percentile form if EPA were to set a 1-hour standard.<sup>16</sup> EPA responses to specific comments on the form of the standard can be found below and in the RTC document (EPA 2010).

As mentioned above, a number of industry groups and the SD DENR preferred a 98th percentile form. In general, their preference for a 98th percentile form was based on their conclusion that a form based on the 98th percentile would be more stable than a form based on the 99th percentile, and that a 98th percentile form is consistent with the forms selected in recent NAAQS reviews (*i.e.* PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub>). For example AQRL stated: "The Administrator should reconsider her proposal and choose instead the 98th percentile (or equivalent nth highest value) form of the standard for the added reliability and stability it offers in determining compliance or progress towards attainment. This approach has been promulgated for recent revisions of the PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> standards and this consistency should be maintained with SO<sub>2</sub>."

We agree with the commenters that it is important that a 1-hour standard have a form that is reasonably stable, but we disagree that a 98th percentile form is significantly more stable than a 99th percentile form. We note that the REA discussed analyses (also briefly described in the proposal; *see* section II.F.3, 74 FR at 64834) comparing trends in 98th and 99th percentile design values from 54 sites located in the 40 counties selected for the detailed air quality analysis (REA section 10.5.3 and Thompson, 2009). These results suggested that at the vast majority of sites, there would have been similar changes in 98th and 99th percentile design values over the last ten years (*i.e.* based on evaluating overlapping three year intervals over the last ten years; *see* REA, Figure 10-1 and Thompson, 2009). As part of this analysis, all of the design values over this ten year period for all 54 sites were aggregated and the standard deviation calculated (REA, Figure 10-2 and Thompson, 2009). Results demonstrated similar standard deviations—*i.e.* similar stability—based on aggregated 98th or aggregated 99th percentile design values over the ten

year period (*see* REA, Figure 10-2 and Thompson 2009). Thus, we believe that in most locations, there will not be a substantial difference in stability between 98th and 99th percentile forms.

We also disagree with the commenters that the forms of NAAQS standards should be consistent across different NAAQS pollutants. This is almost like advocating consistent levels or averaging times for different NAAQS pollutants. Each pollutant is manifestly different from another, and the decision as to an appropriate standard for each, and appropriate elements (including form) of each standard and the interaction of these elements, necessarily is fact-specific. Cf. *Sierra Club v. EPA*, 353 F. 3d 976, 986 (DC Cir. 2004) ("This court has adopted an 'every tub on its own bottom' approach to EPA's setting of standards pursuant to the CAA, under which the adequacy of the underlying justification offered by the agency is the pertinent factor—not what the agency did on a different record concerning a different industry") (Roberts J.). There is thus no basis to say *a priori* that any element of one NAAQS should be consistent with another, although if all other things are equal, selecting stable forms for each NAAQS is a legitimate objective.

A 99th percentile form, rather than a 98th percentile form, is also needed for the standard to provide requisite public health protection. In this review of the primary SO<sub>2</sub> NAAQS, we considered information in the ISA suggesting that adverse respiratory effects are more likely to occur at the upper end of the distribution of ambient SO<sub>2</sub> concentrations. That is, the ISA described a few studies that reported an increase in SO<sub>2</sub>-related respiratory health effects at the upper end of the distribution of SO<sub>2</sub> concentrations (*i.e.*, above 90th percentile SO<sub>2</sub> concentrations; ISA, section 5.3, p. 5-9). Moreover, we considered the extent to which different percentile forms, given the same standard level, limit 5-minute concentrations of SO<sub>2</sub> above benchmark levels. As noted above in section II.F.3.a, and in more detail in the proposal (*see* section II.F.3.a, 74 FR at 64834), air quality analyses presented in the REA suggested that at a given SO<sub>2</sub> standard level, a 99th percentile form is appreciably more effective at limiting 5-minute peak SO<sub>2</sub> concentrations than a 98th percentile form (REA, section 10.5.3, and REA, Figures 7-27 and 7-28). Taken together with the analyses suggesting that 98th and 99th percentile forms have similar stabilities, we reasonably concluded that a 99th percentile form was most appropriate for a 1-hour SO<sub>2</sub> standard.

As mentioned above, a number of health and environmental groups supported a 99th percentile form, but expressed that they would prefer a more restrictive form, such as a no-exceedance based form. In addition, the Alexandria Department of Transportation and Environmental Services only recommended a no, or one exceedance based form. In general, these groups concluded that a more restrictive form would further limit the: (1) Number of days an area could exceed the standard level and still attain the standard; and (2) the occurrence of 5-minute peaks of SO<sub>2</sub> above benchmark levels.

It is important that the particular form selected for a 1-hour daily maximum standard reflect the nature of the health risks posed by increasing SO<sub>2</sub> concentrations. The REA and proposal (*see* section II.F.3, 74 FR at 64833) noted that the form of the standard should reflect results from controlled human exposure studies demonstrating that the percentage of asthmatics affected, and the severity of the respiratory response (*i.e.* decrements in lung function, respiratory symptoms) increases as SO<sub>2</sub> concentrations increase. Taking this into consideration, EPA staff concluded that a concentration-based form, averaged over three years, is more appropriate than an exceedance-based form (REA, section 10.5.3). This is because a concentration-based form averaged over three years gives proportionally greater weight to years when

1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are well above the level of the standard, as it gives to years when 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are just above the level of the standard. In contrast, an expected exceedance form gives the same weight to years when 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are just above the level of the standard as it gives to years when 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are well above the level of the standard. Therefore, we concluded that a concentration-based form, averaged over three years (which also increases the stability of the standard) better reflects the continuum of health risks posed by increasing SO<sub>2</sub> concentrations (*i.e.* the percentage of asthmatics affected and the severity of the response increases with increasing SO<sub>2</sub> concentrations; REA, section 10.5.3). Moreover, we note that analyses in the REA indicate that in most locations analyzed, a 99th percentile form would correspond to the 4th highest daily maximum concentration in a year, and that the 99th percentile, combined with the standard level

<sup>16</sup> EPA did not propose or seek comment on a 98th percentile form or a more restrictive form (*e.g.*, an exceedance based form). EPA also considered a 4th highest form, which is generally equivalent to the 99th percentile. However, a percentile based form is preferred since it results in a sampling from the same part of the annual distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations regardless of the number of 1-hour daily maximum concentrations reported in a given year for a particular location.

selected, will substantially limit 5-minute peaks of SO<sub>2</sub> above the 200 ppb and higher benchmark levels (see below, section II.F.4). Finally, we note that a concentration based form is in agreement with CASAC advice that: "there is adequate information to justify the use of a concentration-based form averaged over 3 years" (Samet 2009, p. 16).

#### c. Conclusions on Form

The Administrator agrees that the form of the standard should reflect the health evidence presented in the ISA indicating that the percentage of asthmatics affected and the severity of the response increases with increasing SO<sub>2</sub> concentrations. The Administrator also agrees that it is reasonable to consider the standard's stability as part of consideration of the form of the standard. Thus, the Administrator agrees that the standard should use a concentration-based form averaged over three years in order to give due weight to years when 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations are well above the level of the standard, than to years when 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations are just above the level of the standard. She also notes that a concentration-based form averaged over 3 years would likely be appreciably more stable than a no-exceedence based form.

In selecting a specific concentration based form, the Administrator first notes that a few epidemiologic studies described in the ISA reported an increase in SO<sub>2</sub>-related respiratory health effects at the upper end of the distribution of ambient SO<sub>2</sub> concentrations (*i.e.*, above 90th percentile SO<sub>2</sub> concentrations; see ISA, section 5.3, p. 5–9). The Administrator notes further that numerous controlled human exposure studies have reported decrements in lung function and/or respiratory symptoms in exercising asthmatics exposed to peak 5–10 minute SO<sub>2</sub> concentrations. The Administrator therefore concludes that the form of a new 1-hour standard should be especially focused on limiting the upper end of the distribution of ambient SO<sub>2</sub> concentrations (*i.e.*, above 90th percentile SO<sub>2</sub> concentrations) in order to provide protection with an adequate margin of safety against effects reported in both epidemiologic and controlled human exposure studies.

In further considering specific concentration based forms, the Administrator notes as outlined above in section II.F.3.b, and discussed in more detail in the REA (REA, section 10.5.3) and proposal (see section II.F.3, 74 FR at 64834), that a 99th percentile form is likely to be appreciably more

effective at limiting 5-minute benchmark exposures of concern compared to a 98th percentile form. Taken together with the considerations just discussed above, the Administrator has selected a 99th percentile form, averaged over 3 years. The Administrator concludes that a 99th percentile form, given the level selected (see section II.F.4 immediately below), will limit both the upper end of the distribution of ambient SO<sub>2</sub> concentrations reported in some epidemiologic studies to be associated with increased risk of SO<sub>2</sub>-related respiratory morbidity effects (*e.g.*, emergency department visits), as well as 5-minute peak SO<sub>2</sub> concentrations resulting in decrements in lung function and/or respiratory symptoms in exercising asthmatics participating in controlled human exposure studies.

#### 4. Level

As discussed below and in more detail in the proposal (section II.F.4, 74 FR at 64834), the Administrator proposed to set a 1-hour standard with a 99th percentile form (averaged over three years), with a level in the range of 50 to 100 ppb. The Administrator also solicited comment on standard levels greater than 100 ppb up to 150 ppb. This section summarizes the rationale for the Administrator's proposed range of standard levels (II.F.3.a), discusses comments related to the range of standard levels (II.F.3.b), and presents the Administrator's final conclusions regarding the level of a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard (II.F.3.c).

##### a. Rationale for Proposed Decision

In assessing the level of a 1-hour standard with a 99th percentile form (averaged over three years), the Administrator considered the broad range of scientific evidence assessed in the ISA, including the epidemiologic studies and controlled human exposure studies, as well as the results of air quality, exposure, and risk analyses presented in the REA. In light of this body of evidence and analyses, the Administrator found it is necessary to provide increased public health protection for at-risk populations against an array of adverse respiratory health effects related to short-term (*i.e.*, 5 minutes to 24 hours) exposures to ambient SO<sub>2</sub>. In considering the most appropriate way to provide this protection, the Administrator was mindful of the extent to which the available evidence and analyses could inform a decision on the level of a standard. The Administrator's proposed decisions on level, as discussed in detail

in the proposal (see section II.F.4.e), are outlined below.

Given the above considerations, the Administrator proposed to set a level for a new 99th percentile 1-hour daily maximum primary SO<sub>2</sub> standard within the range from 50 to 100 ppb and took comment on levels above 100 ppb, up to 150 ppb. In reaching this proposed decision, the Administrator considered: (1) The evidence-based considerations from the final ISA and the final REA; (2) the results of the air quality, exposure, and risk assessments discussed above and in the final REA; (3) CASAC advice and recommendations on both the ISA and REA discussed above and provided in CASAC's letters to the Administrator; and (4) public comments received on the first and second drafts of the ISA and REA. In considering what level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard is requisite to protect public health with an adequate margin of safety, the Administrator was mindful that this choice requires judgments based on an interpretation of the evidence and other information that neither overstates nor understates the strength and limitations of that evidence and information.

As noted above, the Administrator selected an upper end of a range of levels to propose at 100 ppb. The selection of this level focused on the results of the controlled human exposure studies and is primarily based on the results of the air quality and exposure analyses which suggest that a 1-hour standard should be at or below 100 ppb to appreciably limit 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark concentrations  $\geq$  200 ppb (see proposal Tables 2–4, and proposal sections II.F.4.a and II.F.4.b). That is, as described in the proposal (see section II.F.4.e), the 40-county air quality analysis estimates that a 100 ppb 1-hour standard would allow at most 2 days per year on average when estimated 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 400 ppb benchmark, and at most 13 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 200 ppb benchmark (see proposal Table 2). Furthermore, given a simulated 1-hour 100 ppb standard level, most counties in the air quality analysis were estimated to experience 0 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 400 ppb benchmark and  $\leq$  3 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations were estimated to exceed the 200 ppb benchmark (see REA, Tables 7–14 and 7–12). The Administrator also noted that the St. Louis exposure analysis indicated that a 1-hour standard at

100 ppb would still be estimated to protect > 99% of asthmatic children at moderate or greater exertion from experiencing at least one 5-minute SO<sub>2</sub> exposure ≥ 400 ppb per year, and about 97% of these children from exposures ≥ 200 ppb. In contrast, as described in the proposal (see section II.F.4.b), the St. Louis exposure analysis estimated that a 1-hour standard at 150 ppb would likely only protect about 88% of asthmatic children at moderate or greater exertion from experiencing at least one 5-minute SO<sub>2</sub> exposure ≥ 200 ppb per year.

As noted above and described in detail in the proposal (see section II.F.4.e), the Administrator selected 50 ppb as the lower end of a range of levels to propose, which is consistent with CASAC's advice. The selection of this level focused in part on the U.S. epidemiologic evidence described in detail in the proposal (see sections II.B.2, II.F.4.a, and II.F.4.e). With respect to these epidemiologic studies, seven of ten U.S. emergency department visit and hospital admission studies reporting generally positive associations with ambient SO<sub>2</sub> were conducted in locations where 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> levels were about 75–150 ppb, and three of these studies observed statistically significant positive associations between ambient SO<sub>2</sub> and respiratory-related emergency department visits and hospitalizations in multi-pollutant models with PM (NYDOH (2006), Ito *et al.*, (2007), and Schwartz *et al.*, (1995)). Thus, the Administrator noted that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard set at a level of 50 ppb is well below the 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations reported in locations where these three studies were conducted (*i.e.* well below 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> levels of 78–150 ppb seen in NYDOH (2006), Ito *et al.*, (2007), and Schwartz *et al.*, (1995)). Finally, the Administrator noted that two epidemiologic studies reported generally positive associations between ambient SO<sub>2</sub> and emergency department visits in cities when 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations were approximately 50 ppb, but did not consider that evidence strong enough to propose setting a standard level lower than 50 ppb.

In considering the results of the air quality and exposure analyses, the Administrator also noted that the 40-county air quality analysis estimates that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard set at a level of 50 ppb would result in zero days per year when estimated 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 400 ppb 5-

minute benchmark level and at most 2 days per year when modeled 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 200 ppb 5-minute benchmark level (see proposal section II.F.4.b and proposal Table 2). In addition, the St. Louis exposure analysis estimates that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard set at a level of 50 ppb would likely protect > 99% of asthmatic children at moderate or greater exertion from experiencing at least one 5-minute exposure both ≥ 400 and > 200 ppb per year (see proposal section II.F.4.b and Table 3). In addition, although not directly analyzed in the REA, the proposal (section II.F.4.b) noted that a 1-hour daily maximum standard at a level of 75 ppb would be bound by the exposure estimates from air quality adjusted to just meet 99th percentile 1-hour daily maximum standards at 50 and 100 ppb. Thus, a 1-hour daily maximum standard at a level of 75 ppb would be estimated to protect > 99% of asthmatic children at moderate or greater exertion in St. Louis from experiencing at least one exposure ≥ 400 ppb per year, and about 97% to > 99% of these children from experiencing at least one exposure ≥ 200 ppb per year.

The Administrator thus proposed to set the level of a new 1-hour standard that would protect public health with an adequate margin of safety between 50 ppb and 100 ppb. In so doing, the Administrator relied on reported findings from both epidemiologic and controlled human exposure studies, as well as the results of air quality and exposure analyses. The Administrator noted that the lower end of the proposed range was consistent with CASAC advice that there is clearly sufficient evidence for consideration of standard levels starting at 50 ppb (Samet 2009, p. 16). With respect to the upper end of the proposed range, the Administrator noted that CASAC concluded that standards up to 150 ppb "could be justified under some interpretations of weight of evidence, uncertainties, and policy choices regarding margin of safety" (*id.*), although the letter did not provide any indication of what interpretations, uncertainties, or policy choices might support selection of a level as high as 150 ppb.

In light of the range of levels included in CASAC's advice, the Administrator also solicited comment on setting a standard level above 100 ppb and up to 150 ppb. In so doing, the Administrator recognized that there are uncertainties with the scientific evidence, such as attributing effects reported in epidemiologic studies specifically to SO<sub>2</sub> given the presence of co-occurring

pollutants, especially PM, and the uncertainties associated with using ambient SO<sub>2</sub> concentrations as a surrogate for exposure. However, the Administrator noted that compared to the proposed range of 50–100 ppb, a standard level as high as 150 ppb would not comparably limit 5-minute SO<sub>2</sub> exposures ≥ 200 ppb. That is, she noted that the St. Louis exposure analysis estimated that a 150 ppb standard would protect approximately 88% of asthmatic children at moderate or greater exertion from experiencing at least one SO<sub>2</sub> exposure ≥ 200 ppb per year (compared to > 99% and approximately 97% given standards at 50 and 100 ppb respectively; see proposal Table 3 at 74FR at 64841).

#### b. Comments on Level

Most State and local agencies and organizations that commented on this issue expressed support for setting the level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard somewhere within the proposed range of 50 to 100 ppb. More specifically, State environmental organizations (*i.e.*, NACAA and NESCAUM); State environmental agencies (*e.g.*, such agencies in DE, IL, MI, NY, NM, PA, VT), the Fond du Lac Tribe, and local groups (*e.g.*, NYDOH, City of Houston, New York City, Houston-Galveston Area Council) supported a level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard in the range of 50 to 100 ppb. In addition, State environmental agencies in IA and TX specifically supported a standard level of 100 ppb. In general, these groups cited the conclusions of CASAC and the Administrator's rationale as stated in the proposal as a basis for their recommendations, though State environmental agencies in IA and TX generally recommended placing more weight on the controlled human exposure evidence rather than on the epidemiology.

A number of environmental and medical/public health organizations (*e.g.*, ALA, ATS, EDF, Sierra Club, WEACTION for Environmental Justice, NRDC, CBD) and some local organizations (*e.g.*, Alexandria Department of Transportation and Environmental Services, and Harris County (TX) Public Health & Environmental Services) supported setting a standard level at or near 50 ppb. This recommendation was typically based on the commenters' interpretation of the controlled human exposure and epidemiologic evidence, as described below.

With regard to the controlled human exposure evidence, health and environmental groups generally concluded that a 1-hour SO<sub>2</sub> standard

no higher than 50 ppb is needed to protect against 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark exposures as low as 100 ppb identified from mouthpiece exposure studies, rather than the 200 ppb 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark identified from "free breathing" controlled human exposure studies. More specifically, ALA *et al.*, stated:

In its analysis of data from chamber studies in the ISA and in the REA, EPA focuses on studies of "free breathing" exposure. In doing so, EPA improperly and arbitrarily downplays important evidence that reported increased airway resistance, a measure of bronchoconstriction, in subjects with mild asthma at concentrations of 100 ppb. Regrettably, EPA does not rely on the mouthpiece studies in formulating its proposed standards \* \* \* In downplaying the mouthpiece studies, EPA ignores the large segment of people who rely on oral or oronasal breathing some or all of the time.

The Administrator disagrees with the assertion that results from mouthpiece studies were improperly downplayed. These studies are discussed in the ISA, REA, and proposed rule as demonstrating respiratory effects of SO<sub>2</sub> at concentrations of 100 ppb, the lowest concentration tested using a mouthpiece exposure system. Nonetheless, these mouthpiece studies are not a reasonable proxy for actual exposure. In these studies, SO<sub>2</sub> is delivered directly through the mouth, typically in conjunction with nasal occlusion. This allows a greater fraction of the inhaled SO<sub>2</sub> to reach the tracheobronchial airways. Although we agree with commenters that some individuals do breathe oronasally both while at rest and during exercise, nasal ventilation still constitutes a significant percentage of total ventilation. The consequence is that individuals exposed to SO<sub>2</sub> through a mouthpiece are likely to experience greater respiratory effects from a given SO<sub>2</sub> exposure than they would in real life. Thus, as noted in the REA (REA, section 6.2) and in the proposal preamble (see section II.B.1.b), these mouthpiece studies only provide very limited evidence of decrements in lung function following exposure to 100 ppb SO<sub>2</sub>. Therefore, the Administrator did not place great weight on these mouthpiece studies when considering the appropriate level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard.

In addition to their interpretation of the controlled human exposure evidence, health and environmental groups (e.g., ALA, ATS, EDF, NRDC, Sierra Club, CBD) and the Alexandria Department of Transportation and Environmental Services generally concluded that the epidemiologic evidence indicates that a standard no

higher than 50 ppb is required to protect public health. For example, in its comments the CBD stated:

Epidemiologic studies referenced in the Proposed Rule showed positive, and in many cases statistically significant, relationships between ambient SO<sub>2</sub> concentrations and hospital admissions where 99th percentile 1-hour concentrations ranged from 50–460 ppb. Of these studies, two showed positive and sometimes statistically significant relationships in single-pollutant models at 50 ppb, and three studies showed statistically significant correlations at 78–150 ppb in multi-pollutant models. These three multipollutant studies, moreover, "lend[] strong support \* \* \* to the conclusion that SO<sub>2</sub> effects are generally independent" of those of co-pollutants like particulate matter. Giving these studies their proper weight, and allowing for an adequate margin of safety, EPA should set a one-hour NAAQS at a level no higher than the lowest concentration at which positive, adverse relationships have been demonstrated: 50 ppb (note that footnotes were omitted).

The Administrator agrees that the epidemiologic studies referenced in the proposal need to be considered in judging the appropriate level for a new 99th percentile 1-hour SO<sub>2</sub> standard. However, she disagrees that when considered in total, these studies strongly support an SO<sub>2</sub> standard no higher than 50 ppb. The Administrator notes that selecting a standard level of 50 ppb would place considerable weight on the two U.S. emergency department visit studies conducted in locations where 99th percentile 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations were approximately 50 ppb (*i.e.*, Wilson *et al.*, (2005) in Portland, ME and Jaffe *et al.*, (2003) in Columbus, OH). However, the Administrator does not find this appropriate given that, importantly, neither of these studies evaluated the potential for confounding by co-pollutants through the use of multipollutant models and thus, left unaddressed the issue of whether the effects seen in the studies were partially or totally attributable to exposure to sulfate PM. In addition, the Administrator notes that the overall results reported in these studies are mixed. It is important to note that mixed results do not automatically disqualify studies from being used as part of the evidence base for setting levels in NAAQS reviews. However, in this review the Administrator judges that the lack of multipollutant model evaluation for potential confounding by PM in two locations with the lowest SO<sub>2</sub> levels combined with the presence of mixed emergency department visit results renders these two studies inappropriate to serve as the primary basis for the selection of the level of the SO<sub>2</sub>

NAAQS. As an additional matter, the suggestion in some of the comments that EPA should necessarily base the level of a NAAQS on the lowest level seen in epidemiologic studies has been rejected repeatedly. See, e.g. *American Petroleum Inst. v. EPA*, 665 F. 2d at 1187 ("In so arguing NRDC essentially ignores the mixed results of the medical studies evident in the record, choosing instead to rely only on the studies that favor its position. The Administrator, however, was required to take into account all the relevant studies revealed in the record. Because he did so in a rational manner, we will not overrule his judgment as to the margin of safety.") Thus, although the Administrator finds that these two studies provide limited evidence of emergency department visits in cities where 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations are approximately 50 ppb, she also concludes that these studies do not provide enough evidence to warrant a standard at this level.

As discussed above in section II.E.2, a number of industry groups (e.g., ACC, UARG) did not support setting a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard. However, several of these groups (e.g., UARG, API) and the SC Chamber of Commerce concluded that, if EPA does choose to set a new 1-hour standard, the level of that standard should be  $\geq 150$  ppb. In addition, State environmental agencies in SD (SD DENR) and OH recommended standard levels at 150 ppb. As a basis for this recommendation, these groups generally emphasized uncertainties in the scientific evidence. Specifically, as discussed in more detail above (section II.E.2.a), these commenters typically concluded that the available epidemiologic studies do not support the conclusion that SO<sub>2</sub> causes the reported health effects. This was based on their assertion that the presence of co-pollutants in the ambient air precludes the identification of a specific SO<sub>2</sub> contribution to reported effects. Thus, these groups generally concluded that weight should not be placed on the cluster of three epidemiologic studies reporting statistically significant effects in multipollutant models with PM (*i.e.*, NYDOH 2006; Ito 2007; and Schwartz 1995). That is, these groups contend that these studies do not demonstrate an independent effect of SO<sub>2</sub>. In addition, as noted in section II.E.2.b, many of these groups also disagreed with the Agency's judgment that adverse respiratory effects occur following 5-minute exposures to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200 ppb. These comments and EPA's responses are discussed below



and in section II of the RTC document (EPA 2010).

As described in more detail in section II.E.2.a, we agree that the interpretation of SO<sub>2</sub> epidemiologic studies is complicated by the fact that SO<sub>2</sub> is but one component of a complex mixture of pollutants present in the ambient air. However, the ISA concluded that when U.S. and international epidemiologic literature is evaluated as a whole, SO<sub>2</sub> effect estimates generally remained positive and relatively unchanged in multi-pollutant models with gaseous or particulate co-pollutants. Thus, although recognizing the uncertainties associated with separating the effects of SO<sub>2</sub> from those of co-occurring pollutants, the ISA concluded that the limited available evidence from studies employing multi-pollutant models indicates that the effect of SO<sub>2</sub> on respiratory health outcomes appears to be generally robust and independent of the effects of gaseous co-pollutants, including NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, as well as particulate co-pollutants, particularly PM<sub>2.5</sub> (ISA, section 5.2; p. 5–9).

In addition, as described in detail above in section II.E.2.a, the ISA emphasized that controlled human exposure studies provide support for the plausibility of the associations reported in epidemiologic studies. The ISA noted that the results of controlled human exposure and epidemiologic studies form a plausible and coherent data set that supports a causal relationship between short-term (5-minutes to 24-hours) SO<sub>2</sub> exposures and adverse respiratory effects, and that the epidemiologic evidence (buttressed by the clinical evidence) indicates that the effects seen in the epidemiologic studies are attributable to exposure to SO<sub>2</sub> (ISA, section 5.2). The ISA in fact made the strongest finding possible regarding causality: “[e]valuation of the health evidence, with consideration of issues related to atmospheric sciences, exposure assessment, and dosimetry, led to the conclusion that there is a causal relationship between respiratory morbidity and short-term exposure to SO<sub>2</sub>. This conclusion is supported by the consistency, coherence, and plausibility of findings observed in the human clinical, epidemiologic, and animal toxicological studies.” ISA p. 5–2 (emphasis original).

As mentioned above, many groups dispute the ISA conclusion that taken together, results from U.S. and international epidemiologic studies employing multipollutant models indicate that SO<sub>2</sub> has an independent effect on the respiratory health outcomes reported in these studies. Thus, these groups contend that the

Administrator should not place weight on epidemiologic studies and their associated air quality information in general, and more specifically, the Administrator should not place weight on air quality information from the three U.S. epidemiologic studies reporting statistically significant effects in multipollutant models with PM (i.e., NYDOH 2006; Ito 2007; and Schwartz 1995). Specific comments on these three epidemiologic studies reporting statistically significant effects in multipollutant models with PM, and EPA responses are presented below and in the RTC document (EPA 2010).

Industry groups (e.g., API) had several comments with respect to the study conducted by the NYDOH (NYDOH, 2006). First, these groups generally concluded that the results of this study are mixed. That is, while SO<sub>2</sub> effect estimates were positive and statistically significant even in multipollutant models with PM<sub>2.5</sub> or NO<sub>2</sub> in the Bronx, SO<sub>2</sub> effect estimates were actually negative in Manhattan in both single and multipollutant models. These groups also contend that this report was not peer-reviewed and that the authors of this study indicated that high correlations among pollutants in the Bronx made it difficult to confidently identify which pollutants are actually increasing risks. For these reasons, industry groups generally concluded that this study should not be relied upon by the Administrator.

We acknowledge that the results of the NYDOH analysis are mixed when comparing the Bronx and Manhattan study areas. However, we disagree that the presence of mixed results renders this study unreliable. We note that the mixed results reported in this study are likely to reflect greater statistical power for identifying effects in the Bronx, where the average daily emergency department visits differed substantially from those in Manhattan. Specifically, daily asthma emergency department visits were six times higher in the Bronx study area (43 per day) than in the Manhattan study area (7.2 per day). Thus, the more prominent effects in the Bronx likely at least partially reflect greater statistical power for identifying effects there. To put these numbers in perspective, the crude daily rates of asthma emergency department visits can be estimated by dividing the daily asthma counts by the population. The mean daily crude rates of asthma emergency department visits were over eight-fold higher in the Bronx study area (16.9 per 100,000 persons) than in the Manhattan area (2.02 per 100,000 persons). Population age structures were quite different in the two communities,

with larger proportions of younger persons in the Bronx versus Manhattan. There are likely additional differences in population structures of the two communities, including differences in SES, race/ethnicity, and access to primary asthma care. These differences in the two communities may explain the differences in the results, and do not prevent EPA from legitimately relying on this study.

As mentioned above, these groups also contend that the NYDOH epidemiologic study should not be relied upon because it was not peer-reviewed. We disagree with this assertion. The NYDOH study was subject to multiple peer-review processes. This included reviews by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), EPA, and CASAC.

Finally, as also mentioned above, these groups contend that the NYDOH epidemiologic study is unreliable because the study authors indicated that high correlations among pollutants in the Bronx make it difficult to confidently identify which pollutants are actually increasing risks. In response, we note that high correlations among ambient air pollutant concentrations are not specific to the NYDOH study, and may contribute to uncertainty in the interpretation of many epidemiologic studies of air pollution. The approach most commonly utilized to disentangle the effects of correlated pollutants in air pollution epidemiology is the copollutant model. The NYDOH uses copollutant models and finds that the results for SO<sub>2</sub> remain significant in models considering the simultaneous effects of NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and PM<sub>2.5</sub>. This indicates an independent effect of SO<sub>2</sub> on the asthma emergency department visits reported in this study.

With respect to Ito *et al.*, (2007), industry groups generally commented that since the SO<sub>2</sub> effect estimate did not remain statistically significant in multipollutant models with NO<sub>2</sub>, this study does not indicate an independent effect of SO<sub>2</sub> on emergency department visits in the NYC study area. API specifically commented:

The RR for an increase of 6 ppb SO<sub>2</sub> was statistically significant (1.20; 95% CI: 1.13, 1.28) and remained so when PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, or CO was included in the model, but became nonsignificant when NO<sub>2</sub> was included in the model (RR not provided, 95% CI: 0.9, 1.1). Because associations with SO<sub>2</sub> could be attributable to NO<sub>2</sub>, this study cannot be used to assess the effects of SO<sub>2</sub> on health effects with small incremental increases in exposure.

We disagree with the commenters. We believe that this study does demonstrate an independent effect of SO<sub>2</sub> on emergency department visits in NYC. We note that evidence from controlled human exposure studies has demonstrated effects of NO<sub>2</sub> (EPA, 2008b) and SO<sub>2</sub> independently on respiratory morbidity. Since each of these criteria pollutants has an independent effect on the respiratory system, it is logical that each may be responsible for an increase in emergency department visits for asthma in epidemiologic studies. In addition, the authors note that the attenuation of the SO<sub>2</sub> effect estimate when NO<sub>2</sub> is included in the model is "consistent with the result of monitor-to-monitor correlations, suggesting that NO<sub>2</sub> has less exposure error than CO or SO<sub>2</sub> in this data set." Thus, it appears as though the high spatial heterogeneity of SO<sub>2</sub> compared to NO<sub>2</sub>, leading to increased exposure error, may be causing the attenuation of the SO<sub>2</sub> effect estimate when NO<sub>2</sub> is included in the model in this study—not that the effects seen in the study are attributable to NO<sub>2</sub>. Overall, the results from this study are consistent with the SO<sub>2</sub> effect on respiratory emergency department visits and hospital admissions across studies and are coherent with the respiratory effects observed in controlled human exposure studies. This study thus provides persuasive evidence of an independent effect of short-term SO<sub>2</sub> exposure on respiratory morbidity.

With respect to Schwartz *et al.*, (1995), industry groups generally commented that the results of this study are mixed, and therefore should not be considered by the Administrator. More specifically, these commenters noted that although the results in New Haven remained statistically significant in the presence of PM<sub>10</sub>, the SO<sub>2</sub> effect estimate in Tacoma was reduced and no longer statistically significant in the presence of PM<sub>10</sub>. Commenters also noted that in both cities, the SO<sub>2</sub> effect estimate was reduced and no longer statistically significant in the presence of O<sub>3</sub>.

We disagree that the results of this study of hospital admissions should not be considered by the Administrator. As noted by the commenters, this study was conducted in two cities, New Haven, CT and Tacoma, WA. These cities were chosen because they differ in several important aspects and the author expected the results from the two cities to be different due to the inherent nature of the study design and study locations. "New Haven has almost twice the mean SO<sub>2</sub> concentration of Tacoma, almost two and a half times the SO<sub>2</sub>

concentration in the peak winter season, and a much larger summer ozone peak than Tacoma (Schwartz 1995)." Since the study was designed to examine the differences in these two cities, the fact that the results differed in the two cities does not invalidate those results. In addition, EPA considers the SO<sub>2</sub> effect to be robust to inclusion of O<sub>3</sub> in New Haven. The central effect estimate for SO<sub>2</sub> changed from 1.03 to 1.02 after the addition of O<sub>3</sub> as a copollutant and likely lost statistical significance due to a greater than 40% reduction in the number of days included because O<sub>3</sub> was only measured during the warm months. This reduction likely led to model instability and a loss of statistical significance. To be consistent with how results of other studies were interpreted in the ISA, and as supported by the CASAC, the effect of SO<sub>2</sub> is considered robust to the inclusion of O<sub>3</sub> in New Haven.

In addition to generally concluding that the epidemiology is too uncertain to demonstrate that SO<sub>2</sub> has an independent effect on the respiratory effects reported in those studies, many industry groups (*e.g.*, API, ACC, Progress Energy, EEL, CIBO) also commented that adverse health effects do not occur following 5–10 minute SO<sub>2</sub> exposures < 400 ppb in controlled human exposure studies (an issue also discussed above in section II.E.2.b). Thus, these groups generally maintained that the level of a 1-hour standard should not take into account limiting 5-minute peaks as low as 200 ppb. From this argument, many of these groups further maintained that 1-hour standard levels ≥ 150 ppb are requisite to protect public health with an adequate margin of safety.

As first discussed in section II.E.2.b above, we disagree with the commenters that adverse respiratory effects do not occur following 5-minute SO<sub>2</sub> exposures as low as 200 ppb. The ISA reported that exposure to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200–300 ppb for 5–10 minutes results in approximately 5–30% of exercising asthmatics experiencing moderate or greater decrements in lung function (defined in terms of a ≥ 15% decline in FEV<sub>1</sub> or 100% increase in sRaw; ISA, Table 3–1). Considering the 2000 ATS guidelines described in section II.E.2.b, we determined that these results could reasonably indicate an SO<sub>2</sub>-induced shift in these lung function measurements for this subpopulation. Under this scenario, an appreciable percentage of exercising asthmatics exposed to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200 ppb would likely have diminished reserve lung function and thus would likely be at

greater risk if affected by another respiratory agent (*e.g.*, viral infection). Importantly, diminished reserve lung function in a population that is attributable to air pollution is considered an adverse effect under ATS guidance.<sup>17</sup> Also noted in section II.E.2.b, we were mindful of CASAC's pointed comments. The second draft ISA placed relatively little weight on health effects associated with SO<sub>2</sub> exposures at 200–300 ppb. CASAC strongly disagreed with this characterization of the health evidence. Their consensus letter following the second draft ISA states:

Our major concern is the conclusions in the ISA regarding the weight of the evidence for health effects for short-term exposure to low levels of SO<sub>2</sub>. Although the ISA presents evidence from both clinical and epidemiological studies that indicate health effects occur at 0.2 ppm or lower, the final chapter emphasizes health effects at 0.4 ppm and above \* \* \* CASAC believes the clinical and epidemiological evidence warrants stronger conclusions in the ISA regarding the available evidence of health effects at 0.2 ppm or lower concentrations of SO<sub>2</sub>. The selection of a lower bound concentration for health effects is very important because the ISA sets the stage for EPA's risk assessment decisions. In its draft Risk and Exposure Assessment (REA) to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards (July 2008), EPA chose a range of 0.4 ppm—0.6 ppm SO<sub>2</sub> concentrations for its benchmark analysis. As CASAC will emphasize in a forthcoming letter on the REA, we recommend that a lower bound be set at least as low as 0.2 ppm (Henderson 2008a).

Similarly, we were also mindful of CASAC comments on the first draft of the REA. The consensus CASAC letter following the 1st draft REA states:

The CASAC believes strongly that the weight of clinical and epidemiology evidence indicates there are detectable clinically relevant health effects in sensitive subpopulations down to a level at least as low as 0.2 ppm SO<sub>2</sub>. These sensitive subpopulations represent a substantial segment of the at-risk population (Henderson 2008b).

As noted in section II.E.2.b, we were also mindful of: (1) Previous CASAC recommendations (Henderson 2006) and NAAQS review conclusions (EPA 2006, EPA 2007d) indicating that moderate decrements in lung function can be clinically significant in some asthmatics (*see* section II.E.2.b for more detail) and

<sup>17</sup> See *Coalition of Battery Recyclers Association v. EPA*, No. 09–1011 (DC Cir., May 14, 2010), slip opinion at 9, holding that it was reasonable for EPA to conclude that a two IQ point mean population loss is an adverse effect based in part on consideration of comments from the American Academy of Pediatrics that such a loss should be prevented.



(2) controlled human exposure studies not including severe asthmatics and thus, that it is reasonable to assume that persons with more severe asthma than the study participants would have a more serious health effect from short-term exposure to 200 ppb SO<sub>2</sub>. CASAC echoed this concern in its comments on the policy assessment chapter of the REA:

Chapter 10 should better address uncertainty in identifying alternative NAAQS for SO<sub>2</sub>. In particular, the uncertainties discussed in the health risk characterization should be considered in specifying a NAAQS that provides adequate margin of safety. One particular source of uncertainty needing acknowledgment is the characteristics of persons included in the clinical studies. The draft REA acknowledges that clinical studies are unlikely to have included severe asthmatics that are likely to be potentially at greater risk than those persons included in the clinical studies (Samet 2009; p. 15).

Taken together, the Administrator concluded that exposure to SO<sub>2</sub> concentrations as low as 200 ppb can result in adverse health effects in asthmatics. Consequently the Administrator also concluded that a 1-hour standard of 150 ppb is not requisite to protect public health with an adequate margin of safety, even with a 99th percentile form. This conclusion takes into account the St. Louis exposure analysis estimating that only 88% of asthmatic children at moderate or greater exertion would be protected from at least one 5-minute SO<sub>2</sub> exposure  $\geq$  200 ppb per year at a 1-hour standard level of 150 ppb, and appropriate weight placed on the epidemiologic evidence (see section II.F.4.c for a discussion of the epidemiologic evidence with respect to level).

#### c. Conclusions on Standard Level

Having carefully considered the public comments on the appropriate level for a 1-hour SO<sub>2</sub> standard, as discussed above, the Administrator believes the fundamental conclusions reached in the ISA and REA remain valid. In considering the level at which the 1-hour primary SO<sub>2</sub> standard should be set, the Administrator continues to place primary emphasis on the body of controlled human exposure and epidemiologic evidence assessed in the ISA, as summarized above in section II.B. In addition, the Administrator continues to view the results of exposure and risk analyses, discussed above in section II.C, as providing supporting information for her decision.

In considering the level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard, the Administrator notes that there is no bright line clearly mandating the choice of level within the

reasonable range proposed. Rather, the choice of what is appropriate within this reasonable range is a public health policy judgment entrusted to the Administrator. This judgment must include consideration of the strengths and limitations of the evidence and the appropriate inferences to be drawn from the evidence and the exposure and risk assessments. These considerations and the Administrator's final decision with regard to the level of a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard are discussed below.

In considering the controlled human exposure studies, the Administrator notes that these studies provide the most direct evidence of respiratory effects from exposure to SO<sub>2</sub>. These studies exposed groups of exercising asthmatics to defined concentrations of SO<sub>2</sub> for 5–10 minutes and found adverse respiratory effects. As noted above (see section II.C), SO<sub>2</sub> exposure levels which resulted in respiratory effects in these studies were considered 5-minute benchmark exposures of potential concern in the analyses found in the REA. With respect to this evidence, the Administrator notes the following key points:

- Exposure of exercising asthmatics to 5–10 minute SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  400 ppb results in moderate or greater decrements in lung function (in terms of FEV<sub>1</sub> or sRaw) in 20–60% of tested individuals in these studies. Moreover, these decrements in lung function are often statistically significant at the group mean level and are frequently accompanied by respiratory symptoms.<sup>18</sup> Based on ATS guidelines, exposure to SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  400 ppb clearly result in adverse respiratory effects (*i.e.*, decrements in lung function in the presence of respiratory symptoms). Therefore, the Administrator has concluded it appropriate to place weight on the 400 ppb 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark concentration of concern.

- Exposure of exercising asthmatics to 5–10 minute SO<sub>2</sub> concentrations at 200–300 ppb results in moderate or greater decrements in lung function in 5–30% of the tested individuals in these studies. The Administrator notes that although these decrements in lung function have not been shown to be

<sup>18</sup> The ISA concluded that collective evidence from key controlled human exposure studies considered in the previous review, along with a limited number of new controlled human exposure studies, consistently indicates that with elevated ventilation rates a large percentage of asthmatic individuals tested in a given chamber study (up to 60%, depending on the study) experience moderate or greater decrements in lung function, frequently accompanied by respiratory symptoms, following peak exposures to SO<sub>2</sub> at concentrations of 0.4–0.6 ppm. (ISA, p. 3–9).

statistically significant at the group mean level, or to be frequently accompanied by respiratory symptoms, she considers effects associated with exposures as low as 200 ppb to be adverse in light of CASAC advice, similar conclusions in prior NAAQS reviews, and the ATS guidelines described in detail above (see section II.E.2.b and II.F.4.b). Therefore, she has concluded it appropriate to place weight on the 200 ppb 5-minute benchmark concentration.

- There is very limited evidence from two mouthpiece exposure studies suggesting respiratory effects in exercising asthmatics following SO<sub>2</sub> exposures at 100 ppb. However, given the uncertainties and potential unrepresentativeness associated with mouthpiece studies (see section II.F.4.b above), the Administrator found it appropriate not to place weight on this 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark concentration.

The Administrator also considered the results of the air quality, exposure, and risk analyses, as they serve to estimate the extent to which a given 1-hour standard limits the 5-minute benchmark concentrations of concern identified from controlled human exposure studies (see REA chapters 7–9, proposal section II.F.4.b, and proposal Tables 2–4). In considering these results as they relate to limiting 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark concentrations  $\geq$  200 and 400 ppb, the Administrator notes the following key points:

- The 40-county air quality analysis estimates that a 100 ppb 1-hour daily maximum standard would allow at most 2 days per year on average in any county when estimated 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 400 ppb benchmark, and at most 13 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 200 ppb benchmark (see proposal, Table 2, 74 FR at 64840). Furthermore, given a simulated 1-hour 100 ppb standard level, most of the counties in that air quality analysis were estimated to experience 0 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations exceed the 400 ppb benchmark and  $\leq$  3 days per year on average when 5-minute daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations were estimated to exceed the 200 ppb benchmark (see REA, Tables 7–14 and 7–12).

- The St. Louis exposure analysis estimates that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard at a level of 100 ppb would likely protect > 99% of asthmatic children in that city at moderate or greater exertion from experiencing at least one 5-minute exposure  $\geq$  400 ppb per year, and

approximately 97% of those asthmatic children at moderate or greater exertion from experiencing at least one exposure  $\geq 200$  ppb per year (see proposal, section II.F.4.b).

- The St. Louis risk assessment estimates that a 99th percentile 1-hour standard level at 100 ppb would likely protect about 97–98% of exposed asthmatic children in that city at moderate or greater exertion from experiencing at least one moderate or greater lung function response (defined as a  $\geq 100\%$  increase in sRaw; see proposal, section II.F.4.b).

Given the above considerations, the Administrator concludes that a 1-hour standard at a level of 100 ppb would appropriately limit 5-minute SO<sub>2</sub> benchmark concentrations  $\geq 200$  or 400 ppb. Moreover, although the Administrator acknowledges that the air quality and exposure analyses mentioned above suggest that a 50 ppb standard may somewhat further limit 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations/exposures in excess of the 200 ppb benchmark (see proposal section II.F.4.b), she does not believe this information alone warrants a standard level lower than 100 ppb. More specifically, although she considers the health effects resulting from 5-minute SO<sub>2</sub> exposures as low as 200 ppb to be adverse, she also recognizes that such effects are appreciably less severe than those at SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq 400$  ppb. Thus, she concludes that there is little difference in limiting 5-minute concentrations/exposures  $\geq 400$  ppb given 1-hour standard levels in the range of 50 to 100 ppb.

In considering the epidemiologic evidence with regard to level, the Administrator notes that there have been more than 50 peer reviewed epidemiologic studies published worldwide evaluating SO<sub>2</sub> (ISA, Tables 5–4 and 5–5). These studies have generally reported positive, although not always statistically significant associations between more serious health outcomes (*i.e.* respiratory-related emergency department visits and hospitalizations) and ambient SO<sub>2</sub> concentrations and have generally included populations potentially at increased risk for SO<sub>2</sub>-related respiratory effects (e.g. children, older adults, and those with pre-existing respiratory disease). The Administrator finds that in assessing the extent to which these studies and their associated air quality information can inform the level of a new 99th percentile 1-hour daily maximum standard for the U.S., air quality information from the U.S. and Canada is most relevant since these areas have similar monitor network

designs and patterns of air quality. However, as described in proposal section II.F.4.a, SO<sub>2</sub> concentrations reported for Canadian studies were not directly comparable to those reported for U.S. studies due to use of different monitoring protocols in those studies. Thus, the Administrator focused on 99th percentile air quality information from U.S. studies for informing potential 1-hour standard levels. She concludes that this information provides evidence of associations between ambient SO<sub>2</sub> and emergency department visits and hospital admissions in U.S. cities with particular 99th percentile 1-hour SO<sub>2</sub> levels, and thus provides information that is particularly relevant for setting the level of a 1-hour SO<sub>2</sub> standard. With regard to these studies she notes the following key points:

- Ten studies (some conducted in multiple locations) reported mostly positive, and sometimes statistically significant, associations between ambient SO<sub>2</sub> concentrations and emergency department visit and hospital admissions in locations where 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> levels ranged from approximately 50–460 ppb.

- Within this broader range of SO<sub>2</sub> concentrations, there is a cluster of three epidemiologic studies between 78–150 ppb (for the 99th percentile of the 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations) where the SO<sub>2</sub> effect estimate remained positive and statistically significant in multi-pollutant models with PM (NYDOH (2006), Ito *et al.*, (2007), and Schwartz *et al.*, (1995)). Notably, although statistical significance in multi-pollutant models is an important consideration, it is not the only consideration when relying on such epidemiologic evidence.<sup>19</sup> However, as noted earlier, there is special sensitivity in this review in disentangling PM-related effects (especially sulfate PM) from SO<sub>2</sub>-related effects in interpreting the epidemiologic studies; thus, these studies are of particular relevance here, lending strong support both to the conclusion that SO<sub>2</sub> effects are generally independent of PM (ISA, section 5.2) and that these independent adverse effects of SO<sub>2</sub> have occurred in cities with 1-hour daily maximum, 99th

percentile concentrations in the range of 78–150 ppb. Nor did EPA find the comments criticizing these studies persuasive, as explained above in section II.F.4.b and in the RTC document (EPA 2010). The Administrator therefore judges it appropriate to place substantial weight on this cluster of three U.S. epidemiologic studies in selecting a standard level, as they are a group of studies that reported positive and statistically significant associations between ambient SO<sub>2</sub> and emergency department visits or hospital admissions even when potential confounding by PM was considered.

- The Administrator agrees with the finding in the ISA that the controlled human exposure evidence lends biological plausibility to the effects reported in epidemiologic studies (ISA, p. 5–9).

- There is limited evidence from two epidemiologic studies employing single pollutant models that found generally positive associations between ambient SO<sub>2</sub> and emergency department visits in locations where 99th percentile 1-hour SO<sub>2</sub> concentrations were approximately 50 ppb (see proposal, Figures 1 and 2). However, considering that the results of these studies were mixed, and importantly, that neither of these two studies evaluated the potential for confounding by co-pollutants through the use of multipollutant models (particularly with PM), the Administrator judges it appropriate to place limited weight on these studies.

- With regard to the cluster of three studies conducted in the Bronx (NYDOH 2006), NYC (Ito *et al.*, 2007), and New Haven (Schwartz *et al.*, 1995), there is a degree of uncertainty as to whether the 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations reported from monitors in these three study areas reflect the highest 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentration. Our limited qualitative analysis suggests that 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations reported by monitors in these study areas are reasonable approximations for the absolute highest 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentration that can occur across the entire area in these studies (including the areas where monitors were not located) (see Brode, 2010). However, although a reasonable approximation, it is still likely that these monitored concentrations are somewhat lower than the absolute highest 99th percentile 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations occurring across these epidemiologic study areas.

<sup>19</sup> For example, as noted in the proposal (proposal, section II.F.4, 74 FR at 64835) evidence of a pattern of results from a group of studies that find effect estimates similar in direction and magnitude would warrant consideration of and reliance on such studies even if the studies did not all report statistically significant associations in single- or multi-pollutant models. The SO<sub>2</sub> epidemiologic studies fit this pattern, and are buttressed further by the results of the clinical studies. ISA, section 5.2.

Weighing all of this evidence, the Administrator concludes that the epidemiologic studies provide strong support for setting a standard that limits the 99th percentile of the distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations to 75 ppb. This judgment takes into account the strong determinations in the ISA (and endorsed by CASAC), based on a much broader body of evidence, that there is a causal association between exposure to SO<sub>2</sub> and the types of respiratory morbidity effects reported in these studies. The Administrator further judges that it is not necessary based on existing epidemiologic evidence, to set a standard below 75 ppb. That is, the Administrator concludes that a standard level of 75 ppb is sufficiently below the SO<sub>2</sub> levels in three cities where epidemiologic studies found statistically significant effects in multipollutant models with PM (*i.e.*, 78, 82, and 150 ppb) to provide an adequate margin of safety given the uncertainty as to whether monitors in these study locations reflected the highest 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentration across the entire study area. Thus, a standard set at a level of 75 ppb is likely further below the 99th percentile 1-hour daily maximum concentrations in these three study areas than the bare comparison of levels would otherwise indicate. Finally, the Administrator again notes that epidemiologic evidence below 75 ppb is more uncertain because studies below 75 ppb did not evaluate potential confounding of results in multipollutant models, and because these studies reported mixed results.

Given the above considerations and the comments received on the proposal, the Administrator determines that the appropriate judgment, based on the entire body of evidence and information available in this review, and the related uncertainties, is a standard level of 75 ppb. She concludes that such a standard, with a 1-hour averaging time and 99th percentile form, will provide a significant increase in public health protection compared to the current standards and would be expected to protect against the respiratory effects that have been linked with SO<sub>2</sub> exposures in both controlled human exposure and epidemiologic studies. Specifically, she concludes that such a standard will limit 1-hour exposures at and above 75 ppb for those in susceptible populations that are at-risk of experiencing adverse health effects from short-term exposure to SO<sub>2</sub>. Such a standard will also maintain SO<sub>2</sub> concentrations below those in locations where key U.S. epidemiologic studies

have reported that ambient SO<sub>2</sub> is associated with clearly adverse respiratory health effects, as indicated by increased hospital admissions and emergency department visits. She also notes that a 1-hour standard at a level of 75 ppb is expected to substantially limit asthmatics' exposure to 5–10 minute SO<sub>2</sub> concentrations  $\geq$  200 ppb, thereby substantially limiting the adverse health effects associated with such exposures. Finally, the Administrator notes that a standard level of 75 ppb is consistent with the consensus recommendation of CASAC.

In setting the standard level at 75 ppb rather than at a lower level, the Administrator notes that a 1-hour standard with a level lower than 75 ppb would only result in significant further public health protection if, in fact, there is a continuum of serious, adverse health risks caused by exposure to SO<sub>2</sub> concentrations below 75 ppb. Based on the available evidence, the Administrator does not believe that such assumptions are warranted. Taking into account the uncertainties that remain in interpreting the evidence from available controlled human exposure and epidemiologic studies, the Administrator notes that the likelihood of obtaining benefits to public health with a standard set below 75 ppb decreases, while the likelihood of requiring reductions in ambient concentrations that go beyond those that are needed to protect public health increases.

Therefore, the Administrator judges that a 1-hour SO<sub>2</sub> standard at 75 ppb is sufficient to protect public health with an adequate margin of safety. This includes protection with an adequate margin of safety for susceptible populations at increased risk for adverse respiratory effects from short-term exposures to SO<sub>2</sub> for which the evidence supports a causal relationship with SO<sub>2</sub> exposures. The Administrator does not believe that a lower standard level is needed to provide this degree of protection. These conclusions by the Administrator appropriately consider the requirement for a standard that is neither more nor less stringent than necessary for this purpose and recognizes that the CAA does not require that primary NAAQS be set at a zero-risk level or to protect the most susceptible individual, but rather at a level that reduces risk sufficiently so as to protect the public health with an adequate margin of safety.

##### 5. Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards

This section discusses considerations related to retaining or revoking the

current 24-hour and annual SO<sub>2</sub> primary NAAQS. Specifically, this section summarizes the rationale for the Administrator's proposed decision regarding whether to retain or revoke the current standards (section II.F.5.a), discusses public comments related to whether to retain or revoke the current standards (II.F.5.b), and presents the Administrator's final conclusions regarding whether to retain or revoke the current standards (II.F.5.c).

##### a. Rationale for Proposed Decision

As noted in the proposal (*see* section II.F.5), the REA recognized that the particular level selected for a new 99th percentile 1-hour daily maximum standard would have implications for deciding whether to retain or revoke the current 24-hour and annual standards. That is, with respect to SO<sub>2</sub>-induced respiratory morbidity, the lower the level selected for a 99th percentile 1-hour daily maximum standard, the less additional public health protection the current standards would be expected to provide. CASAC expressed a similar view following their review of the 2nd draft REA: "Assuming that EPA adopts a one hour standard in the range suggested, and if there is evidence showing that the short-term standard provides equivalent protection of public health in the long-term as the annual standard, the panel is supportive of the REA discussion of discontinuing the annual standard" (Samet 2009, p. 15). With regard to the current 24-hour standard, CASAC was generally supportive of using the air quality analyses in the REA as a means of determining whether the current 24-hour standard was needed in addition to a new 1-hour standard to protect public health. CASAC stated: "The evidence presented [in REA Table 10–3] was convincing that some of the alternative one-hour standards could also adequately protect against exceedances of the current 24-hour standard" (Samet 2009, p. 15).

In accordance with the REA findings and CASAC recommendations mentioned above, the Administrator noted that 1-hour standards in the range of 50–100 ppb would have the effect of maintaining 24-hour and annual SO<sub>2</sub> concentrations generally well below the levels of the current 24-hour and annual NAAQS (*see* REA Tables 10–3 and 10–4 and REA Appendix Tables D–3 to D–6). Thus, if a new 99th percentile 1-hour daily maximum standard was set in the proposed range of 50–100 ppb, then the Administrator proposed to revoke the current 24-hour and annual standards. However, as noted in the proposal, if a standard was set at a level >100 ppb and

up to 150 ppb, then the Administrator indicated that she would retain the existing 24-hour standard, recognizing that a 99th percentile 1-hour daily maximum standard at 150 ppb would not have the effect of maintaining 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations below the level of the current 24-hour standard in all locations analyzed (see REA Appendix Table D-4). Under this scenario, the Administrator would still revoke the current annual standard recognizing: (1) 99th percentile 1-hour daily maximum standards in the range of 50–150 ppb would maintain annual average SO<sub>2</sub> concentrations below the level of the current annual standard (see REA Table 10-4 and REA Appendix tables D-5 and D-6); and (2) the lack of sufficient evidence linking long-term SO<sub>2</sub> exposure to adverse health effects.

#### b. Comments on Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards

As noted above, most industry groups were opposed to the proposed revisions to the SO<sub>2</sub> NAAQS. However, some of these groups noted that if a 1-hour standard was adopted, then they would support revoking the current 24-hour and annual standards. State agencies generally supported revoking the current standards if a 1-hour standard was set in the proposed range, although NAACA, NESCAUM, and VT, while supportive of revoking the existing standards, also suggested that EPA explore setting a new 24-hour standard to minimize the potential that multiple hours within a day would exceed a 1-hour standard (see RTC document (EPA 2010), section IV). Groups which supported revoking the current 24-hour and annual standards (if a 1-hour standard was set in the proposed range) generally referenced the Administrator's rationale and CASAC advice described in the proposal (see section II.F.5).

Public health (e.g., ALA, ATS) and environmental organizations (e.g., CBD, WEACT for Environmental Justice) were generally opposed to revoking the current 24-hour and annual standards. These groups generally concluded that the 24-hour standard should be revised while the annual standard should be retained. In support of this position, ALA *et al.*, cited air quality information from the REA indicating that if air quality was simulated to just meet a 99th percentile 1-hour daily maximum standard in the proposed range of 50–100 ppb, then in some locations analyzed, 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations would be above concentrations (i.e., above 99th percentile 24-hour average

concentrations) in cities where U.S. emergency department visit and hospital admission studies reported positive associations with SO<sub>2</sub>. In addition, many of these groups were opposed to revoking the current annual standard. In general, these groups concluded that given the uncertainties associated with SO<sub>2</sub> exposure and long-term health effects, EPA should err on the side of being health protective and retain the existing annual standard. EPA responses to comments on whether the current standards should be retained or revoked are presented below as well as in section IV of the RTC document (EPA 2010).

As stated in the REA and proposal, 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations in cities where U.S. emergency department visit and hospital admission studies (for all respiratory causes and asthma; identified from Table 5-5 of the ISA) were conducted ranged from 16 ppb to 115 ppb (Thompson and Stewart, 2009). Moreover, as stated in the REA and proposal (see section II.F.2), effect estimates that remained statistically significant in multi-pollutant models with PM were found in cities with 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations ranging from approximately 36 ppb to 64 ppb. In its comments, ALA *et al.*, stated (based on the air quality information in REA Appendix Table D-2) “with a 1-hour 50 ppb 99th percentile standard, 7 counties would experience a 99th percentile 24-hour concentration of 16 ppb or greater, the range found to be harmful in epidemiological studies. With an hourly standard of 100 ppb, 24 of 30 counties would have 99th percentile 24-hour concentrations above 16 ppb, with 1 county exceeding 36 ppb.” Thus, these commenters generally maintained that a lowered 24-hour standard is needed to protect against these 24-hour SO<sub>2</sub> concentrations.

We disagree that a lowered 24-hour standard is needed to protect against 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations of concern identified from cities where U.S. emergency department visit and hospital admission studies were conducted. As noted in detail in the REA, there is uncertainty as to whether the health effects reported in epidemiologic studies using 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations are in fact due to 24-hour average SO<sub>2</sub> exposures (REA, section 10.5.2). That is, when describing epidemiologic studies observing positive associations between ambient SO<sub>2</sub> and respiratory symptoms, the ISA stated “that it is possible that these associations are determined in large part by peak exposures within a

24-hour period” (ISA, section 5.2 at p. 5-5). Similarly, the ISA stated that: “The effects of SO<sub>2</sub> on respiratory symptoms, lung function, and airway inflammation observed in the human clinical studies using peak exposures further provides a basis for a progression of respiratory morbidity resulting in increased emergency department visits and hospital admissions” and makes the associations observed in the epidemiologic studies “biologica[lly] plausib[le]” (*id.*). In contrast, evidence from controlled human exposure studies of 5–10 minutes and epidemiologic studies using 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations provided appreciably stronger evidence of respiratory morbidity effects following SO<sub>2</sub> exposures ≤ 1-hour.

Given that respiratory morbidity effects following SO<sub>2</sub> exposure may be most related to averaging times ≤ 1-hour, EPA found it most reasonable to consider the extent to which a 1-hour averaging time, given an appropriate form and level (which as discussed above, also substantially limits 5-minute benchmark exposures of concern; see sections II.F.2 and II.F.4), limited 99th percentile 24-hour average concentrations of SO<sub>2</sub> in locations where emergency department visit/hospitalization studies reported that the SO<sub>2</sub> effect estimate remained statistically significant in multi-pollutant models with PM (i.e., locations with 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations ≥ 36 ppb). Considering this, we note that ALA *et al.*, identified only one county with 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations ≥ 36 ppb given a 99th percentile 1-hour daily maximum standard at 100 ppb, and no counties ≥ 36 ppb given a 99th percentile 1-hour daily maximum standard at 50 ppb. Thus, given a 99th percentile 1-hour daily maximum standard level at 75 ppb (i.e., the form and level selected for a new 1-hour SO<sub>2</sub> standard), it is possible that no county in the ALA *et al.*, analysis would have had a 99th percentile 24-hour average SO<sub>2</sub> concentration ≥ 36 ppb.

With regard to the annual standard, we also disagree that this standard needs to be retained. First, the ISA found that “[t]he evidence linking short-term SO<sub>2</sub> exposure and cardiovascular effects, and morbidity and mortality with long-term exposures to SO<sub>2</sub> is inadequate to infer a causal relationship.” ISA, p. 5-10. Thus, an annual standard is unnecessary to prevent long-term health effects. The remaining issue is whether such a standard provides further protection

against short-term effects, given the new one hour standard. We conclude that it does not. As noted in the proposal, our air quality information indicates that 1-hour standard levels in the range of 50–100 ppb are estimated to generally keep annual SO<sub>2</sub> concentrations well below the level of the current annual standard. CASAC agreed. The panel stated: “Assuming that EPA adopts a one hour standard in the range suggested, and if there is evidence showing that the short-term standard provides equivalent protection of public health in the long-term as the annual standard, the panel is supportive of the REA discussion of discontinuing the annual standard” (Samet 2009, p. 15). Taken together, this information indicates that retaining the annual standard would add no additional public health protection.

#### c. Administrator's Conclusions on Retaining or Revoking the Current 24-Hour and Annual Standards

In accordance with the REA findings and CASAC recommendations mentioned above, the Administrator concludes that a 1-hour standard at level of 75 ppb would have the effect of maintaining 24-hour and annual SO<sub>2</sub> concentrations generally well below the levels of the current 24-hour and annual NAAQS (see REA Tables 10–3 and 10–4 and REA Appendix Tables D–3 to D–6). She also concludes that, as noted above in section II.F.2, a 1-hour standard at 75 ppb will likely limit 99th percentile 24-hour SO<sub>2</sub> concentrations in U.S. locations where emergency department visit and hospital admission studies reported statistically significant associations in multi-pollutant models with PM. Finally, she notes the lack of sufficient health evidence to support an annual standard to protect against health effects associated with long-term SO<sub>2</sub> exposure. Taken together, the Administrator concludes it appropriate to revoke the current 24-hour and annual standards.

#### G. Summary of Decisions on the Primary Standards

For the reasons discussed above, and taking into account information and assessments presented in the ISA and REA as well as the advice and recommendations of CASAC, the Administrator concludes that the current 24-hour and annual primary standards are not requisite to protect public health with an adequate margin of safety. The Administrator also concludes that establishing a new 1-hour standard will appropriately protect public health with an adequate margin of safety, and specifically will afford requisite increased protection for

asthmatics and other at-risk populations against an array of adverse respiratory health effects related to short-term (5 minutes to 24 hours) SO<sub>2</sub> exposure. These effects include decrements in lung function (defined in terms of sRaw and FEV<sub>1</sub>), increases in respiratory symptoms, and related serious indicators of respiratory morbidity including emergency department visits and hospital admissions for respiratory causes.

Specifically, the Administrator is establishing a new short-term primary SO<sub>2</sub> standard with a 1-hour (daily maximum) averaging time and a form defined as the 3-year average of the 99th percentile of the yearly distribution of 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> concentrations, and a level of 75 ppb. In addition to setting a new 1-hour standard at 75 ppb, the Administrator is revoking the current 24-hour and annual standards recognizing that a 1-hour standard set at 75 ppb will have the effect of generally maintaining 24-hour and annual SO<sub>2</sub> concentrations well below the levels of the current 24-hour and annual standards.

#### III. Overview of the Approach for Monitoring and Implementation

We received several comments regarding the approaches discussed in the proposal for monitoring and modeling for comparison to the proposed new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, designations of areas as either attaining or not attaining the NAAQS, and implementation of the new NAAQS in State implementation plans (SIPs) that would ensure ultimate attainment of the new NAAQS in transitioning from the annual and 24-hour NAAQS in a timely manner. These comments raised fundamental questions regarding our contemplated approaches in all three areas, and caused us to re-examine them and review their consistency with past practice under the SO<sub>2</sub> NAAQS implementation program. After conducting that review, and in response to the public comments we are revising our general anticipated approach toward implementation of the new 1-hour NAAQS. This revised approach would better address: (1) The unique source-specific impacts of SO<sub>2</sub> emissions; (2) the special challenges SO<sub>2</sub> emissions present in terms of monitoring short-term SO<sub>2</sub> levels for comparison with the NAAQS in many situations; (3) the superior utility that modeling offers for assessing SO<sub>2</sub> concentrations; and (4) the most appropriate method for ensuring that areas attain and maintain the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS in a manner that is as expeditious as practicable, taking into account the

potential for substantial SO<sub>2</sub> emissions reductions from forthcoming national and regional rules that are currently underway.

Below, we provide an overview of our revised approach to monitoring, and of our expected approaches to designations of areas, and implementation of the NAAQS. Due to the unique challenges presented by SO<sub>2</sub>, we do not expect that the anticipated approaches discussed below would be necessarily transferable to other NAAQS pollutant situations. For NAAQS pollutants other than SO<sub>2</sub>, air quality monitoring is more appropriate for determining whether all areas are attaining the NAAQS, and there is comparatively less dependence upon conducting refined modeling. Each of these subjects (*i.e.*, our revised approach to monitoring, and our expected approaches to designations of areas, and implementation of the NAAQS) is further addressed later in the preamble, in sections IV, V and VI, respectively. Where specific public comments on the proposal are addressed and responded to, further details of the specific revised approaches are explained. In many respects, both the overview discussion below and the subsequent more detailed discussions explain our expected and intended future action in implementing the new 1-hour NAAQS—in other words, they constitute guidance, rather than final agency action—and it is possible that our approaches may continue to evolve as we, States, and other stakeholders proceed with actual implementation. In other respects, such as in the final regulatory provisions regarding the promulgated monitoring network, we are explaining EPA's final conclusions regarding what is required by this rule. We expect to issue further guidance regarding implementation, particularly concerning issues that may arise regarding the application of refined dispersion modeling under this revised approach for monitoring and implementation, and issues that States and other stakeholders may also ask us to address as we proceed toward various stages of ensuring attainment. EPA intends to solicit public comment prior to finalizing this guidance.

The main necessary elements of implementing the new 1-hour NAAQS are: (1) An approach for assessing ambient concentrations to determine compliance with the NAAQS; (2) a process for using these assessments to designate areas relative to the new standard; and (3) the development of State plans that include control measures sufficient for ensuring the NAAQS is attained everywhere as expeditiously as possible, which we

believe should be no later than 2017. EPA's revised anticipated approach to determining compliance with the new SO<sub>2</sub> NAAQS is consistent with our historical approach to SO<sub>2</sub> designations and implementation through permits and emissions limitations, which involves the combined use of monitoring and modeling. The emphasis we would place on monitoring and modeling, compared with each other, under the revised expected approach is therefore significantly different than that in the approach discussed in the proposal, which was less in line with our historical practice for SO<sub>2</sub>, as the public comments highlighted.

In the SO<sub>2</sub> NAAQS proposal, we recommended a monitoring-focused approach for comparison to the new NAAQS, featuring a two-pronged monitoring network design. This included monitors in certain CBSAs based on a combination of population and SO<sub>2</sub> emissions coupled with additional monitors within a State based on that State's contribution to national SO<sub>2</sub> emissions. The resulting proposed network would have required approximately 348 monitors nationwide to be sited at the locations of maximum concentration. Numerous State and local government commenters expressed concerns regarding the burdens of implementing the proposed monitoring network and the sufficiency of its scope for purposes of identifying violations. These commenters contended that our proposed monitoring network was too small and insufficient to cover the range of SO<sub>2</sub> sources, and yet too burdensome and expensive to expand to an adequate scale. Some of these commenters (the City of Alexandria, and the States of Delaware, North Carolina and Pennsylvania) suggested using modeling to determine the scope of monitoring requirements, or favored modeling over monitoring to determine compliance with the NAAQS.

Partly in response to these comments, and after reconsidering the proposal's monitoring-focused approach in light of EPA's historical approach to SO<sub>2</sub> NAAQS implementation and area designations decisions, we intend to use a hybrid analytic approach that would combine the use of monitoring and modeling to assess compliance with the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. We believe that some type of hybrid approach is more consistent with our historical approach and longstanding guidance toward SO<sub>2</sub> than what we originally proposed. In addition, we believe that for a short-term 1-hour standard it is more technically appropriate, efficient, and effective to use modeling as the principle means of assessing

compliance for medium to larger sources, and to rely more on monitoring for groups of smaller sources and sources not as conducive to modeling. We discuss the details of the final revised monitoring network requirements in section IV later in the preamble, but note here the relationship that the revised approach toward monitoring and modeling—taken partly in response to the public comments mentioned above—has to the other two general subject areas in implementation for which we are providing guidance, namely initial area designations and development of substantive implementation plans that ensure timely attainment and maintenance of the NAAQS. Our ultimate intention is to place greater emphasis on modeling than did the proposed rule as the most technically appropriate, efficient, and readily available method for assessing short-term ambient SO<sub>2</sub> concentrations in areas with large point sources. This projected change in approach would necessarily result in a lesser emphasis on the less appropriate, more expensive, and slower to establish monitoring tool than did the proposed rule. Therefore, the minimum requirements for the SO<sub>2</sub> monitoring network in this final rule are of a smaller scale than proposed, and we do not expect monitoring to become the primary method by which ambient concentrations are compared to the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS.

Instead, in areas without currently operating monitors but with sources that might have the potential to cause or contribute to violations of the NAAQS, we anticipate that the identification of NAAQS violations and compliance with the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS would primarily be done through refined, source-oriented air quality dispersion modeling analyses, supplemented with a new, limited network of ambient air quality monitors. Historically, we have favored dispersion modeling to support SO<sub>2</sub> NAAQS compliance determinations for areas with sources that have the potential to cause an SO<sub>2</sub> NAAQS violation, and we have explained that for an area to be designated as "attainment," dispersion modeling regarding such sources needs to show the absence of violations even if monitoring does not show a violation. This has been our general position throughout the history of implementation of the SO<sub>2</sub> NAAQS program. See, e.g., "Air Quality Control Regions, Criteria, and Control Techniques," 43 FR 40412, 40415–16 (Sept. 11, 1978); "Air Quality Control

Techniques," 43 FR 45993, 46000–02 (Oct. 5, 1978); "Air Quality Implementation Plans: State Implementation Plans; General Preamble," 57 FR 13498, 13545, 13547–48 (Apr. 16, 1992); "Approval and Promulgation of State Implementation Plans; Call for Sulfur Dioxide SIP Revisions for Billings/Laurel, MT," 58 FR 41430 (Aug. 4, 1993); "Designation of Areas for Air Quality Planning Purposes; Ohio," 59 FR 12886, 12887 (Mar. 18, 1994); "Ambient Air Quality Standards, National and Implementation Plans for Sulfur Oxides (Sulfur Dioxide)," 60 FR 12492, 12494–95 (Mar. 7, 1995); "Air Quality Implementation Plans; Approval and Promulgation: Various States: Montana," 67 FR 22167, 22170–71, 22183–887 (May 2, 2002).

Compared to other NAAQS pollutants, we would not consider ambient air quality monitoring alone to be the most appropriate means of determining whether all areas are attaining a short-term SO<sub>2</sub> NAAQS. Due to the generally localized impacts of SO<sub>2</sub>, we have not historically considered monitoring alone to be an adequate, nor the most appropriate, tool to identify all maximum concentrations of SO<sub>2</sub>. In the case of SO<sub>2</sub>, we further believe that monitoring is not the most cost-efficient method for identifying all areas of maximum concentrations. However, for some situations monitoring is well suited, and we therefore will require it to some extent, as further explained in section IV of the preamble. For example, monitoring may appropriately be relied upon to assess compliance with the NAAQS by groups of smaller sources and sources that may not be as conducive to modeling as are larger SO<sub>2</sub> sources.

States will need to make any adjustments to the existing monitoring network to ensure that monitors meeting today's network design regulations for the new 1-hour NAAQS are sited and operational by January 1, 2013. We also expect to provide additional guidance regarding the application of refined dispersion modeling under this revised expected approach for implementation of the new SO<sub>2</sub> standard. Appendix A to the *Guideline on Air Quality Models* (Appendix W of 40 CFR part 51), *Summaries of Preferred Air Quality Models*, provides "key features of refined air quality models preferred for specific regulatory applications" (see Appendix A to Appendix W of Part 51 at A.0(1)). Refined dispersion modeling, following our current *Guideline on Air Quality Models* with appropriate flexibility for use in implementation, is anticipated to better reflect and account



for source-specific SO<sub>2</sub> impacts than the more limited monitoring-focused proposal. As noted above, EPA intends to solicit public comment prior to finalizing this guidance.

Based on a revised, hybrid approach, we expect to implement the new SO<sub>2</sub> standard in the following manner. In accordance with CAA section 107(d), EPA must designate areas as "attainment," "nonattainment" or "unclassifiable" for the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS by June 2012 (*i.e.*, two years following promulgation of the new NAAQS).<sup>20</sup> State Governors are required to submit their initial area designation recommendations to EPA no later than June 2011. We expect that EPA's final area designation decisions in 2012 would be based principally on data reported from SO<sub>2</sub> monitors currently in place today, and any refined modeling the State chooses to conduct specifically for initial area designations.<sup>21</sup> For these initial designations, we would expect to designate an area "nonattainment" if either monitoring data or appropriate refined modeling results show a violation. Any area that has monitoring and appropriate modeling data showing no violations we would expect to designate as "attainment."<sup>22</sup> All other areas, absent monitoring data and air quality modeling results showing no violations, we would expect to initially designate as "unclassifiable," as required by the Clean Air Act. The expected presumptive boundary for any area designated "nonattainment" would be the county boundary associated with the violation unless additional information provided to EPA demonstrates otherwise, as has been our general approach for other NAAQS pollutants. Any area initially designated "nonattainment" or "unclassifiable" could request redesignation to

"attainment" after an assessment based on air quality modeling, conducted in accordance with the new guidance, and available monitoring data indicates that the standard has been met, as well as meeting all other requirements of the CAA for redesignation to attainment.

This anticipated approach toward initial area designations is a change from the approach discussed in the proposal, and logically follows from our general change in approach to the use and utility of monitoring versus modeling for determining short-term SO<sub>2</sub> ambient concentrations. As public commenters pointed out, establishment and implementation of the proposed monitoring network would have been both too limited and too late to inform initial area designations, and the expense and burden of accelerating it and expanding it would have been severe for State implementing agencies. Given the time needed to establish monitors, it is not realistic to expect either such an expanded monitoring network or even the more reasonable limited network of the final rule to be the chief tool for informing initial designations.

That means that some other approach is needed to inform initial designations of areas and other implementation decisions under the new SO<sub>2</sub> NAAQS. In addition to using any valid data generated by existing monitors, refined dispersion modeling may inform designation and implementation decisions regarding sources that may have the potential to cause or contribute to a NAAQS violation. In order for modeling to be done on the scale sufficient to identify all areas that might violate the new 1-hour standard, EPA anticipates issuing guidance that addresses a variety of issues, such as how to identify and appropriately assess the air quality impacts of small SO<sub>2</sub> sources (*e.g.*, those emitting less than 100 tons of SO<sub>2</sub> per year) that may potentially cause or contribute to a violation of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. EPA expects that it will take more time for EPA to issue that guidance than is available in order to use it for the initial round of attainment designations. In addition to any smaller sources that might cause or contribute to NAAQS violations, States would need to model approximately 2000 larger sources across the country (*i.e.*, sources that emit greater than 100 tons per year and are collectively responsible for about 99% of all SO<sub>2</sub> emissions from point sources in the U.S.) to determine whether areas are attaining or not attaining the 1-hour standard. While these sources emitting 100 or more tons of SO<sub>2</sub> per year represent the significant

fraction of the total emissions from point sources in the U.S., smaller sources also have the potential to violate the new SO<sub>2</sub> NAAQS.

After receiving EPA's forthcoming modeling guidance, States might initially focus modeling assessments on these larger sources that have been subject to permitting requirements and are generally better characterized than smaller sources. But even this effort would entail a substantial burden on States, under a compressed timeline following EPA's issuance of further modeling guidance. Consequently, EPA does not believe that for this new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS it would be realistic or appropriate to expect States to complete such modeling and incorporate the results in initial designation recommendations, which under CAA section 107(d)(1)(A) must be submitted to EPA within 1 year of the promulgation of the 1-hour standard.

The remaining issue, then, is how to most appropriately use a modified hybrid approach, and its constituent modeling and monitoring tools, in the implementation plan development process in order to ensure expeditious attainment and maintenance of the NAAQS. Under the CAA, all States must develop and submit to EPA State implementation plans (SIPs) to attain and maintain the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. CAA section 110(a)(1) requires States, regardless of designation status, to adopt SIPs that provide for implementation, maintenance and enforcement of each primary NAAQS. Traditionally, for areas that were designated "attainment" or "unclassifiable," we accepted State submissions of prevention of significant deterioration (PSD) permitting programs and other "infrastructure" SIP elements contained in CAA section 110(a)(2) as being sufficient to satisfy the section 110(a)(1) SIP submission requirement. However, due to our recognition here that monitoring is not generally the most appropriate or effective tool for assessing compliance with the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, that additional guidance from EPA on conducting refined modeling for the new 1-hour NAAQS is anticipated to support our expected implementation approach, and that considerable time and resources may be needed to fully identify and properly characterize all SO<sub>2</sub> sources (including those emitting less than 100 tons of SO<sub>2</sub> per year) that may potentially cause or contribute to a violation of the new SO<sub>2</sub> NAAQS, we also had to assess how and when to best use modeling as the primary method in implementation.

<sup>20</sup> EPA is authorized by the Clean Air Act to take up to 3 years to complete the initial area designations in the event that insufficient information is available to complete the designations within 2 years.

<sup>21</sup> Since three complete years of data from any newly sited monitors meeting the new monitoring network design criteria are not expected to be obtained until the end of 2015, any newly sited monitors will not play a role in EPA's initial area designations.

<sup>22</sup> EPA anticipates making the determination of when monitoring alone is "appropriate" for a specific area on a case-by-case basis, informed by that area's factual record, as part of the designations process. EPA would expect to address this issue for such areas by examining the historic treatment of the area with respect to prior SO<sub>2</sub> designations as well as whether the area is one in which monitoring would be the more technically appropriate tool for determining compliance with the new SO<sub>2</sub> NAAQS. An example of a situation in which monitoring may be the more preferred approach is a shipping port (non-point source or "area" source) that is not in close proximity to other significant stationary SO<sub>2</sub> sources.

The approach that EPA expects to take, which is described in sections V and VI of the preamble, is consistent with the language of the Clean Air Act and would accommodate the time needed for an accurate assessment of ambient air quality levels for the 1-hour SO<sub>2</sub> standard. Section 107(d)(1) requires areas to be designated "attainment" if they meet the standard, "nonattainment" if they do not meet the standard or contribute to a nearby violation, or "unclassifiable" if they cannot be designated on the basis of available information. EPA's expected approach would enable us to make the appropriate designation decision required by the CAA, based on the record of information that will be before EPA regarding each area. Areas would be designated "nonattainment" if either available monitoring data or modeling shows that a violation exists, or "attainment" if both available monitoring data and modeling indicate the area is attaining. All other areas would be designated "unclassifiable," as required by section 107(d)(1)(A).

We currently anticipate that our projected post-designation implementation approach would look to robust CAA section 110(a)(1) SIPs, which have sometimes been previously referred to as "maintenance" or "infrastructure" SIPs but for the new SO<sub>2</sub> NAAQS would serve as substantive "attainment" SIPs. Our current thinking is that, to be approved by EPA, such plans would need to provide for attainment and maintenance of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS as expeditiously as practicable, which we expect to be no later than five years after initial designation (or approximately August 2017) in all areas of the State, including any area initially designated "nonattainment," and also including any area designated "unclassifiable" that has SO<sub>2</sub> sources with the potential to cause or contribute to a violation of the NAAQS. The CAA establishes deadlines for States to submit these plans to EPA.<sup>23</sup> State plans that address areas designated as "nonattainment" (*i.e.*, "nonattainment area SIPs") are due within 18 months from the effective date of the designation, under CAA section 192. EPA anticipates that this deadline would be February 2014. State plans addressing all other areas (*i.e.*, "maintenance SIPs") are due within 3 years following the promulgation of the

new NAAQS, or June 2013, under CAA section 110(a)(1).

Section 110(a)(1), unlike section 192, does not specify a maximum deadline by which States are required to show they have met the requirements to implement, maintain, and enforce a NAAQS. EPA believes, however, that August 2017 is the latest date by which areas should show they have achieved attainment and maintenance of the standard because this deadline is the same as would be required for areas designated nonattainment in June 2012. It is therefore presumptively reasonable as it is identical to the period Congress provided for nonattainment areas to reach attainment. Moreover, EPA notes that the maintenance SIPs will be due in June 2013, rather than in February 2014, giving States and sources at least as much time between SIP development and submission and the date by which attainment should be achieved as they would have had the area been designated nonattainment in 2012. These section 110(a)(1) SIPs would be able to rely on modeling reflecting any SO<sub>2</sub> reductions that we expect to result before the attainment date from compliance with the rules EPA expects to promulgate before 2013, (including technology-based standards under CAA section 112(d) for certain source categories emitting large amounts of SO<sub>2</sub> such as Electric Generating Units and industrial boilers, and revised rules establishing further limits on SO<sub>2</sub> emitted by sources in upwind States which contribute significantly to downstream States' inability to attain or maintain the PM<sub>2.5</sub> NAAS (the so-called Clean Air Interstate Replacement rule)). Thus, we intend that a State's section 110(a)(1) SIP may account for projected emissions reductions, including any from national and regional rules that are promulgated before these SIP submissions, provided that those reductions occur under a schedule that ensures attainment as expeditiously as practicable. We expect that date to be no later than 5 years from the date of initial designation or August 2017.

Under this anticipated approach, attainment SIPs for nonattainment areas would have to include enforceable emissions limitations, timetables for compliance, and appropriate testing/reporting to assure compliance, and demonstrate attainment through air quality modeling for all sources contributing to monitored and modeled violations, or that have the potential to cause or contribute to a violation of the NAAQS. The SIPs under section 110(a)(1) would need to demonstrate through refined air quality modeling that any source or group of sources that

have the potential to cause or contribute to a violation of the NAAQS are, or will be, sufficiently controlled to ensure timely attainment and maintenance of the NAAQS. We would expect this to include any individual sources with the potential to emit 100 or more tons per year of SO<sub>2</sub>, and other sources that may also cause or contribute to violations of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. We expect to develop guidance for the States' use on how best to identify and assess the impact of sources that may have this potential. As mentioned previously, we intend to provide an opportunity for notice and comment on this guidance before finalizing it.

EPA again notes that it anticipates several forthcoming national and regional rules, such as the pending Industrial Boilers MACT standard under CAA section 112(d), that are likely to require significant reductions in SO<sub>2</sub> emissions over the next several years. A limited qualitative assessment based on the results of preliminary modeling of some sample facilities indicates that well controlled sources should meet the new SO<sub>2</sub> NAAQS (*see Brode 2010b*). Exceptions could include unique sources with specific characteristics that contribute to higher ambient impacts (short stack heights, complex terrain, *etc.*). These national and regional rules are expected to lead to SO<sub>2</sub> reductions that will help achieve compliance with the new SO<sub>2</sub> NAAQS prior to 2017. If, upon EPA review of submitted SIPs that rely upon those reductions or other local controls, it appears that States will nevertheless fail to attain the NAAQS as expeditiously as practicable (and no later than August 2017), the Clean Air Act provides authorities for EPA to solve such failure, including, as appropriate, disapproving submitted SIPs, re-designating unclassifiable areas to nonattainment, issuing SIP calls, and promulgating FIPs.

For the reasons discussed above, EPA has determined that it is appropriate and efficient to principally use modeling to assess compliance for medium to larger sources, and to rely more on monitoring for groups of smaller sources and sources not as conducive to modeling. EPA's revised monitoring network requirements have been developed to be consistent with this approach. However, EPA is still considering how monitoring and modeling data would be used together in specific situations to define attainment and nonattainment boundaries and under what circumstances it may be appropriate to rely on monitoring data alone to make attainment determinations. EPA intends

<sup>23</sup> The schedule for State plans addressing areas designated "nonattainment" is governed by CAA section 191. The schedule for State plans for all other areas, including areas designated "unclassifiable" and "attainment," is governed by CAA section 110(a)(1).



to address these issues as it develops implementation guidance.

In light of the new approach that EPA intends to take with respect to implementation of the SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA intends to solicit public comment on guidance regarding modeling, and also solicit public comment on additional implementation planning guidance, including the content of the maintenance plans required under section 110(a)(1) of the Clean Air Act. EPA also notes that State monitoring plans and the SIP submissions that States will make will also be subject to public notice and comment.

#### IV. Amendments to Ambient Monitoring and Reporting Requirements

In this section of the preamble, we describe the proposal, the public comments that we received on the proposed monitoring and reporting requirements, and the final requirements for the SO<sub>2</sub> monitoring network. We are modifying our proposed approach to the amount of monitoring to require following consideration of public comments and a review of our historic practice in assessing compliance with the SO<sub>2</sub> NAAQS. As we explain above in section III, we will use a hybrid approach that combines monitoring and modeling, using each of these analytic tools where they are most appropriate and effective. This approach and its requirements are intended to support the revised SO<sub>2</sub> NAAQS, described in section II above. For a short-term 1-hour standard, dispersion modeling of stationary sources will generally be more technically appropriate, efficient, and effective because it takes into account fairly infrequent combinations of meteorological and source operating conditions that can contribute to peak ground-level concentrations of SO<sub>2</sub>. Even an expansive monitoring network could fail to identify all such locations. Consequently, we have revised the scope of the monitoring network, reflecting a modified and expanded set of objectives. This section also describes and explains the final requirements for the new SO<sub>2</sub> Federal Reference Method (FRM), and the SO<sub>2</sub> network design, monitoring objectives, data reporting, and data quality objectives that support the revised primary SO<sub>2</sub> NAAQS.

##### A. Monitoring Methods

###### 1. Requirements for SO<sub>2</sub> Federal Reference Method (FRM)

The proposal to promulgate an automated SO<sub>2</sub> FRM was based on a need to update the cumbersome existing

manual wet-chemistry (pararosaniline) method to a continuous-type automated method that can readily provide 1-hour SO<sub>2</sub> measurement capability. See 74 FR at 64846–849. The following paragraphs provide background, rationale, and the final changes to the automated SO<sub>2</sub> Federal Reference Method (FRM) and to the associated performance specifications for automated SO<sub>2</sub> analyzers.

###### a. Proposed Ultraviolet Fluorescence SO<sub>2</sub> FRM and Its Implementation

FRMs, set forth in several appendices to 40 CFR Part 50, serve (1) To provide a specified methodology for definitively measuring concentrations of ambient air pollutants for comparison to the NAAQS in Part 50, and (2) to provide a standard of comparison for determining equivalency of alternative pollutant measurement methods that can be used in lieu of the FRM for such monitoring.

The FRM for measuring SO<sub>2</sub> in the ambient air was promulgated on April 30, 1971 in conjunction with the first primary SO<sub>2</sub> NAAQS (36 FR 8196). This SO<sub>2</sub> FRM is specified in Appendix A of Part 50 and identified as the pararosaniline manual method. See generally 74 FR at 64846. In the interim, EPA has designated many SO<sub>2</sub> methods as equivalent methods (FEMs), most of which are based on the ultraviolet fluorescence (UVF) measuring technique. *Id.* In fact, virtually all SO<sub>2</sub> monitoring data are now obtained with FEMs that use the UVF technique.

In light of this, EPA proposed to establish a new automated SO<sub>2</sub> FRM based on UVF—the same measurement technique employed by FEM analyzers now in widespread use by most State and local monitoring agencies and having the measurement capability needed to implement the proposed 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. FRM analyzers using this UVF technique can provide the needed detection limits, precision, and accuracy and fulfill other purposes of an FRM, including use as an appropriate standard of reference for testing and designation of new FEM analyzers. At proposal, EPA specified the new method in performance-based form, describing a generic reference measurement principle and associated calibration procedure in a new Appendix A–1 to 40 CFR Part 50. Associated performance requirements applicable to candidate automated SO<sub>2</sub> analyzers (both FRMs and FEMs) were proposed in 40 CFR Part 53.

EPA also proposed retaining the existing manual pararosaniline FRM for SO<sub>2</sub>. Although EPA recognized that the existing method is cumbersome for one-

hour measurements, it is capable of making measurements of 1 hour or even 30 minute periods. 74 FR at 64846; see also Part 50 Appendix A at 1.1 (“[t]he method is applicable to the measurement of ambient SO<sub>2</sub> concentrations using sampling periods ranging from 30 minutes to 24 hours”). Supersession of the existing manual FRM, as defined in § 53.16, would require not only withdrawal of that existing FRM but also the cancellation of the designations of all existing SO<sub>2</sub> FEMs. Loss of the use of these FEM analyzers would leave State and local monitoring agencies with no approved SO<sub>2</sub> monitors until new FRM and FEM analyzers could be designated under the new FRM. The resulting costs and disruptions to monitoring agencies is unnecessary because the current SO<sub>2</sub> FEMs readily and accurately measure (and report) one-hour ambient measurements. See 74 FR at 64847. Accordingly, EPA concluded that supersession of the existing FRM was not warranted, given the costs and disruptions which would occur to State monitoring programs and the limited benefits from such an action given the suitability of the in-use FEMs. *Id.* at 68646; see also section 53.16(b)(1) stating that in exercising its discretion as to whether to proceed with supersession of an FRM, EPA will consider the benefits (in terms of requirements and purposes of the Act) from specifying a new reference method, potential economic consequences of such supersession for State and local monitoring agencies, and disruption to State and local air quality monitoring programs. Instead, EPA proposed to add the new UVF FRM while retaining the existing FRM for some period of time to support the continued approval of existing SO<sub>2</sub> FEM analyzers.

###### b. Public Comments on the Proposed FRM and Implementation

EPA received comments from State and local groups (e.g., City of Houston, Houston-Galveston Area Council, KY, NC, NY, PA, SC, SD, and WI) and industry (e.g., AirQuality Research and Logistics (AQRL), Consumers Energy, ExxonMobil, Montana Sulfur and Chemical Company, Inc. (MSCC), and the Utility Air Regulatory Group (UARG)), all generally supporting EPA’s proposal to adopt the proposed automated UVF as an FRM. For example, South Dakota supported adding the UVF SO<sub>2</sub> method as an additional FRM and stated that this method is currently being used in the network and will reduce the cost of implementing the new monitoring

requirements for this rule. The UARG stated that the proposal to specify a different FRM to judge compliance is entirely reasonable, and UARG generally supported the proposed specifications for a new FRM but maintained that the current FRM could not be used along with a new FRM. ExxonMobil stated that it supports “\* \* \* EPA allowing monitoring agencies to choose mobile monitoring that meets monitoring quality requirements.” AQRL stated that “EPA is correct in choosing to designate [promulgate] a new (automated) FRM for measurement of SO<sub>2</sub>.”

EPA did not receive any public comments opposing the proposed automated UVF SO<sub>2</sub> FRM but did receive a few technical comments on specific provisions of the method. EPA proposed use of an inlet line particle filter as a requirement for new UVF SO<sub>2</sub> FRM analyzers, believing that use of a particle filter is advantageous to prevent interference, malfunction, or damage to the analyzer from particles in the sampled air. The State of Missouri questioned this requirement, noting that such a filter can sometimes cause problems and that filter requirements for other FRM and FEM analyzers have been analyzer-specific depending on the manufacturer's stipulation. EPA believes, however, that for new SO<sub>2</sub> FRM analyzers, the benefits and uniformity provided by a mandatory filter requirement outweigh possible disadvantages of such a filter.

Missouri also suggested that the language of proposed Sections 4.1.1 and 4.1.2 regarding calibration system flow rate requirements were somewhat confusing, and that the high (50–100 ppm) concentration requirement for the calibration standard specified in Section 4.1.6.1 is sometimes a problem. In response to these comments, the language of Sections 4.1.1 and 4.1.2 has been clarified, and the concentration of the standard specified in Section 4.1.6.1 has been reduced to 10 ppm.

EPA received a number of comments from States (*e.g.*, NC, NYSDEC, PA, SC, and SD) that supported the EPA proposed plan of temporary retention of the existing wet-chemistry pararosaniline FRM and for FEMs approved based on that method. For example, Pennsylvania stated “[t]his methodology should enable State and local agencies to continue using their existing monitoring equipment and [thereby] avoid large capital fund outlays for samplers and ultimately avoid any delays in collecting data that would be comparable to the proposed new primary sulfur dioxide NAAQS.” North Carolina requested “\* \* \* that

the EPA maintain the current reference method for at least an additional 10 years.” Wisconsin and the Center for Biological Diversity (CBD) suggested expeditiously phasing out the existing manual SO<sub>2</sub> FRM.

In contrast, however, EPA also received comments from industry that opposed the retention of the existing pararosaniline FRM while promulgating a new automated UVF FRM. In particular, UARG stated “\* \* \* having two FRMs specified for a given NAAQS—is not viable,” pointing out that there is only one FRM for each NAAQS under the present standards, a result UARG appears to believe is legally mandated.

EPA disagrees with this comment. First, there is nothing in the Act that mandates a single FRM for each NAAQS. Section 109 of the Act, in fact, does not address this issue at all. Second, as noted previously, there are sound policy reasons for not withdrawing the existing FRM at this time. Therefore, EPA sees no legal or other obstacle in adding a new automated UVF FRM while retaining the existing manual FRM.

UARG further maintained that EPA provided no support for its statement that the existing FEMs, which constitute the bulk of the existing SO<sub>2</sub> monitoring network, are adequate for the current and proposed new SO<sub>2</sub> NAAQS. UARG also stated that “although the FEMs may be adequate for many other purposes, they may only be used to judge compliance with the 1-hour NAAQS if they are shown to qualify as FRMs or FEMs under the new FRM definition.”

EPA disagrees with this comment also. In answer to UARG's second point, it is not necessary that these existing FEMs be re-designated as FRMs pursuant to the new automated FRM to continue their approved use. There is no legal impediment to such continued use, since they are (and will continue to be) FEMs approved based on an FRM that adequately measures one-hour ambient SO<sub>2</sub> concentrations. Nor is there any technical impediment to the continued use of these FEMs, given that they are automated continuous monitoring methods capable of measuring SO<sub>2</sub> concentrations ranging from a few minutes to a 1-hour period. The existing FEMs in the network use the same UVF technology as the proposed (and now final) automated FRM and have been reporting 1-hour monitoring data for decades. These FRMs have been tested against the test and performance requirements of Part 53, which are designed specifically to test such continuous methods. Further, the proposed SO<sub>2</sub> method performance

specifications for the standard measurement range were derived from data submitted in FEM applications for analyzers that were subsequently designated as FEMs. Therefore, these FEMs are technically and legally sound to judge compliance with the one-hour NAAQS.

EPA has clarified the regulatory text so that the rules state unambiguously that both SO<sub>2</sub> FRMs apply to the new one-hour standard (as well as to the 24-hour and annual standards so long as they are retained), as do all presently-designated FEMs.

### c. Conclusions on Ultraviolet Fluorescence SO<sub>2</sub> FRM and Implementation

We are finalizing the proposed new automated SO<sub>2</sub> FRM, which is based on UVF technology, with the following minor technical changes: The language of Sections 4.1.1 and 4.1.2 has been clarified, and the minimum concentration of the calibration standard specified in Section 4.1.6.1 has been reduced to 10 ppm. The new FRM is codified as Appendix A–1 to 40 CFR Part 50 and titled “Reference Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Ultraviolet Fluorescence Method).” EPA is retaining the previously existing manual pararosaniline SO<sub>2</sub> FRM for the time being and re-codifying it as Appendix A–2 to 40 CFR Part 50. However, EPA plans to rescind this manual FRM at a future time when new SO<sub>2</sub> FRM analyzers have adequately permeated State monitoring networks.

## 2. Requirements for Automated SO<sub>2</sub> Methods

### a. Performance Specifications for Automated Methods

In association with the proposal to adopt a new automated FRM, EPA proposed to update the performance-based designation requirements for FEM SO<sub>2</sub> analyzers currently specified in 40 CFR Part 53. As noted in the proposal preamble (74 at 64846), these requirements were established in the 1970's, based primarily on the wet-chemical measurement technology available at that time. Those initial requirements have become significantly outdated and need to be modified to match current technology, particularly because they would apply to new SO<sub>2</sub> FRM analyzers under the proposed new FRM. The better instrumental performance available with the proposed new UVF FRM technique allows the performance requirements in Part 53 to be made more stringent for

both FRM and FEM SO<sub>2</sub> analyzers. Updating these performance requirements is needed to ensure that, going forward, all new SO<sub>2</sub> monitors will have improved performance.

EPA solicited comments on the proposed new performance requirements for automated SO<sub>2</sub> methods that were included in Table B-1 (Performance Specifications for Automated Methods) of Part 53. We proposed revised performance specifications for noise, lower detectable limit, interference equivalent, zero drift, span drift, lag time, rise time, fall time, and precision. EPA proposed to reduce the allowable noise limit from 5 to 1 ppb, the lower detectable limit from 10 to 2 ppb, the interference equivalent limits from  $\pm 20$  ppb to  $\pm 5$  ppb for each interferent, and from 60 ppb to 20 ppb for the total of all interferents, the zero drift limit from  $\pm 20$  to  $\pm 4$  ppb, the lag time limit from 20 to 2 minutes, both rise and fall time limits from 15 to 2 minutes, and the precision limits from 15 ppb to 2 percent of the upper range limit. EPA further proposed to eliminate the requirements for span drift at 20% of the upper range limit. In addition, to address the need for more sensitive, lower measurement ranges for SO<sub>2</sub> analyzers, EPA proposed a separate set of performance requirements that would apply specifically to narrower measurement ranges, *i.e.* ranges extending from zero to concentrations less than 0.5 ppm. Other minor changes were proposed in the wording of a few sections of Part 53 Subparts A and B, including provision for alternate data recording devices in § 53.21 to supplement the older language relating specifically to strip chart recorders.

#### b. Public Comments

EPA received a number of comments from industry (AQRL and UARG) and from the multi-State organization NESCAUM regarding the proposed interferent limit requirements listed in Table B-1. UARG submitted comments supportive of all the proposed requirements for the new UVF SO<sub>2</sub> FRM, except for the proposed total interferent limits of 20 ppb. UARG acknowledged that EPA proposed to reduce the total interferent level substantially from 60 ppb to 20 ppb, but maintained that the proposed level of 20 ppb is still too high because it amounts to 20%–40% of the levels being considered for the NAAQS (50–150 ppb). AQRL recommended limiting “\* \* \* each interferent to no more than  $\pm 3$  ppb and total interference to no more than 12 ppb.” NESCAUM recommended tightening the nitric oxide (NO) interference limit from 100:1 to 300:1

(*i.e.*, one third of the proposed value of  $\pm 5$  ppb). NESCAUM states that the proposed interferent value of  $\pm 5$  ppb results in substantial NO interference at sites with low SO<sub>2</sub> levels in urban areas.

EPA revisited the issue of the interferent equivalent limit for SO<sub>2</sub> analyzers in context of the above comments and reconsidered what is reasonably feasible with current technology. We reviewed the current instrument specifications and test data submitted for numerous SO<sub>2</sub> FEM applications. We also took into account that the test concentrations of most of these interferents are substantially higher than the concentrations normally observed in ambient air. EPA considered lowering the testing concentrations of these interferents, which would have correspondingly lowered the interferent equivalent for each analyte. However, EPA took a more conservative approach and retained the existing test concentrations for H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, m-xylene, and water vapor. Based on this review, we found that it is not feasible to further lower the limit requirement for these interferents below  $\pm 5$  ppb. However, in response to the NESCAUM comment, EPA determined that the interferent equivalent limit requirement for NO interference could be reduced to  $\pm 3$  ppb (166:1) for the new, lower measurement range to reduce possible NO interference at sites with low SO<sub>2</sub> levels in urban areas.

In regard to the total limit for all interferent equivalents for SO<sub>2</sub> analyzers, EPA notes that many of the interferents for which testing is required (specified in Table B-3 of Part 53) would likely react with each other and would thus not co-exist in ambient air at the specified test concentrations. Therefore, EPA determined that the limit requirement for total interference equivalent can be eliminated, and Table B-1 now reflects this change.

EPA received comment from AQRL on the existing span drift requirement for SO<sub>2</sub> analyzers specified in Table B-1. AQRL recommended lowering the span drift requirement at 80% URL to 2.5%, stating that “ambient air monitors in the 21st century should be able to hold span drift to no more than  $\pm 2.5$ % under the conditions specified in EPA testing \* \* \*.” Based on information from FEM testing laboratories and manufacturers’ data (EPA, 2009c), EPA largely agrees with this comment and concludes that the span drift requirement at 80% can be lowered to  $\pm 3$ %. Table B-1 has been changed to include this revised limit.

EPA received comment from the State of Wisconsin suggesting that the

proposed revised provisions of section 53.21 (Test conditions) be further changed to more specifically recognize use of digital recorders for obtaining test results rather than maintaining the tie to analog strip chart recorder technology. EPA acknowledges that industry has moved away from strip chart recording technology to digital data recording. However, the proposed language of § 53.21 calls for a graphic representation of analyzer responses to test concentrations to facilitate visual examination of test results and allows any “alternative measurement data recording device” as long as it can provide such a graphic representation. Describing the analog strip chart recorder in this section provides an appropriate model to help define the type of graphic representation needed for the Part 53 tests. EPA believes that the proposed language of § 53.21 is adequately broad to permit digital or other types of data recording devices.

#### c. Conclusions for Performance Specifications for SO<sub>2</sub> Automated Methods

Based on typical performance capabilities of current UVF analyzers and manufacturers’ actual testing data, we are keeping the limit for each interference equivalent for SO<sub>2</sub> analyzers at  $\pm 5$  ppb. However, we are lowering the interference equivalent requirement for NO to  $\pm 3$  ppb for the lower measurement range. A footnote denoting this specific requirement is being added to Table B-1. We are eliminating the total interference equivalent requirement for SO<sub>2</sub> analyzers, and Table B-1 is being revised to incorporate this change.

The 24-hour span drift at 80% of the upper range limit for SO<sub>2</sub> analyzers is being lowered to  $\pm 3$ % in Table B-1 to be in line with current technology. Also, unrelated to SO<sub>2</sub>, a typographical error for the noise requirement for CO analyzers is being corrected to 0.5 ppm in Table B-1.

Finally, information on generation and verification of test concentrations for naphthalene was inadvertently omitted from Table B-2, Test Atmospheres, even though it was added as a required interferent test in our proposal. Therefore, we are adding that information for naphthalene. Also in Table B-2, we are correcting the verification information for nitric oxide.

#### B. Network Design

Ambient SO<sub>2</sub> monitoring data are collected by State, local, and Tribal monitoring agencies (“monitoring agencies”) in accordance with the monitoring requirements contained in

40 CFR parts 50, 53, and 58. A monitoring network is generally designed to measure, report, and provide related information on air quality data as described in 40 CFR Part 58. To ensure that the data from the network is accurate and reliable, the monitors in the network must meet a number of requirements including the use of monitoring methods that EPA has approved as Federal Reference Methods (FRMs) or Federal Equivalent Methods (FEMs) (discussed in some detail above in section IV.A), focusing on particular monitoring objectives, and following specific siting criteria, data reporting, quality assurance and data handling rules or procedures.

With the revision to the SO<sub>2</sub> NAAQS, which establishes a new 1-hour averaging period intended to limit short-term exposures that may occur anywhere in an area, EPA evaluated the existing network to determine if it was adequate to support the revised SO<sub>2</sub> NAAQS. A significant fact for ambient SO<sub>2</sub> concentrations is that stationary sources are the predominant emission sources of SO<sub>2</sub> and the peak, maximum SO<sub>2</sub> concentrations that may occur are most likely to occur nearer the parent stationary source, as noted in the ISA (ISA, 2-1), section II.A.1 above, and in section IV.B.1 below. According to the 2005 National Emissions Inventory, there are 32,288 sources (facilities) emitting SO<sub>2</sub>, of which 1,928 are emitting 100 tons per year (tpy) or more. In the proposal (74 FR 64851), EPA had anticipated requiring 348 source-oriented monitors in the network design based on a population and emissions metric and a State's emissions contribution to the National Emissions Inventory (NEI). In response to this proposal, EPA received numerous comments arguing that the required number of monitors in the network would be too small. Other commenters argued that expanding the monitoring to an adequate scale would impose a large burden and expense on the States. Some commenters referred to SO<sub>2</sub> modeling in their submissions as an addition or alternative to monitoring. Consequently, as part of developing a balanced response to these comments, we revisited how we had historically dealt with SO<sub>2</sub> for various purposes including designations and implementation through permitting and emissions limitations. As explained in section III, this has been realized through a combined monitoring and modeling approach. As set out below, and in sections III, VI, and VII, our ultimate intention is to utilize a combined monitoring and modeling approach, a

hybrid analytic approach, to assess compliance with the revised SO<sub>2</sub> NAAQS.

As a result of this contemplated hybrid analytic approach, the minimum number of monitors required in the network through this rulemaking is reduced to approximately 163 monitors from the approximated 348 monitors that were proposed. This section of the preamble includes a discussion of the proposal, the comments received, and the details of and the rationale for the final changes to the SO<sub>2</sub> network design requirements.

#### 1. Approach for Network Design

##### a. Proposed Approach for Network Design

To fully support the proposed revision to the SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA indicated the need to identify where short-term, peak ground-level concentrations—*i.e.*, concentrations from 5 minutes to one hour (or potentially up to 24 hours)—may occur. Given that large stationary sources are the predominant source of emissions, monitoring short-term, peak ground-level concentrations would require monitors to be sited to assess impacts of individual or groups of sources and therefore be source-oriented in nature. As a result, under a monitoring-focused approach, EPA proposed a two-pronged monitoring network of all source-oriented monitors. However, due to the multiple variables that affect ground level SO<sub>2</sub> concentrations from individual or groups of sources, including stack heights, emission velocities, stack diameters, terrain, and meteorology, EPA could not specify a source specific threshold, algorithm, or metric by which to require monitoring. The design of the proposed network represented a primarily monitoring-focused approach to assess compliance with the primary SO<sub>2</sub> NAAQS.

In preparation for the SO<sub>2</sub> NAAQS proposal, EPA conducted an analysis of the approximately 488 SO<sub>2</sub> monitoring sites operating during calendar year 2008 (Watkins and Thompson, 2009). This analysis indicated that approximately ~ 35% of the monitoring network was addressing locations of maximum (highest) concentrations, likely linked to a specific source or group of sources. Meanwhile, just under half (~ 46%) of the sites were reported to be for the assessment of concentrations for general population exposure. These data allowed EPA to conclude that the network<sup>24</sup> was not

<sup>24</sup> Prior to this rulemaking there were no minimum monitoring requirements, except for those required at the multi-pollutant National Core

properly focused to support the revised NAAQS (under the assumption that source-oriented monitoring data would be the primary tool for assessing compliance with the NAAQS). As a result, EPA proposed a two-pronged monitoring network (74 FR 64850), based on the premise of a monitoring-focused approach, with minimum requirements for: (1) Monitors in urban areas where there is a higher coincidence of population and emissions, utilizing a Population Weighted Emissions Index (PWEI), and (2) monitors in States based on each State's contributions to the national SO<sub>2</sub> emissions inventory. In addition, all the monitors in the network would be sited at locations of expected maximum hourly concentrations and therefore likely be source-oriented. This two-pronged network would have resulted in a minimum of approximately 348 monitors nationwide<sup>25</sup> providing data for comparison with the 1-hour standard and supporting its implementation.

Under the first prong of the network design, EPA proposed that the ambient SO<sub>2</sub> monitoring network account for SO<sub>2</sub> exposure by requiring monitors in locations where population and emissions may lead to higher potential for population exposure to peak hourly SO<sub>2</sub> concentrations. In order to do this, EPA developed a Population Weighted Emissions Index (PWEI) that uses population and emissions inventory data at the CBSA<sup>26</sup> level to assign required monitoring for a given CBSA (with population and emissions being obvious relevant factors in prioritizing numbers of required monitors). The PWEI for a particular CBSA was proposed to be calculated by multiplying the population (using the latest Census Bureau estimates) of a CBSA by the total amount of SO<sub>2</sub> emissions in that CBSA. The CBSA SO<sub>2</sub> emission value would be in tons per year, and calculated by aggregating the county level emissions for each county in a CBSA. We would then divide the resulting product of CBSA population and CBSA SO<sub>2</sub> emissions by 1,000,000 to provide a PWEI value, the units of

(NCore) monitoring sites. The monitoring rule promulgated in 2006 (71 FR 61236) removed minimum monitoring requirements (except for those NCore stations). This change was largely driven by the fact that there was no longer an SO<sub>2</sub> nonattainment problem under the then-existing standards. However, this logic does not apply to the revised primary SO<sub>2</sub> NAAQS.

<sup>25</sup> Required monitor estimates were based on 2008 Census estimates and the 2005 National Emissions Inventory.

<sup>26</sup> CBSAs are defined by the U.S. Census Bureau, and are comprised of both Metropolitan Statistical Areas and Micropolitan Statistical Areas (<http://www.census.gov>).

which would be millions of people-tons per year.

We proposed that the first prong of the SO<sub>2</sub> network design require monitors in CBSAs, according to the following criteria. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 1,000,000, a minimum of three SO<sub>2</sub> monitors would be required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 10,000, but less than 1,000,000, a minimum of two SO<sub>2</sub> monitors would be required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 5,000, but less than 10,000, a minimum of one SO<sub>2</sub> monitor would be required within that CBSA. EPA estimated that the proposed criteria would have resulted in 231 required sites in 131 CBSAs.

Under the second prong of the network design, EPA proposed to require a monitor or monitors in each State, allocated by State-level SO<sub>2</sub> emissions. This prong of the network design was intended to allow a portion of the overall required monitors to be placed where needed, independent of the first prong of the network design, inside or outside of CBSAs. EPA proposed to require monitors, using State boundaries as the geographic unit for allocation purposes, in proportion to a State's SO<sub>2</sub> emissions, *i.e.*, a State with higher emissions would have been required to have a proportionally higher number of monitors. The proposed percent contribution of individual States would have been based on the most recent NEI, with SO<sub>2</sub> emissions being aggregated by State. The number of required monitors per State would correspond to every one percent (after rounding) of each State's contribution to the national SO<sub>2</sub> inventory. EPA also proposed that each State have at least one monitor required as part of this second prong, even if a particular State contributes less than 0.5% of the total anthropogenic national emissions inventory. As a result, the proposed second prong would have required approximately 117 monitoring sites based on State-level SO<sub>2</sub> emissions in the most recent NEI, which at the time of the proposal, was the 2005 NEI.

EPA also stated in the proposal that the multi-pollutant National Core (NCore) monitoring sites would not have counted towards meeting the proposed monitoring requirements. However, data from the NCore would be compared to the NAAQS even though NAAQS comparisons are not the sole objective of NCore monitors. The monitoring rule promulgated in 2006 (71 FR 61236) and codified at 40 CFR

Part 58 and its Appendices established the NCore multi-pollutant network requirement to support integrated air quality management data needs. In particular, NCore sites are intended to provide long-term data for air quality trends analysis, model evaluation, and, for urban sites, tracking metropolitan air quality statistics. To do this, NCore sites are required to measure various pollutants, including SO<sub>2</sub>, but they are not source oriented monitoring sites, and therefore are not likely to be the location of maximum expected concentration in an area. NCore sites are intended to provide data representing concentrations at the broader neighborhood and urban spatial scales. These reasons were the rationale justifying why SO<sub>2</sub> monitors at NCore stations would not have been part of the minimum monitors required under the proposed network.

#### b. Alternative Network Design

EPA also solicited comment on an alternative network design, including alternative methods to determine the minimum number of monitors per State (74 FR 64854). EPA requested comment on whether a screening approach for assessing the likelihood of a NAAQS exceedance could be developed and serve as a basis for determining the number and location of required monitors. In particular, EPA requested comment on whether it should utilize existing screening tools such as AERSCREEN or SCREEN3, which use parameters such as effective stack height and emissions levels to identify facilities with the potential to cause an exceedance of the proposed standard. For that set of sources, EPA could then require States to conduct more refined modeling (using the American Meteorological Society (AMS)/EPA Regulatory Model (AERMOD)) to determine locations where monitoring should be conducted. Any screening or refined modeling would likely be carried out by States by using EPA recommended models and techniques referenced by 40 CFR Part 51, Appendix W, which provides guidance on air quality modeling. Such screening or refined modeling uses facility emission tonnage, stack heights, stack diameters, emission temperatures, emission velocities, and accounts for local terrain and meteorology in determining where expected maximum hourly concentrations may occur. In using this approach, EPA would then require States to locate monitors at the point of maximum concentration around sources identified as likely causing NAAQS exceedances. EPA also noted that this alternative approach would not

distinctly use population as a factor for where monitors should be placed.

#### c. Public Comments

EPA received many comments on the proposed network design and the alternative network design approaches. Based on comments that were clear enough on the issue, EPA believes the commenters' positions on the network design approach generally fell into one of three categories: (1) Those who supported the two-prong approach, but suggested some modification to it, (2) those who supported the alternative network design, and (3) those who suggested other concepts for the network instead of the two approaches EPA presented in the proposal.

The commenters who generally supported the two-prong network design, but suggested some modification included some State and local air agencies (*e.g.* NACAA and nine other State groups or agency commenters) and industry groups (*e.g.* AQRL, ACC, and eight other commenters). Of this group, some of the State and local air agencies specifically commented on how EPA should modify one or both of the prongs of the proposed network design. Some particular individual suggestions will be addressed here and those comments not addressed here will be addressed in the response to comment document. However, one recurring suggestion from the State and local agency commenters in this group was that the network design leads to some duplicative and/or unneeded monitoring, and therefore they requested that EPA include a provision to "waive" the monitoring network design requirements in situations where minimum monitoring requirements appear duplicative or unnecessary. In particular, NACAA stated that it " \* \* \* is concerned that the two pronged approach in the proposed regulation will lead to duplicative monitoring in some areas and require monitors in areas where monitors are not needed. EPA recognizes the potential for duplicative monitoring, but the proposal does not permit the removal of duplicative monitors." This NACAA comment was echoed by some of the other States who commented on the proposed approach (*e.g.* AK, FL, IL, NC, SC, and WI). The industry commenters were also generally supportive of the two-prong approach, with some making general suggestions to modify the network design. For example, AQRL stated that the " \* \* \* network design proposal seems to provide the flexibility for States and the EPA regions to work together to arrive at the adequate monitoring network." AQRL also

suggests that "a State/local area should have the option to shutdown or relocate any site mandated [by monitoring requirements] if measured design values at the site are less than 75% of the selected standard level." Multiple industry commenters (e.g. API, LEC, and RRI Energy) expressed concern that the proposed network design had no monitoring required specifically to measure background concentrations of SO<sub>2</sub>. Dow Chemical suggested that EPA maintain some of the existing monitors that characterize population exposure and other non-source oriented sites for trends analysis.

Those commenters who did not support the proposed network design, and instead generally supported the concepts of the alternative network design, include public health and environmental groups (e.g. ALA, CBD, EDF, EJ, NRDC, and SC) and the States of Delaware and Iowa. In particular, ALA, EDF, NRDC, and SC stated " \* \* \* the proposed 348 monitors are a grossly inadequate number to detect peak concentrations from the nearly 2,000 major sources that emit more than 100 tons per year of sulfur dioxide \* \* \*" and that "it is most appropriate to use screening tools to site all the monitors in the areas of highest expected concentration \* \* \*" The Center for Biological Diversity, with regard to the proposed network design, stated that " \* \* \* a number of communities with very significant SO<sub>2</sub> emissions will not have any monitoring stations at all \* \* \*" Further, the State of Iowa claimed that "the proposed design of the SO<sub>2</sub> ambient monitoring network provides insufficient assurances that the public is protected from the health effects of SO<sub>2</sub> exposure," and suggested that " \* \* \* the final rule contain provisions that require monitors to be sited only at locations where dispersion modeling indicates that the NAAQS is violated."

Commenters also suggested other concepts for the monitoring network design in lieu of the approaches discussed in the proposal. NESCAUM, NYSDEC, and PADEP, all suggested using an emissions-only approach to trigger required monitoring instead of using the PWEI to require monitors in an area. For example, NYSDEC suggests that the proposed approach, using the PWEI, is " \* \* \* not more predictive than using emissions data alone." NYSDEC went on to recommend that monitors be required in CBSAs with aggregated emissions of 50,000 tons per year or more and that ambient monitoring be considered for point sources with 20,000 tons per year. PADEP made several suggestions on

network design, including monitoring in any CBSA "where there is a sulfur dioxide source or combination of sources within 50 miles emitting a total of at least 20,000 tons of SO<sub>2</sub> per year \* \* \*"

Among all three groups of commenters discussed above, there was a subset of commenters who specifically mentioned using modeling in some form. Modeling was a component of the alternative network design, where monitors would be required based on screening models and possibly refined modeling of individual sources. EPA also expected that under the proposed approach, many States would use modeling as a quantitative analysis tool to site required monitors. Finally, source modeling is a critical element for PSD and facility permitting. In their comments, NESCAUM recommended that EPA allow modeling to be used in conjunction with monitoring data to better determine nonattainment areas. North Carolina advocated that EPA require SO<sub>2</sub> sources, without specifying a threshold size for sources, to perform modeling to demonstrate that fence-line (ambient) air does not exceed the NAAQS due to that particular source's emissions. North Carolina went on to suggest that if a source's modeling showed an exceedance of the NAAQS, the source could "then be required to reduce emissions from the stack, install continuous emissions monitoring (CEM) in the stack itself, or require a fence-line monitor at the target facility." North Carolina also stated, in the context of discussing its own PSD program, that "the costs for modeling are small compared to the costs for monitoring." Sierra Club stated that EPA should " \* \* \* employ modern computer models to determine whether areas should be designated nonattainment because they do not meet the NAAQS in areas where there is no monitor." From these comments, EPA gathers that some public commenters find modeling a useful tool and support the use of modeling to ascertain ambient concentrations of SO<sub>2</sub>.

## 2. Modeling Ambient SO<sub>2</sub> Concentrations

EPA considered the various and sometimes competing concerns raised by the commenters including duplicative monitoring, lack of adequate number of monitors, insufficient flexibility, the monitoring burden, and the modeling suggestions. EPA considered its historic practice and the analytic tools available to arrive at a balanced approach that took into account these concerns. In the past, EPA used a combination of modeling and

monitoring for SO<sub>2</sub> during permitting, designations, and re-designations in recognition of the fact that a single monitoring site is generally not adequate to fully characterize ambient concentrations, including the maximum ground level concentrations, which exist around stationary SO<sub>2</sub> sources. With representative and appropriate meteorological and other input data, refined dispersion models are able to characterize air quality impacts from the modeled sources across the domain of interest on an hourly basis with a high degree of spatial resolution, overcoming the limitations of an approach based solely on monitoring. By simulating plume dispersion on an hourly basis across a grid of receptor locations, dispersion models are able to estimate the detailed spatial gradients of ambient concentrations resulting from SO<sub>2</sub> emission sources across a full range of meteorological and source operating conditions. The 1-hour NAAQS is intended to provide protection against short-term (5 minute to 24 hour) peak exposures, whether they result from typical meteorological conditions or not. Because ambient monitors are in fixed locations and a single monitor can only represent impacts which occur at the location of the monitor, a single monitor cannot identify all instances of peak ground-level concentrations if, for example, different wind directions on various days cause peak ground-level concentrations in different areas that do not overlap. The uncertainty associated with this limitation is much higher for an hourly standard than a long-term standard due to the higher degree of spatial and temporal variability associated with peak hourly impacts (discussed in ISA chapters 2.4 and 2.5). This limitation of ambient monitoring may be true even if the source-oriented ambient monitor was sited with the aid of modeling data, since the model is less reliable at predicting the precise location of maximum impacts than at predicting the distribution of impacts across the full modeling domain, and no single monitor can be sited in a way to always measure the peak ground-level SO<sub>2</sub> concentrations that may be occurring in the area around a source.

EPA's *Guideline on Air Quality Models*, Appendix W to 40 CFR Part 51, provides recommendations on modeling techniques and guidance for estimating pollutant concentrations in order to assess control strategies and determine emission limits. These recommendations were originally published in April 1978 and were incorporated by reference in the PSD regulations, 40 CFR sections 51.166 and



52.21 in June 1978 (43 FR 26382). The purpose of Appendix is to promote consistency in the use of modeling within the air quality management process. Appendix W is periodically revised to ensure that new model developments or expanded regulatory requirements are incorporated. The most recent revision to Appendix W was published on November 9, 2005 (70 FR 68218), wherein EPA adopted AERMOD as the preferred dispersion model for a wide range of regulatory applications in all types of terrain. AERMOD is a steady-state plume dispersion model that employs hourly sequential preprocessed meteorological data to simulate transport and dispersion from multiple point, area, or volume sources for averaging times from one hour to multiple years, based on an advanced characterization of the atmospheric boundary layer. AERMOD also accounts for building wake effects (*i.e.*, downwash) on plume dispersion. To support the promulgation of AERMOD as the preferred model for near-field dispersion (50 km or less), EPA evaluated the performance of the model across a total of 17 field study data bases (Perry, *et al.*, 2005; EPA, 2003), including several field studies based on model-to-monitor comparisons of SO<sub>2</sub> concentrations from operating power plants.

EPA anticipates that additional guidance for States may be needed to clarify how to conduct dispersion modeling under Appendix W to support the implementation of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. Although AERMOD is identified as the preferred model under Appendix W for a wide range of applications and will be appropriate for most modeling applications to support the new SO<sub>2</sub> NAAQS, Appendix W allows flexibility to consider the use of alternative models on a case-by-case basis when an adequate demonstration can be made that the alternative model performs better than, or is more appropriate than, the preferred model for a particular application.

In conclusion, EPA believes that a hybrid analytic approach that uses a combination of modeling and monitoring information addresses the varying and competing concerns expressed by the commenters. Modeling large emission sources, along with smaller sources with the potential to violate the NAAQS, deals effectively with the concern that the monitoring network is not large enough to account for all sources that could have high ambient SO<sub>2</sub> concentrations. EPA believes that more SO<sub>2</sub> sources will ultimately be directly addressed through modeling alone versus the number of

sources which would have been monitored under the proposed network design (which proposed a minimum of 348 monitors). Because modeling provides a technically appropriate and efficient method to identify locations of maximum concentrations attributable to the major stationary SO<sub>2</sub> sources, in the final network design (discussed below in section IV.B.4), EPA is not requiring that monitors must be in locations of expected maximum concentration, and thus, typically source-oriented. Instead, monitors required under the final network design now can address multiple monitoring objectives (discussed in IV.B.3 below), with fewer number of monitors required overall than the number estimated in the proposal. The flexibility that States now have, where relatively fewer required monitors may be sited to meet multiple objectives, effectively addresses concerns about duplicative monitoring and the need for waivers, the need for measuring background concentrations, and that emissions data rather than the PWEI could be more predictive of high ambient SO<sub>2</sub> concentrations as a basis on which to require monitoring. The comments that suggested the use of modeling, along with an examination of past practice, resulted in the change to a hybrid approach where we use both modeling and monitoring to assess ambient SO<sub>2</sub> concentrations.

### 3. Monitoring Objectives

Because EPA contemplates an ultimate approach that combines both monitoring and modeling, the monitor objectives of the final network design are now broadened to include assessment of source impacts, highest concentration, population exposure, general background concentrations, SO<sub>2</sub> transport, and long-term trends. The following paragraphs provide background, rationale, and details for the final changes to monitoring objectives.

#### a. Proposed Monitoring Objectives

EPA proposed that all minimally required monitoring sites in the proposed two-prong network design be sited at locations of expected maximum 1-hour concentrations, which would also likely discern 5-minute peaks. EPA noted that in general, such locations would be close to larger emitting sources (in tons per year) and/or areas of relatively high emissions densities where multiple sources may be contributing to peak ground-level concentrations. As a result, the proposed monitoring network would have been comprised primarily of source-oriented monitors. EPA also

proposed that when selecting monitoring sites from among a pool of candidate locations (which would be source-oriented under the proposed network design), States prioritize these sites based on where the maximum expected hourly concentrations would occur in greater proximity to populations. EPA solicited general comments on the role of population exposure in the site selection process.

#### b. Public Comments

Commenters discussed a variety of issues on the subject of monitoring objectives including the importance of considering population exposure, the need for flexibility in monitor placement, monitoring for background concentrations, monitoring for long term trends analysis, and characterizing potential long-range transport of SO<sub>2</sub>.

EPA received many comments from States (*e.g.*, NACAA, DE, IL, IN, MO, SD, WI), the public health group ATS, and industry (*e.g.*, AQRL, Consumers Energy, Dominion, Dow, EPRI, ExxonMobil, Montana Sulfur and Chemical, NPRA, Portland Cement, Rio Tinto, and UARG) suggesting that required monitors account for, or be focused on, population exposure. EPA also received many comments from States (*e.g.*, NACAA, NESCAUM, FL, IL, IN, IA, MI, OH, SC, and WI) and industry (*e.g.*, API, Dow, and TxOGA) asking for more flexibility in (source-oriented) monitor placement with regard to both the target source and the physical location of a monitor relative to that source. For example NACAA stated that "for source oriented monitors, placement at the point of 1-hour maximum concentration must be realistic and flexible. EPA must allow agencies to determine the most scientifically defensible location, while taking into account potential exposures and access to locations with adequate siting." Wisconsin stated that "\* \* \* monitor siting should be balanced toward population-based monitors with a preference toward maximum exposure." Wisconsin added that "\* \* \* placing monitors at the maximum downwind location does not necessarily result in effective protection of public health."

EPA received a number of comments on background monitoring<sup>27</sup> from industry (API, LEC, and RRI Energy) and from the State of South Carolina. API stated that "because the monitors provide background concentrations

<sup>27</sup> Background monitoring can be considered to be representative of ambient concentrations upwind of (and therefore not typically influenced by) a geographic area such as an urban area, or of an individual or group of emission sources.

needed to model impacts of new sources or sources undergoing major modification in addition to providing data for judging compliance with the NAAQS, it is important that some monitors be sited in a manner suitable for assessing this background." API went on to state that " \* \* \* EPA should encourage States to site an appropriate number of area-wide monitors for use in establishing ambient background levels of SO<sub>2</sub>." South Carolina states that "to better support the monitoring objectives, in particular those improving our understanding and context for the source oriented monitoring data, the monitoring requirements must include the ability for States to address the needs for area and regional background concentration measurements."

A number of commenters, including States (e.g., Missouri, NESCAUM, Ohio, and South Carolina), citizens (Valley Watch at the Atlanta public hearing), the CBD, and Dow, commented on SO<sub>2</sub> transport and related cross-boundary monitoring. Dow stated that "SO<sub>2</sub> distribution has long been known as an interstate issue with the vast majority of SO<sub>2</sub> sources being power plants and other fossil fuel combustion facilities. These facilities are more likely to impact distant areas than local areas and the resultant ground-level concentrations are often minimal." Ohio stated that, under the proposed approach, " \* \* \* it is likely that OH, WV, KY, and IN will find sources along the Ohio River which could result in monitors being located across the river from each other." In such situations, Ohio asserts that "States are capable of working with our neighbors to determine which State would be in the best position to site and operate a monitor."

#### c. Conclusions on Monitoring Objectives

A hybrid analytical approach, as noted above in section III and IV.B.1 would ultimately make the most appropriate use of available tools such as modeling and monitoring. Thus, unlike under the proposal, the monitoring network will not have to be focused solely at locations of expected maximum concentration relative to an SO<sub>2</sub> source given the anticipated adoption of a hybrid analytical approach. The final network design is intended to be flexible to meet multiple monitoring objectives, most of which were identified in the public comments. Ambient monitoring networks are generally designed to meet three primary monitoring objectives, as listed in 40 CFR Part 58 Appendix D, Section 1, including: (1) Providing air pollution data to the general public in a timely

manner, (2) support compliance with ambient air quality standards and emissions strategy development, and (3) support air pollution research studies (which includes health studies and research). In order to support these air quality management objectives, monitoring networks can have a variety of monitoring sites that can be sited, as necessary, to characterize (a) emission sources (i.e., source-oriented monitoring), (b) the highest concentration in an area, (c) population exposure, (d) general background concentrations, (e) regional transport, and (f) welfare-based impact.

In light of the approach described in section III and further in IV.B.1 above, EPA is finalizing an SO<sub>2</sub> network design, with broadened objectives, which EPA believes will address the concerns noted in the public comments above, particularly those regarding siting flexibility, population exposure, cross-boundary impacts, and the need for the network to address multiple monitoring objectives. The final network design requires that any SO<sub>2</sub> monitors required in a particular CBSA as determined based on PWEI values, discussed below in section IV.B.4, shall satisfy the minimum monitoring requirements if they are sited at locations where they can meet any one or more of the following objectives (see Part 58 Appendix D section 4.4.2 as added by today's final rule):

(1) *Source-Oriented Monitoring*: This is accomplished with a monitor sited to determine the impact of significant sources or source categories on air quality. In some situations, such monitoring sites may also be classified as high concentration sites (discussed below). Examples of source-oriented monitors include those sited to capture or assess peak ground-level concentrations from one or more major SO<sub>2</sub> sources, or those sited in an area with multiple smaller sources with overlapping plumes.

(2) *Highest Concentration*: This is assessed by a monitor sited to measure the highest concentrations expected to occur in the area covered by the network. Such a location may, or may not, also be considered a source-oriented location (discussed above). Depending on the case, this location is representative of the highest concentration occurring across a relatively homogeneous area with spatial scales typically ranging from tens of meters up to four kilometers.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Spatial scales are defined in 40 CFR Part 58 Appendix D, section 1. Each scale is a description of the physical dimensions of an air parcel nearest a monitoring site throughout which pollutant concentrations are reasonably similar.

(3) *Population Exposure*: This is assessed by a monitor sited to measure typical concentrations in areas of (relatively) high population density. Some examples are a monitor placed in an area of elevated or high SO<sub>2</sub> concentrations that also has a high population density, an area that might be included in public health studies, or in areas with vulnerable and susceptible populations.

(4) *General Background*: This is assessed by placing a monitor in an area to determine general background concentrations. Such locations might be considered to be representative of ambient concentrations upwind of (and therefore not typically influenced by) a geographic area such as an urban area, or of an individual or group of emission sources. EPA notes that although a required monitor is allowed to be sited to assess background concentrations, the required monitor is not allowed to be sited outside of the parent CBSA (whose PWEI value triggered required monitoring, discussed in section IV.B.4 and IV.B.5). If a State believes that there is a need to conduct background monitoring outside of CBSAs with required monitoring, EPA notes that States always have the prerogative to conduct monitoring above the minimum requirements in any location the State believes is appropriate.

(5) *Regional Transport*: This is assessed by placing a monitor in a location to determine the extent of regional pollutant transport. Such locations could be either upwind or downwind of urban areas, characterizing the entry or exit of the pollutant in a region, respectively. EPA notes that although a required monitor is allowed to be sited to assess regional transport, the required monitor is not allowed to be sited outside of the parent CBSA (whose PWEI value triggered required monitoring, discussed in section IV.B.4 and IV.B.5). If a State believes that there is a need to conduct background monitoring outside of CBSAs with required monitoring, EPA notes that States always have the prerogative to conduct monitoring above the minimum requirements in any location the State believes is appropriate.

In regard to the public comments expressing concerns on the issue of cross-boundary transport, i.e., a source on one side of a political boundary contributes to peak ground-level concentrations on the other side of that boundary, EPA will allow a required monitor to be placed outside of the parent CBSA (whose PWEI value triggered monitoring, discussed in section IV.B.4 and IV.B.5) under one



particular condition. A source-oriented monitor may be sited outside of the parent CBSA, whose PWEI value triggered required monitoring, if that monitor is characterizing the location of expected maximum concentration of a source inside that parent CBSA. If a State chooses to exercise this flexibility in source-oriented monitor siting, the State must provide clear rationale for their choice in their annual monitoring plan, which is subject to EPA regional approval. If the source-oriented monitor is to be placed in another State, such as the example provided by the State of Ohio in the public comments above, the two States are responsible for collaboration on the location and operation of that monitoring site.

Further, due to the broadened objectives of the final network design, EPA also is finalizing the provision that an NCore SO<sub>2</sub> monitor within a CBSA (where a CBSA's PWEI value triggered required monitoring) can be counted towards meeting the minimum monitoring requirements in this rulemaking (discussed in section IV.B.4) because they can meet some of the expanded objectives of the network. NCore sites are intended to provide long-term data for air quality trends analysis, model evaluation, and, for urban sites, tracking metropolitan air quality statistics, and therefore are appropriate to allow to count towards minimum monitoring requirements under the revised monitoring scheme.

Finally, EPA strongly encourages State and local air agencies to consider using required monitoring, as appropriate, to characterize those sources which are not as conducive to dispersion modeling and to assess population exposure. Sources that are not conducive to dispersion modeling include (1) sources classified as non-point sources (a.k.a. "area-sources") such as shipping ports, (2) a source situated in an area of complex terrain and/or situated in a complex meteorological regime, and (3) locations that have multiple, relatively small sources with overlapping plumes.

#### 4. Final Monitoring Network Design

The use of a hybrid analytic approach (discussed above in section III and IV.B.1) makes it unnecessary for the final monitoring network design to be distinctly focused on monitoring locations of expected maximum concentration (and thus be primarily source-oriented), as discussed in section IV.B.3 above. Instead, with the dual use of modeling and monitoring for designations, the final monitoring network is designed to provide flexibility for required monitors to

address the multiple monitoring objectives just discussed in the preceding section. This flexibility in monitoring objectives is in response, in part, to the many public comments received from States (*e.g.*, NACAA and six other States), industry (API, EPRI, UARG, and eight other groups), and from the American Thoracic Society (ATS), urging EPA to ensure that some or all of the required monitors be sited and suited to characterize population exposure and, from many of these same commenters, to allow flexibility in implementing the siting requirements for the monitors. Under a hybrid approach, and the different monitoring objectives resulting thereof, the final monitoring network design also does not need to be a two-prong approach like the one proposed. Therefore, EPA is adopting a modified version of the first prong of the proposed network design, which will use PWEI values to require monitors in certain CBSAs where there is increased coincidence of population and SO<sub>2</sub> emissions. There is no second prong in the final network design by which monitors are required based on a State's individual contribution to the national anthropogenic SO<sub>2</sub> inventory, as was proposed.

The final monitoring network design requires monitoring in CBSAs based on calculated PWEI values, where a PWEI shall be calculated (as discussed in section IV.B.5 below) for each CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 1,000,000, a minimum of three SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. This requirement remains the same as proposed. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 100,000, but less than 1,000,000, a minimum of two SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 5,000, but less than 100,000, a minimum of one SO<sub>2</sub> monitor is required within that CBSA. EPA has adjusted the thresholds for requiring one or two monitors in a CBSA and the rationale for this adjustment is explained more fully below in section IV.B.5. As just explained in section III.B.3, these monitors shall be sited to meet one or more of a number of monitoring site objectives, including the assessment of source impacts, highest concentrations, population exposure, general background, and regional transport. EPA believes that the monitors required within these PWEI breakpoints provide a reasonable minimum number of monitors in a CBSA, where there is a relatively increased coincidence of

population and SO<sub>2</sub> emissions and therefore increased potential for exposures, because we are directly accounting for both population and emissions that exist in individual CBSAs.<sup>29</sup> EPA estimates that these minimum monitoring criteria (based on 2008 population and 2005 NEI data) require 163 monitors within 131 CBSAs. EPA also intends for SO<sub>2</sub> monitors at NCore stations to satisfy these minimum monitoring requirements. Based on analysis of proposed and approved NCore sites (as of April 2010), all of which are scheduled to be operational no later than January 1, 2011, EPA estimates that 52 of the total 80 SO<sub>2</sub> monitors at NCore stations are within the 131 CBSAs that have required monitors based on their PWEI values. As a result, EPA estimates that between these minimum monitoring requirements and the NCore network, there will be at least 191 SO<sub>2</sub> monitors operating across the country.

#### 5. Population Weighted Emissions Index

In the proposal, EPA had introduced a metric based on population and emissions as a basis for locating monitors in the network. EPA anticipated that this metric would characterize the potential for exposure based on the proximity of source emissions to populations. The following paragraphs provide background, rationale, and details for the final changes of the calculation and use of the Population Weighted Emissions Index in determining minimum monitoring requirements.

##### a. Proposed Use of the Population Weighted Emissions Index

In the proposed network design approach, which utilized a two-prong network design, EPA created the Population Weighted Emissions Index (PWEI) in an attempt to focus monitoring resource where there was a higher proximity of population and SO<sub>2</sub> emissions. In effect, areas with higher PWEI values have higher potential for population exposure to short-term SO<sub>2</sub> emissions. EPA proposed that the PWEI be calculated using population and emissions inventory data at the Core Based Statistical Area (CBSA)<sup>30</sup> level to assign required monitoring for a given CBSA, with population and emissions being the relevant factors. To calculate the PWEI for a particular CBSA, using

<sup>29</sup> The rationale for finalizing the use of the PWEI and the number of monitors required through its application are discussed in section III.B.4.

<sup>30</sup> CBSAs are defined by the U.S. Census Bureau, and are comprised of both Metropolitan Statistical Areas and Micropolitan Statistical Areas (<http://www.census.gov>).

result in multiple monitors in large cities that have relatively small CBSA SO<sub>2</sub> emissions, or no monitor in a CBSA with large emissions." NYSDEC suggests that the proposed approach, using the PWEI, is "not more predictive than using emissions data alone." NYSDEC went on to suggest that monitors be required in CBSAs with aggregated emissions of 50,000 tons per year or more and that ambient monitoring be considered for point sources with 20,000 tons per year. PADEP made several suggestions on network design, with one that suggested monitoring in any CBSA "where there is a sulfur dioxide source or combination of sources within 50 miles emitting a total of at least 20,000 tons of SO<sub>2</sub> per year."

EPA reviewed emissions and 2005 NEI data and compared the suggestions provided by NESCAUM and NYSDEC to the requirement of the final network design. Under NESCAUM's suggested design, EPA estimates there would be 75 required monitors in 65 CBSAs. Of these 65 CBSAs, 6 CBSAs that are not covered by the final network design would be included; however, 72 CBSAs that will have monitors under the final network design would otherwise not have monitors under NESCAUM's design. EPA believes that the exclusion of those 72 CBSAs would lead to too sparse a network to adequately meet the monitoring objectives of the network. Under NYSDEC's suggested network design, EPA estimates that there would be a minimum of 65 monitors in the same 65 CBSAs of the NESCAUM suggested design. Further, if States ensured that monitors were placed near all sources emitting 20,000 tons per year (as NYSDEC suggested should be "considered" for monitoring), there could be an additional 69 monitors.<sup>31</sup> EPA believes that the final network design as discussed above in section IV.B.4, with the increased flexibility for monitors to meet multiple monitoring objectives (discussed in IV.B.3 above) including, among others, characterization of source impacts or population exposure, is better served using PWEI values to require monitors because it explicitly accounts for population to require and distribute monitors as compared to an emissions-only approach. If there is reason for

concern that other CBSAs or areas not included in the final network design, such as the six CBSAs that were included in the NESCAUM and NYSDEC suggested network designs noted above, warrant monitoring resources, States or the EPA Regional Administrator may take action to require monitoring in such areas. The authority of an EPA Regional Administrator to require additional monitoring above the minimum requirements is discussed in section IV.B.6 below.

EPA received a number of comments from States (e.g., IA, NESCAUM, NC, NYSDEC, SC, and WI) and industry (e.g., CE, Dominion, EEI, LCA, LMOGA, LPPA, and UARG) raising concern over the way the PWEI is calculated. Specifically, many commenters in this group indicated that they believed that the 2005 NEI would be used in an exclusive or permanent fashion to calculate the PWEI, and that updated NEI data would not be used. For example, NESCAUM states that "EPA should not require States to rely solely on EPA's inventories [for calculating the PWEI], such as the National Emissions Inventory (NEI), as they do not always have the updated information that is necessary for such regulatory decisions." Wisconsin "believes that States should be allowed to use their own annual point source inventories instead of EPA's National Emissions Inventory (NEI) for evaluating emission sources. Wisconsin's point inventory is updated annually and has a reporting threshold of five tons per year for SO<sub>2</sub>, making it more sensitive to changes in facility operations than the NEI, which is updated triennially." UARG stated that their "primary concern with this network design is its reliance on old emissions data. For electric utilities which report their SO<sub>2</sub> emissions to EPA annually, the use of more recent data would be appropriate."

EPA does not intend for relatively old emissions data to be used in calculating the PWEI values for individual CBSAs. As was detailed in the proposed regulatory text for 40 CFR Part 58 Appendix D (74 FR 64880), EPA stated that "The PWEI shall be calculated by multiplying the population of each CBSA, using the most current census data, by the total amount of SO<sub>2</sub> in tons per year emitted within the CBSA area, using an aggregate of the most recent county level emissions data available in the National Emissions Inventory for each county in each CBSA." Although commenters suggested that there may be other resources from which emissions data may be obtained, particularly at the individual State level, the NEI is

comprised of emissions data which is collected by EPA from the States themselves. The Air Emissions Reporting Requirements (40 CFR Part 51), by which EPA sets out how States are to report their emission inventories, was recently revised in December of 2008. That rulemaking was intended to provide enhanced options to States for emissions data collection and exchange and unify reporting dates for various categories of inventories. EPA notes that the NEI is updated in full every three years and the 2008 NEI is scheduled to be available by January 2011. States will have submitted their data by May 31, 2010, before this rule is promulgated and published, and EPA will provide comment on these submittals during the summer of 2010. States will have an opportunity to revise their 2008 data submissions in the fall of 2010. In the triennial update, both point and nonpoint data are required to be submitted by States and are included in the inventory. Further, States are required to submit emissions data annually for all sources emitting 2,500 tons per year or more of SO<sub>2</sub> as well as for sources emitting other pollutants in excess of thresholds set for those pollutants. In all point source submittals to the NEI, States are also allowed to submit emissions data for sources of any emissions level, but are not required to do so. Starting with the 2009 NEI, the annual and triennial State NEI submittals will be due one year after the end of the emissions year. States have an additional opportunity to revise their submittals based on EPA comment in the spring of the following year, with EPA publishing the inventory no later than 6 months after the inventory submittal dates (18 months after the end of the emissions year). This approach and schedule is accelerated over past NEI schedules and has been designed as part of the development of the new Emission Inventory System (EIS). Rather than representing old emissions data, the NEI available through EIS represents a timely and appropriate source of emissions data.

EPA believes that the process by which the NEI will be updated (through use of the EIS) will be adjusted in a manner that will allow for more frequent insertion of State supplied emissions data, allowing for a more up-to-date inventory. EPA takes this opportunity to encourage States to supply all of their available emissions information to the NEI as soon as practicable. Therefore, EPA believes that the NEI is an appropriate and nationally representative source of emissions data by which PWEI calculations may be

<sup>31</sup> In simulating NYSDEC's suggested network design, EPA assumed that no CBSA would have more than one monitor. According to the 2005 NEI, there are 162 sources emitting 20,000 tpy or more a year. 93 of those sources are estimated to be inside CBSAs that have emissions of 50,000 tpy, leaving approximately 62 sources that would need a monitor to satisfy NYSDEC's suggested network design.

the latest Census Bureau estimates, the population of a CBSA must be multiplied by the total amount of SO<sub>2</sub> emissions in that CBSA. The CBSA emission value is in tons per year (using the latest available National Emissions Inventory [NEI] data), and is calculated by aggregating the county level emissions for each county in a CBSA. We then divide the resulting product of CBSA population and CBSA SO<sub>2</sub> emissions by 1,000,000 to provide a PWEI value in more manageable units of millions of people-tons per year.

With the change in the approach discussed in section III and section IV.B.1 above, and considering the final monitoring network design discussed in IV.B.4 above, the use of the PWEI from that which was proposed also changes. The following paragraphs discuss some of the public comments received on the general use and calculation of the PWEI; other comments that focused on the detailed application of the PWEI as proposed will be addressed in the response to comments document since our approach in applying the PWEI has changed.

#### b. Public Comments

EPA received a number of comments from State and local groups (e.g., NACAA and eight others) and industry (e.g., AQRL, ACC, and eight others) who generally agreed with the two-pronged network design concept which had the PWEI as a component. More specifically, some State commenters (e.g., NACAA, AK, FL, IL, NC, SC, and WI) expressed concern that the PWEI (along with the second prong of the proposed network design) created monitoring requirements that were "duplicative" and also called for monitors in areas where they were not needed. Even amongst some of the commenters who generally agreed with the PWEI concept, some provided examples of where the PWEI appeared to be duplicative in its proposed application. One example was provided by the State of Florida, "in the case of Homosassa Springs, the [proposed network design] requires two monitors [in that CBSA as a result of the proposed use of the PWEI]. The driving source is the Crystal River Power Plant, with emissions in 2008 of over 85,000 tons per year of SO<sub>2</sub>. The next largest source in the CBSA has emissions of roughly two tons per year." EPA believes that Florida is asserting that the one large source disproportionately drove the PWEI too high for that particular CBSA and only one monitor was actually needed. EPA notes that these particular comments on duplicative monitoring were made under the premise that all

proposed required monitors would be sited in locations of expected maximum concentration, and therefore would be source-oriented in nature. As a result, these commenters believed it was necessary that a waiver provision be included if they could show that the required number of monitors was too many, as in Florida's example.

As discussed in section IV.B.4 above, a hybrid approach results in a final network design with a reduced number of required monitors from the number proposed, a different application of the PWEI, and provides flexibility in meeting additional monitoring objectives for the required monitors, making the need for a waiver from the minimally required monitors unnecessary. If a CBSA is required to have multiple monitors now, those monitors are not specifically required to be located near sources where maximum concentrations of SO<sub>2</sub> are expected to occur. Instead, they can be sited at different locations to fulfill a variety of objectives, although, as noted in section IV.B.3 above, EPA is strongly encouraging States to consider monitoring near sources not conducive to dispersion modeling and for characterization of population exposures.

EPA received comments from Michigan, South Carolina, and CBD requesting clarification on the logic behind the proposed PWEI thresholds, or breakpoints, by which three, two, one, or no monitors would be required in a given CBSA. In addition, some States (e.g., MI, MO, SC, and WI) and industry (e.g., LCA, LMOGA, and LPPA) suggested specific adjustments to the proposed application of the PWEI. For example, Michigan suggested that the required monitor breakpoint values be adjusted to the "natural breakpoints in the overall distribution". South Carolina suggested EPA identify a way to normalize the PWEI stating the PWEI would be more appropriate "\* \* \* if it used a value that better addressed difference in area, population distribution, land use, number, types of sources, etc."

In the proposed network design, EPA selected the PWEI values, or breakpoints, to require one or more monitors based on the overall distribution of PWEI values across all CBSAs. Based on U.S. Census Bureau data (<http://www.census.gov>), there are approximately 939 CBSAs in the country. EPA proposed and now requires that a PWEI value be calculated for each of these CBSAs to determine if monitoring is required in that CBSA. Based on 2008 census estimates and the 2005 NEI, the average CBSA PWEI value

is 21,900 while the median value is only 121. This indicates that a relatively small number of CBSAs with high PWEI values are driving the very upper end of the PWEI distribution. The proposed breakpoint where one monitor was required in a CBSA was a PWEI value of 5,000. EPA estimated that 131 out of 939 CBSAs (~14%) have a PWEI value of 5,000 or more. Further, these 131 CBSAs occupy ~98% of the sum of PWEI values across all 939 CBSAs, where high PWEI values indicate increased coincidence in population and SO<sub>2</sub> emissions. Within this group of CBSAs with PWEI values of 5,000 or more, EPA considered the relative amounts of population, emissions, and general frequency of occurrence of relatively larger SO<sub>2</sub> sources (such as those that emit 100 tons per year or more) in selecting the breakpoints to require two and three monitors in a CBSA for the proposed network design. These considerations were made in an effort to apply a nationally applicable process by which to require a minimum number of monitors for an area, which all were to be sited in locations of expected maximum concentration, and therefore likely source-oriented monitors. In regard to the comments suggesting modification to the calculation or to normalize the PWEI, EPA believes that the proposed calculation, under a hybrid analytical approach, is still most appropriate. Under a hybrid analytical approach, States have the flexibility to move monitoring resources where needed within CBSAs that have a high coincidence of population and emissions instead of only being able to site monitors to characterize sources. States have the option to consider additional factors such as those listed in South Carolina's comments above in further identifying where required monitoring may be most appropriate in their areas with required monitoring.

Several States (e.g., NESCAUM, NYSDEC, and PADEP) suggested abandoning the PWEI concept altogether and instead using some form of emissions-only approach to require monitors. For example, NESCAUM, who generally supported a "hot-spot" monitoring approach, suggested that the PWEI be abandoned and EPA instead "\* \* \* adopt an emissions-only approach, resulting in fewer CBSA monitors. We [NESCAUM] suggest a threshold of 50,000 tpy CBSA SO<sub>2</sub> emissions to trigger the first CBSA monitor and a second CBSA monitor required when emissions exceed 200,000 tpy." NESCAUM states that the proposed use of the PWEI "\* \* \* can

made. PWEI calculations for all CBSAs will use the same year of data at any given time, and States, local agencies, and Tribes will have uniform opportunity for revising their emissions data for this purpose. EPA again encourages States to view the NEI submittals as their opportunity to submit their best available SO<sub>2</sub> and other inventory data with the knowledge that it will be used for the purpose of PWEI values.

#### c. Conclusions on the Use of the Population Weighted Emissions Index

In the final network design, EPA has determined that it is appropriate to use PWEI values as the mechanism by which to require monitors in certain CBSAs, similar to its use in the first prong of the proposed two-prong network design. EPA believes that using the PWEI metric to inform where monitoring is required is more appropriate for the SO<sub>2</sub> network design than utilizing a population-only or emissions-only type of approach, because it takes into account not just one factor, *i.e.*, only population or only emissions, but instead takes into account the exposure from SO<sub>2</sub> emissions to groups of people who are in greater proximity to such emissions.

In the final rule, EPA is retaining the requirement to calculate the PWEI by multiplying the population of each CBSA, using the most current census data/estimates from the U.S. Census bureau, by the total amount of SO<sub>2</sub> in tons per year emitted within the CBSA area, using an aggregate of county level emissions data available in the most recent published version of the National Emissions Inventory for each county in each CBSA. The resulting product shall be divided by one million, providing a PWEI value, the units of which are million persons-tons per year. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 1,000,000, a minimum of three SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 100,000, but less than 1,000,000, a minimum of two SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 5,000, but less than 100,000, a minimum of one SO<sub>2</sub> monitor is required within that CBSA. EPA believes that the monitors required within these breakpoints provide a reasonable minimum number of monitors in a CBSA that considers the combination of population and emissions that exist in a CBSA. These criteria (based on 2008 population and 2005 NEI data) are estimated to require 163 monitors within 131 CBSAs.

EPA has changed the PWEI breakpoint in the final rule at which two monitors are required in a CBSA to 100,000 from the breakpoint of 10,000 in the proposed network design based on multiple considerations. First, EPA changed the breakpoint because of a hybrid analytic approach and attendant changes in monitoring objectives (*see* section IV.B.3), with the result being that the monitoring network is no longer intended to be comprised primarily of source-oriented monitors that are sited at locations of expected maximum concentration. This change in objective of the network design allows fewer monitors to provide the necessary amount of ambient monitoring data EPA to meet the multiple monitoring objectives. Second, the breakpoint of 100,000 occurs near a "natural" breakpoint in the PWEI distribution, a consideration that Michigan suggested, where the estimated 28 CBSAs with PWEI values of 100,000 or more occupy ~87% of the sum of PWEI values across all 939 CBSAs. Finally, EPA considered commenters' assertion that the first prong of the proposed network design created duplicative monitoring in certain CBSAs. This duplicative monitoring is especially recognized in some CBSAs with relatively small populations and somewhat large emissions which are dominated by a single source (such as the Homosassa Springs, FL example discussed above). Raising the second breakpoint helps to alleviate some of the duplicative monitoring that many of the State commenters noted.

EPA therefore is keeping the first and third breakpoints, which require one monitor in a CBSA having a PWEI value of 5,000 and three monitors in a CBSA having a PWEI value of 1,000,000. EPA believes maintaining these breakpoints along with the revised 100,000 PWEI breakpoint, will (1) ensure that highly populated areas will be monitored for ambient SO<sub>2</sub> concentrations even if the emissions in that area are moderate, which is appropriate given the fact that the greater population creates increased potential for exposure to those moderate emissions, and (2) that those areas with higher emissions or emission densities, with moderate or modest populations will be monitored because those increased emissions are likely to have a significant impact on nearby populations.

#### 6. Regional Administrator Authority

The following paragraphs provide background, rationale, and details for the final changes to Regional Administrator authority to use discretion in requiring additional SO<sub>2</sub>

monitors beyond the minimum network requirements.

##### a. Proposed Regional Administrator Authority

EPA proposed that the Regional Administrators will have discretion to require monitoring above the minimum requirements, as necessary, to address situations where the minimum monitoring requirements are not sufficient to meet monitoring objectives. EPA recognized that the minimum required monitors in the proposed two-pronged network design were based on indicators that may not have always provided spatial coverage for all the areas that have SO<sub>2</sub> sources. Although the network design and the objectives of the network design have changed from those that were proposed because of our contemplated use of a hybrid analytical approach, EPA believes it is still important for Regional Administrators to have the discretion, and authority, to require monitoring above the minimum requirements. Providing the RAs with this discretion will allow them to fill any identified gaps in meeting the monitoring objectives of the network.

##### b. Public Comments

Some commenters (*e.g.*, LCA, LMOGA, LPPA, and South Carolina) expressed concerns with the proposed provision authorizing the Regional Administrator to require additional monitoring above the minimum requirements. The LCA, LMOGA, and LPPA stated that "the EPA's proposal to allow the Regional Administrator discretion to require a State to add additional monitors is flawed in that it provides unfettered discretion. Criteria should be added \* \* \* that limit such discretion and require the Regional Administrator to consider certain objective factors when determining whether to require any additional ambient SO<sub>2</sub> monitors to the network." South Carolina stated that "the Regional Administrators should not have the discretion to require monitoring above the requirements described in [the proposal for] Part 58 and its Appendices. State monitoring organizations must be given discretion to decide the appropriate use of resources to meet uniform monitoring requirements. Additional monitoring requirements should not be imposed without concurrence of the monitoring organization and additional funding that completely supports the additional costs."

### c. Conclusions on Regional Administrator Authority

The authority of Regional Administrators to require additional monitoring above the minimum required is not unique to the SO<sub>2</sub> NAAQS. For example, Regional Administrators have the authority to use their discretion to require additional NO<sub>2</sub> or Pb monitors (40 CFR Part 58 Appendix D section 4.3.4 and 4.5, respectively) and to work with State and local air agencies in designing and/or maintaining an appropriate ozone monitoring network (40 CFR Part 58 Appendix D section 4.1). EPA believes that the nationally applicable final network design, although somewhat dictated by local factors (population and emissions), may not account for all locations where monitors should be sited, including where potentially high concentrations of SO<sub>2</sub> may be occurring. Examples include locations that have the potential to violate or contribute to violations of the NAAQS, areas that might have high concentrations of SO<sub>2</sub> that are not characterized by modeling or have sources that are not conducive to modeling, and locations with susceptible and vulnerable populations. As a result, EPA believes it is important for Regional Administrators to have the authority to address possible gaps in the minimally required monitoring network, especially near sources or areas that are not conducive to modeling by granting them authority to require monitoring above the minimum requirements. However, in response to public comments, EPA notes that Regional Administrators would use this authority in collaboration with State agencies to design and/or maintain the most appropriate SO<sub>2</sub> monitoring network to meet the needs of a given area. For all the situations where the Regional Administrators may require additional monitoring, it is expected that the Regional Administrators will work on a case-by-case basis with State or local air agencies. Further, any monitor required through the Regional Administrator and selected by the State agency, or any new monitor proposed by the State itself, is not done so with unfettered discretion, since any such action would be included in the Annual Monitoring Network Plan per § 58.10, which must be made available for public inspection or comment, and approval by the EPA Regional Administrator.

Therefore, EPA is finalizing the proposal that Regional Administrators may use their authority to require monitoring above the minimum requirements, as necessary, in any area, to address situations where the

minimally required monitoring network is not sufficient to meet monitoring objectives. In all cases in which a Regional Administrator may consider the need for additional monitoring, it is expected that the Regional Administrators will work with the State or local air agencies to evaluate evidence or needs to determine if a particular area may warrant additional monitoring.

### 7. Monitoring Network Implementation

The following paragraphs provide background, rationale, and details for the final approach for the monitoring network implementation.

#### a. Proposed Monitoring Network Implementation

EPA proposed that State and, where appropriate, local air monitoring agencies submit a plan for deploying SO<sub>2</sub> monitors in accordance with the proposed requirements discussed above by July 1, 2011. EPA also proposed that the SO<sub>2</sub> network be physically established no later than January 1, 2013. EPA also proposed that the number of sites required to operate as a result of the Population Weighted Emissions Index (PWEI) values calculated for each CBSA be reviewed and revised for each CBSA through the 5-year network assessment cycle required in § 58.10.

#### b. Public Comments

EPA received comments from the ALA, EDF, NRDC, and SC that supported “\* \* \* a more accelerated deployment of new monitoring than the 2013 target date proposed by EPA. The sooner monitors are in place, the sooner the public will experience the health benefits of the new standard.” However, EPA received comment from States (e.g., IA, MI, NC, SC and WI), industry (e.g., LCA, LMOGA, and LPPA) and public health and environmental groups (e.g., ALA, EDF, NRDC, and SC) expressing concern with the proposed deployment schedule of the proposed SO<sub>2</sub> network in that it was too fast or needed to be phased in. The States of Iowa, South Carolina, and Wisconsin suggested that EPA allow the proposed network to deploy on a phased schedule. For example, South Carolina recommended a “phased implementation with largest source/highest probability population exposure areas designated for implementation in 2013 (some proportion of the highest PWEI monitors) and establishment of the remaining PWEI and the State level emissions triggered monitoring required the following year.” Meanwhile, the States of Michigan and North Carolina,

along with the industry commenters LCA, LMOGA, and LPPA, suggested EPA reconsider implementation dates in light of the multiple rulemakings that impose mandates on States that have and will be occurring in the future. For example, North Carolina stated that “EPA must keep in mind that it is simultaneously revising numerous ambient standards and associated monitoring requirements. EPA seems to view each of these proposals as independent actions; but the State and local agencies must consider the cumulative impact of EPA’s various regulatory actions on their ability to comply.” North Carolina goes on to say that “EPA must allow States the flexibility to prioritize among the new requirements to get community based monitors in place first and to establish the others as funding and personnel resources allow.”

EPA believes that with the use of a hybrid analytical approach, the concerns raised by States and industry commenters suggesting a phased or delayed implementation are addressed because the final network minimum design requirements result in fewer monitors being required than in the proposed network design. EPA’s analysis of the existing network had indicated that a substantial number of monitors were not sited at locations of maximum concentrations. These monitors would have had to be relocated to count towards minimum monitoring requirements under the proposed monitoring-focused approach. Under a combined modeling and monitoring approach, the required monitors can be used to satisfy multiple monitoring objectives and therefore, many of the monitors in the existing network will satisfy the requirements in the final network design, eliminating any need for a phased or delayed network implementation. In regard to the suggestion by public health and environmental groups to speed up implementation, EPA notes that under a hybrid analytical approach much of the existing network will fulfill minimum monitoring requirements, and an accelerated schedule is not necessary; the network implementation date provides a balance between ensuring the minimally required network is fully in place in a reasonable amount of time and providing States adequate time to fulfill all the requirements in this rulemaking.<sup>32</sup>

EPA received comment on the frequency by which the minimally

<sup>32</sup> Moreover, as explained in section IV.A, the existing FEM monitors in operation may continue to be used to monitor compliance with the NAAQS.

required network will be reviewed and possibly adjusted based on updated population and emissions inventories. The State commenters listed above, and some others including NACAA, indicated that they believed that the proposal for reviewing the SO<sub>2</sub> network every five years was intended to be a separate review from the required 5-year network assessments required in § 58.10(d). NACAA stated "EPA proposes that the SO<sub>2</sub> monitoring network be evaluated every five years. This is an unnecessary duplication of effort in light of the current requirements for the annual network plan and five year network review." NACAA went on to say that "the current requirements [in § 58.10] should be regarded as the primary source of monitoring network information for all NAAQS pollutant monitoring, regardless of the pollutant."

EPA concurs with NACAA's statements that the existing requirements for network assessment are an appropriate primary source of monitoring network information. In the proposal, EPA did not intend for a required 5-year review of the SO<sub>2</sub> network to be an additional effort on top of the existing required network assessments but instead to be included as part of the 5-year assessment in § 58.10(d). EPA notes that CBSA populations and emissions inventories change over time, suggesting a need for periodic review of the monitoring network. At the same time, EPA recognizes the advantages of a stable monitoring network. However, after considering comments, EPA is not finalizing the proposed language for 40 CFR Part 58 Appendix D, section 4.4.3(2) which simply referenced back to § 58.10. This proposed text it is not needed and appears to simply cause confusion. EPA asserts that the existing requirements in § 58.10 provide a sufficient and appropriate mechanism for network updates and assessment.

#### c. Conclusions on Monitoring Network Implementation

Based on the public comments, and due to the contemplated use of a hybrid analytical approach, EPA is finalizing, as was proposed, that State and, where appropriate, local air monitoring agencies submit a plan for deploying SO<sub>2</sub> monitors in accordance with the proposed requirements presented below by July 1, 2011. Minimally required SO<sub>2</sub> monitors shall be physically established no later than January 1, 2013.

#### C. Data Reporting

The following paragraphs provide background, rationale, and details for monitor data reporting requirements.

##### a. Proposed Data Reporting

Controlled human exposure studies indicate that exposures to peaks of SO<sub>2</sub> on the order of 5 to 10 minutes result in moderate or greater decrements in lung function and/or respiratory symptoms in exercising asthmatics (section II.B.1 above, ISA section 5.2, REA section 7.2.3, and REA section 10.3.3.2). As a result, the 1-hour standard is intended to protect against short term exposures, including exposures on the order of 5 minutes up to 24 hours, as is discussed in section II.F.2 above. Therefore, in support of the revised NAAQS and its intent, EPA proposed that State and local agencies shall report to AQS the maximum 5-minute block average of the twelve 5-minute block averages of SO<sub>2</sub> for each hour. This 5-minute block reporting requirement is in addition to the existing requirement to report the 1-hour average. In addition, EPA solicited comment on the advantages and disadvantages (including associated resource burdens) of alternatively requiring State and local agencies to report all twelve 5-minute SO<sub>2</sub> values for each hour or the maximum 5-minute concentration in an hour based on a moving 5-minute averaging period rather than time block averaging.

EPA also proposed Data Quality Objectives (DQOs) for the SO<sub>2</sub> network. DQOs generally specify the tolerable levels for potential decision error used as a basis for establishing the quality and quantity of data needed to support the objectives of the monitors. EPA proposed the goal for acceptable measurement uncertainty for SO<sub>2</sub> methods to be defined as an upper 90 percent confidence limit for the coefficient of variation (CV) of 15 percent for precision and as an upper 95 percent confidence limit for the absolute bias of 15 percent for bias.

##### b. Public Comments

EPA received many comments on the reporting of 5-minute data values. The comments generally fell into one of the following categories:<sup>33</sup> (1) Those State, public health, and environmental groups who supported the proposed requirement to report the maximum 5-minute block average of the twelve 5-minute block averages of SO<sub>2</sub> for each hour (e.g., Missouri, NESCAUM, North Carolina, ALA, EJ, EDF, NRDC, and SC),

<sup>33</sup> Note that some commenters supported more than one form of reported 5-minute data.

(2) those State, public health, and environmental groups who supported the reporting of all twelve 5-minute averages of each hour (e.g., Kentucky, NYSDEC, AQRL, ALA, ATS, CBD, EJ, EDF, NRDC, and SC), (3) those State, public health, and environmental groups who supported reporting the maximum 5-minute concentration in an hour based on a moving 5-minute average (e.g., South Dakota, ALA, CBD, EJ, EDF, NRDC, and SC), and (4) those State and industry groups who did not support the reporting of any 5-minute data (e.g., Iowa, South Carolina, LEC, and RRI Energy).

Public health and environmental groups (e.g. ALA, CBD, EJ, EDF, NRDC, and SC) supported an approach where 5-minute data must be reported. However, these commenters were flexible in their position and supported multiple forms or types of 5-minute data reporting. The ALA, EJ, EDF, NRDC, and SC stated that "we support the proposed requirement for State and local monitoring agencies to report both hourly average and maximum 5-minute averages out of the twelve 5-minute block averages of SO<sub>2</sub> for each hour." They also expressed a preference for alternative 5-minute data reporting stating that they "strongly prefer that States be required to report the peak 5-minute concentrations of SO<sub>2</sub> based on a rolling average." Similarly, CBD stated that " \* \* \* EPA should require that State and local agencies report all 12 five-minute SO<sub>2</sub> values for each hour in addition to 1-hour averages. Where possible, EPA also should require reporting of rolling five-minute averages rather than block data \* \* \*"

Missouri generally supported the proposed requirement to report the maximum 5-minute average in the hour, saying "it is not a problem to report both the hourly average and the maximum 5-minute block average." Nevertheless, Missouri went on to note constraints, stating that " \* \* \* [their] data logger and associated software do not have the capability to report all twelve 5-minute SO<sub>2</sub> values for each hour" and that they " \* \* \* could not do this without software being developed for this purpose and it could be time intensive to validate this data."

Kentucky did not support the proposal to report the maximum 5-minute data block in the hour because of the limitations in their data acquisition systems. They explained that "the data acquisition system used by the [State] does not have the capability to automatically report the maximum 5-minute block of data from an hour concentration. [State] personnel would have to manually determine that



value and then manually enter that data into AQS." Kentucky goes on to suggest that "the only feasible option for the [State] to submit 5-minute data to AQS would be to submit all twelve 5-minute blocks of data for each hour to AQS."

South Dakota stated that its " \* \* \* preference would be to report the maximum 5-minute average for each hour calculated using a 5-minute rolling average." South Dakota goes on to state that " \* \* \* while doubling the work required to validate data and load the data into AQS, the additional data should help determine if the selected standard concentration level has achieved the necessary reduction in high concentration 5-minute levels and provide the necessary data for further study of health impacts \* \* \*"

South Carolina stated that it " \* \* \* does not support mandatory reporting of 5-minute averages in addition to the 1-hour average required for comparison to the standard. The validation and reporting of 5-minute averages imposes a significant additional burden on the reporting organization and its Quality System." Iowa, who also did not support any form of 5-minute data reporting stated that "the five-minute data is not used to determine compliance with the NAAQS, and represents ancillary data," and that "validating and uploading the five-minute data will take at least as much staff time as generating the hourly data used for compliance." As a result, Iowa states that "if EPA determines that five-minute data is needed, we recommend that EPA require the maximum five-minute average in each hour, rather than all twelve five-minute averages, in order to reduce the burden associated with generation of the ancillary data set."

With regard to the proposed DQOs, EPA received comments from some States (*e.g.*, Kentucky, North Carolina, NYSDEC, and South Carolina) providing general support for the goals for acceptable measurement uncertainty for precision and bias. North Carolina stated that the " \* \* \* precision and bias measurement uncertainty criteria should emulate those that have been established for other recent NAAQS and NCore pollutants." NYSDEC stated that "the proposal does not seem unreasonable, however these statistics are now expressed in terms of confidence limits: Precision—90% confidence of a CV of 15% and Bias—95% confidence of a CV of 15%." NYSDEC raises concern that " \* \* \* the results are now dependent on the number of audits performed. This is highly variable because some agencies run automatic audits every night,

[while] others use the old standard of once every 2 weeks."

In regard to comments on the proposed DQOs, EPA notes that the precision and bias estimation technique on which NYSDEC comments were focused were proposed and adopted in the monitoring rule promulgated on October 6, 2006 and EPA did not intend to reopen those requirements for comment. Moreover, SO<sub>2</sub> precision and bias estimates have been performed in this manner for the past four years and there have been no adverse effects on data quality at the minimum required level of performance checks every two weeks. The statistics for the precision and bias estimates and the DQO goals are based on the accumulation of the one-point precision checks aggregated at the frequencies required in CFR which is every two weeks. Any organization performing more frequent checks (such as every night) would accumulate more data for the precision and bias estimates, have higher confidence in the data, and would have less potential for outliers or higher than normal values effecting the precision and bias estimate. In addition, monitoring organizations running precision checks every 24 hours would be more able to control data quality to meet the DQO goals than organizations running the check every two weeks.

### c. Conclusions on Data Reporting

EPA received a fairly diverse set of comments on the appropriateness of reporting 5-minute data and in what particular format it may be provided in. EPA has considered the comments by the States regarding validation of potentially 13 data values per hour (instead of 1 or 2) and some States' lack of data acquisition capacity or processing capability to report any particular type of 5-minute value. EPA believes that in light of these comments, adopting a requirement for continuous SO<sub>2</sub> analyzers to report all twelve 5-minute values or a rolling 5-minute value does not appear to provide enough added value for the potential increased burden on States, such as increased staff time dedicated to data processing and QA, or in improving or adjusting data acquisition capabilities. However, EPA also believes that obtaining some form of 5-minute data is appropriate because such data have been critical to this NAAQS review, and are anticipated to be of high value to inform future health studies and, subsequently, future SO<sub>2</sub> NAAQS reviews.<sup>34</sup> Indeed, as noted earlier, it

<sup>34</sup> The REA assessed exposure and risks associated with 5-minute SO<sub>2</sub> concentrations above

was EPA's failure to adequately explain the absence of protection from elevated short-term (5- to 10-minute exposure) SO<sub>2</sub> concentrations for heavily breathing asthmatics that occasioned the remand of the 1996 SO<sub>2</sub> primary NAAQS (American Lung Association, 134 F.3d at 392). This belief is supported further by the expectation that a significant portion of the monitors operating to satisfy the final monitoring network design will likely be sited for population exposures, which have traditionally provided ambient data that is often utilized by epidemiologic health studies. Therefore, EPA is finalizing the requirement that State and local air agencies operating continuous SO<sub>2</sub> analyzers shall report the maximum 5-minute block average out of the twelve 5-minute block averages in each hour, for each hour of the day, and that State and local air agencies operating any type of SO<sub>2</sub> analyzer shall report the integrated 1-hour average value, as was proposed. EPA encourages States capable of reporting all twelve 5-minute data blocks in an hour to report such data to AQS. AQS is currently set-up to take the 5-minute maximum value in an hour under parameter code 42406 and can take all twelve 5-minute values under parameter code 42401 (with a duration code of H). EPA notes that if a State were to choose to submit all twelve 5-minute blocks in the hour, by default, they would be submitting the maximum 5-minute data block within that hour, although they have not singled out that particular value. Since the 5-minute data is not directly being used for comparison to the NAAQS, EPA believes that any State electing to submit all twelve 5-minute values is still satisfying the intent of having the maximum 5-minute value reported. Therefore, if a State chooses to submit all twelve 5-minute values in an hour, they will be considered to be satisfying the data reporting requirement of submitting the maximum 5-minute value in an hour, and they do not have to separately report the maximum 5-minute value from within that set of data values to AQS under parameter code 42406.

EPA proposed new regulation text for 40 CFR Part 58 Appendix C, which would have added section 2.1.2 that would have required any SO<sub>2</sub> FRM or

5-minute health effect benchmark levels derived from controlled human exposure studies. In the analyses, the REA noted that very few State and local agencies report ambient 5-minute SO<sub>2</sub> data (REA, section 10.3.3.2) and that the lack of 5-minute data necessitated the use of statistically estimated 5-minute SO<sub>2</sub> data in order to expand the geographic scope of the exposure and risk analyses (REA, section 7.2.3).

FEM used for making NAAQS decisions to be capable of providing both 1-hour and 5-minute averaged concentration data. EPA is not finalizing this proposed language, as the manual wet-chemistry pararosaniline reference method cannot provide 5-minute data. Therefore, the proposed language is inappropriate. However, both the UVF FEM and the new UVF FRM continuous methods are capable of providing 5-minute averaged data. As a result, the language in 58.12(g) and 58.16(g) requiring 5-minute SO<sub>2</sub> data has been adjusted to appropriately specify that only those States operating continuous FRM or FEMs are required to report the maximum 5-minute data value for each hour.

With regard to acceptable measurement uncertainties, EPA reviewed summary data for each Primary Quality Assurance Organization (PQAO) in the 2008 Data Quality Indicator Report on SO<sub>2</sub> data within the 2008 Criteria Pollutant Quality Indicator Summary Report for AQS Data (<http://www.epa.gov/ttn/amtic/qareport.html>). Of the 100 PQAOS in the report, none of those organizations had summary CV or bias values exceeding 10 percent. Thus, EPA believes that the SO<sub>2</sub> network can and does easily attain measurement uncertainty criteria more stringent than the finalized goal values and the monitoring required under the final network design should be able to maintain this level of performance. Therefore, in consideration of comments and existing quality assurance data, EPA is changing the final goals from those which were proposed for acceptable measurement uncertainty for SO<sub>2</sub> methods to be defined for precision as an upper 90 percent confidence limit for the coefficient of variation (CV) of 10 percent and for bias as an upper 95 percent confidence limit for the absolute bias of 10 percent.

#### V. Initial Designation of Areas for the 1-Hour SO<sub>2</sub> NAAQS

This section of the preamble further addresses the process under which EPA intends to identify whether areas of the country attain or do not attain or are "unclassifiable" regarding the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. After EPA establishes a new NAAQS, the CAA directs States and EPA to take this first step, known as the "initial area designations," in ensuring that the NAAQS is ultimately attained.

We are revising our discussion of an expected approach toward issuing initial area designations in response to comments we received on the proposed rule's treatment of monitoring and modeling (both generally and in the

specific context of designations), and to make the expected process more consistent with our historical approach to implementing the SO<sub>2</sub> NAAQS. A revised anticipated approach for issuing designations logically follows from our revised hybrid approach to monitoring and modeling as discussed above in sections III and IV. It would also affect a revised expected implementation approach that we later discuss in section VI. 1. Designations.

##### a. Clean Air Act Requirements

The CAA requires EPA and the States to take steps to ensure that the new NAAQS are met following promulgation. The first step is for EPA to identify whether areas of the country meet, do not meet, or cannot yet be classified as either meeting or not meeting the new NAAQS. Section 107(d)(1)(A) provides that, "By such date as the Administrator may reasonably require, but not later than 1 year after promulgation of a new or revised NAAQS for any pollutant under section 109, the Governor of each State shall \* \* \* submit to the Administrator a list of all areas (or portions thereof) in the State" that should be designated as nonattainment, attainment, or unclassifiable for the new NAAQS. 42 U.S.C. 7407(d)(1)(A)(i)-(iii). Section 107(d)(1)(B)(i) further provides, "Upon promulgation or revision of a NAAQS, the Administrator shall promulgate the designations of all areas (or portions thereof) \* \* \* as expeditiously as practicable, but in no case later than 2 years from the date of promulgation. Such period may be extended for up to one year in the event the Administrator has insufficient information to promulgate the designations within 2 years." 42 U.S.C. 7407(d)(1)(B)(i).

Under CAA section 107(d)(1)(B)(ii), no later than 120 days prior to promulgating designations, EPA is required to notify States of any intended modifications to their boundaries as EPA may deem necessary, and States will have an opportunity to comment on EPA's tentative decision. Whether or not a State provides a recommendation, the EPA must promulgate the designation that it deems appropriate. 42 U.S.C. 7407(d)(1)(B)(ii).

Accordingly, since the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS is being promulgated today, Governors should submit their initial SO<sub>2</sub> designation recommendations to EPA no later than June 2, 2011. If the Administrator intends to modify any State's boundary recommendation, the EPA will notify the Governor no later than 120 days prior to designations or, February 2012. States that believe the Administrator's

modification is inappropriate will have an opportunity to demonstrate why they believe their recommendation is more appropriate before designations are finalized in June 2012.

For initial designations that will be finalized in June 2012, States should use monitoring data from the existing SO<sub>2</sub> network for the years 2008-2010, as well as any refined SO<sub>2</sub> dispersion modeling (see Appendix W to 40 CFR Part 51) for sources that may have the potential to cause or contribute to a NAAQS violation, provided that it is recent and available. EPA will then issue designations based on the record of information for that area. Under our anticipated approach, an area that has monitoring data or refined modeling results showing a violation of the NAAQS would be designated as "nonattainment." An area that has both monitoring data and appropriate modeling results showing no violations would be designated as "attainment." All other areas, including those with SO<sub>2</sub> monitors showing no violations but without modeling showing no violations, would be designated as "unclassifiable." Areas with no SO<sub>2</sub> monitors at all *i.e.*, "rest of State," would be designated as "unclassifiable" as well.

##### b. Approach Described in Proposal

In the proposed rule's preamble, we explained that we had proposed a new SO<sub>2</sub> ambient monitoring network, with new monitors expected to be deployed no later than January 2013. We also explained that we expected compliance with the new NAAQS to be determined based on 3 years of complete, quality assured, certified monitoring data. We further explained that we did not expect newly-cited monitors for the proposed network to generate sufficient monitoring data for us to use in determining whether areas complied with the new NAAQS by the statutory deadline to complete initial designations. Therefore, we explained, we intended to complete designations by June 2012 based on 3 years of complete, quality assured, certified air quality monitoring data as generated from the current monitoring network.

Consequently, we discussed our expectations to base initial designations on air quality data from the years 2008-2010 or 2009-2011, from SO<sub>2</sub> monitors operating at current locations, which we expected to continue through 2011. While those monitors are generally sited to measure 24-hour and annual average SO<sub>2</sub> concentrations, we noted that they all report hourly data, and we estimated that at least one third of those monitors might meet the proposed network



design requirements and not need to be moved. We explained that if any monitor in the current network indicated a violation of the new 1-hour NAAQS, we would intend to designate the area as "nonattainment." We further explained that if a monitor did not indicate a violation, our designation decision for the area would be made on a case-by-case basis, with one possibility being a designation of "unclassifiable."

We also explained that while the CAA section 107 designation provisions specifically address States, we intended to follow the same process for Tribes to the extent practicable, pursuant to CAA section 301(d), 42 U.S.C. 7601(d), and the Tribal Authority Rule, 40 CFR part 49.

#### c. Comments

Several commenters stated that the EPA did not provide nonattainment boundary guidance in the proposed rule and argued that guidance should be developed. Commenters also stated that EPA should consider boundaries that are less than the Core Based Statistical Area (CBSA), and perhaps even smaller than the county boundary (State of Michigan, Sierra Club).

In response, we note that the CAA requires that the EPA designate as "nonattainment" any area that does not meet (or contributes to an area that does not meet) the NAAQS. 42 U.S.C. 7407(d)(1)(A)(i). States with monitored or modeled SO<sub>2</sub> violations will need to recommend an appropriate nonattainment boundary that both includes sources contributing to that violation, as well as informs the public of the extent of the violation. For purposes of determining nonattainment boundaries, the EPA expects to consider the county line as the presumptive boundary for SO<sub>2</sub>. This would be consistent with our approach under other NAAQS. States recommending less-than-countywide nonattainment boundaries should provide additional information along with their recommendation, demonstrating why a smaller area is more appropriate, as we have advised for other NAAQS. If States request it, EPA may develop additional guidance on the factors that States should consider when determining nonattainment boundaries.

In addition, as further discussed in section IV.B above, in the SO<sub>2</sub> NAAQS proposal, we proposed a monitoring-focused approach for comparison to the new NAAQS. The proposed network would have required approximately 348 monitors nationwide to be sited at the locations of maximum concentration. Numerous State and local government

commenters expressed concerns regarding the perceived burdens of implementing the proposed monitoring network and the sufficiency of its scope for purposes of identifying violations. Some of these commenters (the City of Alexandria, and the States of Delaware, North Carolina and Pennsylvania) suggested using modeling to determine the scope of monitoring requirements, or favored modeling over monitoring to determine compliance with the NAAQS. Partly in response to these comments, and after reconsidering the proposal's monitoring-focused approach, specifically regarding how we have historically implemented SO<sub>2</sub> designations, we now anticipate taking a revised approach toward designations, using a hybrid analytic approach that combines the use of monitoring and available modeling to assess compliance with the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. We discuss a revised expected approach toward designations below, and further discuss in section VI how we expect a hybrid approach to affect other implementation activities.

#### d. Expected Designations Process

As discussed in sections III and IV of this preamble, in response to the comments and after reviewing our historical SO<sub>2</sub> implementation practice, we intend to use a hybrid analytic approach for assessing compliance with the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS for initial designations. We also believe that a hybrid approach is more consistent with our historical approach and longstanding guidance toward SO<sub>2</sub> NAAQS designations and implementation than what we originally proposed. Technically, for a short-term 1-hour standard, it is more appropriate and efficient to principally use modeling to assess compliance for medium to larger sources, and to rely more on monitoring for groups of smaller sources and sources not as conducive to modeling.

In cases where there is complete air quality data from FRM and FEM SO<sub>2</sub> monitors, that data would be considered by EPA in designating areas as either "attainment" or "nonattainment" for the new SO<sub>2</sub> NAAQS. See Appendix T to Part 50 section 3b. In addition, in cases where a State submits air quality modeling data that are consistent with our current guidance or our expected revisions thereto, and which indicates that an area is attaining the standard or violating the standard, these data may support recommendations of "attainment" or "nonattainment." As explained in section IV above, we would not consider monitoring alone to be an adequate, nor the most accurate,

tool to identify all areas of maximum concentrations of SO<sub>2</sub>. In the case of SO<sub>2</sub>, we further believe that monitoring is not the most cost-efficient method for identifying all areas of maximum concentrations.

Due to the necessarily limited spatial coverage provided by any monitoring regime, and the strong source-oriented nature of SO<sub>2</sub> ambient impacts, we recognize that using this more traditional approach in designations, would be more likely to identify a greater number of potential instances of nonattainment, if areas were to immediately conduct modeling of current source emissions, as compared to the approach we discussed in the proposed rule. As discussed in section III, forthcoming national and regional rules, such as the pending Industrial Boilers "Maximum Achievable Control Technology" (MACT) standard under CAA section 112(d), are likely to result in significant SO<sub>2</sub> emissions reductions in the next three to four years. A limited qualitative assessment of preliminary modeling of some sample facilities that would be covered by those rules indicates that well-controlled facilities should meet the new SO<sub>2</sub> NAAQS. However, there are some exceptions. These exceptions include unique sources with specific source characteristics that contribute to higher ambient impacts (short stack heights, complex terrain, etc.).

Again as described in section III, in order for States to conduct modeling on a large scale for the new 1-hour NAAQS, EPA expects additional guidance would be needed to clarify how to conduct dispersion modeling under Appendix W to support the implementation of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, and how to identify and appropriately assess the air quality impacts of sources that potentially may cause or contribute to violations of the NAAQS. Our anticipated modeling guidance will provide for refined modeling that will better reflect and account for source-specific impacts by following our current *Guideline on Air Quality Models*, Appendix W to 40 CFR Part 51, with appropriate flexibility for use in implementation. EPA intends to solicit public comment on this modeling guidance. We expect it will take some time for EPA to issue this guidance, and believe that given the timing and substantial burden of having to model several hundred sources, it would not be realistic or appropriate to expect States to complete such modeling and incorporate the results in designation recommendations for the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS that, under CAA section

107(d), are due to EPA within 1 year of the promulgation of the NAAQS.

Consequently, we expect that in most instances, Governors will submit designation recommendations of "unclassifiable" rather than conduct large-scale refined modeling of sources in advance of receiving our anticipated guidance. The absence of monitoring data showing violations for most areas, combined with the paucity of refined modeling of sources that have the potential to cause or contribute to violations of the NAAQS, will likely result in informational records that are insufficient to support initial designations of either "attainment" or "nonattainment." Under the Clean Air Act, in such a situation EPA is required to issue a designation for the area as "unclassifiable." However, we do not expect this result to delay expeditious attainment and maintenance of the new NAAQS, or to cause inappropriate, indefinite uncertainty regarding whether or not sources cause or contribute to NAAQS violations.

As described more fully in section III above and in section VI below, EPA's expected implementation approach would rely on the CAA section 110(a)(1) SIP obligation to ensure that all areas of the country attain and maintain the NAAQS on a timely basis even if they are designated "unclassifiable" initially. This SIP is due under CAA section 110(a)(1) within 3 years after promulgation of the new NAAQS, and does not depend upon EPA designating an area "nonattainment" based on recently monitored or modeled SO<sub>2</sub> levels. This period of time would allow States to use EPA's anticipated guidance on modeling for the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, as well as account for SO<sub>2</sub> reduction levels at individual sources that are anticipated to result from promulgated national and regional rules to show attainment.

Once areas have both appropriate monitoring data (if required) and modeling data as appropriate, consistent with the new guidance, showing no violations of the SO<sub>2</sub> NAAQS, and have met other applicable requirements of CAA section 107(d)(3), the Agency would consider re-designating them from "unclassifiable" or "nonattainment" to "attainment" under CAA section 107(d)(3).

#### VI. Clean Air Act Implementation Requirements

This section of the preamble discusses the CAA requirements that States and emissions sources would need to address when implementing the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS based on the structure outlined in the CAA and existing rules.

The EPA believes that existing guidance documents and regulations will be useful in helping States and sources to implement the new SO<sub>2</sub> NAAQS, but we also expect to develop additional guidance on modeling for the new one-hour standard and on developing SIPs under Section 110(a)(1) of the CAA.<sup>35</sup> In light of the new approach that EPA intends to take with respect to implementation of the SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA intends to solicit public comment on guidance regarding modeling, and also solicit public comment on additional implementation planning guidance, including the content of the maintenance plans required under section 110(a)(1) of the Clean Air Act. EPA also notes that State monitoring plans and the SIP submissions that States will make will also be subject to public notice and comment."

In this section, we also further discuss how EPA's modified expected approaches toward monitoring and modeling and toward initial designations under the new SO<sub>2</sub> NAAQS (compared to how the proposed rule discussed addressing these issues) are anticipated to affect the types of SIP submissions States will need to provide to EPA and the timing of EPA's actions on those submissions leading up to attainment and maintenance of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. In section IV above, we discuss the final amendments to the ambient monitoring and reporting requirements, and explain how in response to comments received on the proposal and after revisiting our historical practice in assessing compliance with prior SO<sub>2</sub> NAAQS, we have revised both the scope of the revised monitoring network and our expectations on how monitoring will be used in conjunction with modeling in assessing compliance and designating areas. In section V above, we discuss how we have revised our expected approach for issuing designations for the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, and similarly explain how, in response to comments and after reviewing our historical approach, we have modified our expectations as discussed in the proposal for how and when monitoring and modeling will be used for designations. In this section VI, we describe in more detail how and when we expect States to demonstrate attainment, implementation, maintenance and enforcement of the new one-hour SO<sub>2</sub> NAAQS.

<sup>35</sup> See SO<sub>2</sub> Guideline Document, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711, EPA-452/R-94-008, February 1994.

The CAA assigns important roles to EPA, States and Tribal governments to achieve the NAAQS. States have the primary responsibility for developing and implementing State implementation plans (SIPs) that contain State measures necessary to achieve the air quality standards in each area once EPA has established the NAAQS. EPA provides assistance to States and Tribes by providing technical tools, assistance, and guidance, including information on the potential control measures that may assist in helping areas attain the standards.

Under section 110 of the CAA, 42 U.S.C. 7410, and related provisions, States are directed to submit, for EPA approval, SIPs that provide for the attainment, implementation, maintenance, and enforcement of such standards through control programs directed at sources of SO<sub>2</sub> emissions. See CAA sections 110(a), and 191-192, 42 U.S.C. 7410(a) and 7514-7514a. If a State fails to adopt and implement the required SIPs by the time periods provided in the CAA, EPA has the responsibility under the CAA to adopt a Federal implementation plan (FIP) to ensure that areas attain the NAAQS in an expeditious manner. The States, in conjunction with EPA, also administer the prevention of significant deterioration (PSD) program for SO<sub>2</sub>. See sections 160-169 of the CAA, 42 U.S.C. 7470-7479. In addition, Federal programs provide for nationwide reductions in emissions of SO<sub>2</sub> and other air pollutants under Title II of the Act, 42 U.S.C. 7521-7574. These programs involve limits on the sulfur content of the fuel used by automobiles, trucks, buses, motorcycles, non-road engines and equipment, marine vessels and locomotives. Emissions reductions for SO<sub>2</sub> are also obtained from implementation of the new source performance standards (NSPS) for stationary sources under sections 111 and 129 of the CAA, 42 U.S.C. 7411 and 7429; and the national emission standards for hazardous air pollutants (NESHAP) for stationary sources under section 112 of the CAA, 42 U.S.C. 7412 (such reductions resulting due to control of hazardous air pollutants (HAP) such as hydrogen chloride (HCl) under those rules). Title IV of the CAA, sections 402-416, 42 U.S.C. 7651a-7651o, specifically provides for major reductions in SO<sub>2</sub> emissions. EPA has also promulgated the Clean Air Interstate Rule (CAIR) to define additional SO<sub>2</sub> emission reductions needed in the Eastern United States to eliminate significant contribution of upwind States to downwind States'

nonattainment, or inability to maintain, the PM<sub>2.5</sub> NAAQS pursuant to CAA section 110(a)(2)(D), 42 U.S.C. 7410(a)(2)(D), a rule which EPA is reevaluating pursuant to court remand.

#### A. How This Rule Applies to Tribes

CAA section 301(d) authorizes EPA to treat eligible Indian Tribes in the same manner as States under the CAA and requires EPA to promulgate regulations specifying the provisions of the statute for which such treatment is appropriate. EPA has promulgated these regulations—known as the Tribal Authority Rule or TAR—at 40 CFR Part 49. See 63 FR 7254 (February 12, 1998). The TAR establishes the process for Indian Tribes to seek treatment-as-a-State eligibility and sets forth the CAA functions for which such treatment will be available. Under the TAR, eligible Tribes may seek approval for all CAA and regulatory purposes other than a small number of functions enumerated at section 49.4. Implementation plans under section 110 are included within the scope of CAA functions for which eligible Tribes may obtain approval. Section 110(o) also specifically describes Tribal roles in submitting implementation plans. Eligible Indian Tribes may thus submit implementation plans covering their reservations and other areas under their jurisdiction.

The CAA and TAR do not, however, direct Tribes to apply for treatment as a State or implement any CAA program. In promulgating the TAR EPA explicitly determined that it was not appropriate to treat Tribes similarly to States for purposes of, among other things, specific plan submittal and implementation deadlines for NAAQS-related requirements. 40 CFR 49.4(a). In addition, where Tribes do seek approval of CAA programs, including section 110 implementation plans, the TAR provides flexibility and allows them to submit partial program elements, so long as such elements are reasonably severable—*i.e.*, “not integrally related to program elements that are not included in the plan submittal, and are consistent with applicable statutory and regulatory requirements.” 40 CFR 49.7.

To date, very few Tribes have sought treatment as a State for purposes of section 110 implementation plans. However, some Tribes may be interested in pursuing such plans to implement today’s proposed standard, once it is promulgated.

#### 1. Approach Described in the Proposal

In the proposed rule preamble, EPA described the various roles and requirements States would address in implementing the proposed NAAQS.

Such references to States generally included eligible Indian Tribes to the extent consistent with the flexibility provided to Tribes under the TAR. Where Tribes do not seek treatment as a State for section 110 implementation plans, we explained that EPA under its discretionary authority will promulgate FIPs as “necessary or appropriate to protect air quality.” 40 CFR 49.11(a). EPA also noted that some Tribes operate air quality monitoring networks in their areas. We explained that for such monitors to be used to measure attainment with the proposed revised primary NAAQS for SO<sub>2</sub>, the criteria and procedures identified in the proposed rule would apply.

#### 2. Current Approach

EPA did not receive any comments on this issue. However, as discussed elsewhere in this preamble, the final rule reflects in several respects modified expected approaches regarding the use of monitoring and modeling, the manner in which we expect to issue designations under the new SO<sub>2</sub> NAAQS, and the types of SIP submissions we expect would be needed to show attainment, implementation, maintenance and enforcement of the new NAAQS. Those changes in expected approach would, as appropriate, also apply to how we address data and any other submissions from Tribes for purposes of the new SO<sub>2</sub> NAAQS.

#### B. Nonattainment Area Attainment Dates

The latest date by which an area designated as nonattainment is required to attain the SO<sub>2</sub> NAAQS is determined from the effective date of the nonattainment designation for the affected area. For areas designated nonattainment for the revised SO<sub>2</sub> NAAQS, SIPs must provide for attainment of the NAAQS as expeditiously as practicable, but no later than 5 years from the effective date of the nonattainment designation for the area. See section 192(a) of the CAA, 42 U.S.C. 7651a(a). The EPA expects to determine whether an area has demonstrated attainment of the new SO<sub>2</sub> NAAQS by evaluating air quality monitoring and modeling data consistent with 40 CFR part 50, Appendix T and 40 CFR part 51, Appendix W. (Note that this differs from how we explained we would expect to make such determinations in the proposed rule, where we only mentioned monitoring as supplying the data we would evaluate. This expanded and changed discussion reflects the contemplated changes in our overall

approaches to using monitoring and modeling, expectations for issuing designations, and expectations for reviewing SIP submissions showing attainment, implementation, maintenance, and enforcement of the new SO<sub>2</sub> NAAQS.)

#### 1. Attaining the NAAQS

##### a. Approach Described in the Proposal

In the proposal preamble, we set forth the basic five conditions provided under section 107(d)(3)(E) of the CAA, 42 U.S.C. 7407(d)(3)(E) that a nonattainment area must meet in order to be redesignated as attainment:

- EPA must have determined that the area has met the SO<sub>2</sub> NAAQS;
- EPA has fully approved the State’s implementation plan;
- The improvement in air quality in the affected area is due to permanent and enforceable reductions in emissions;
- EPA has fully approved a maintenance plan for the area; and
- The State(s) containing the area have met all applicable requirements under section 110 and part D.

##### b. Current Approach

EPA did not receive any comments on this aspect of the preamble of the proposal. However, in light of the fact that in the final rule, in response to other comments and consistent with historic practice, we are revising our proposed anticipated approaches to the overall use of monitoring and modeling and our expected approaches to issuing initial designations and reviewing SIP submissions, it follows that the way in which a nonattainment area seeks redesignation as an attainment area would also be affected by the final rule’s overall changed approaches. For example, for EPA to determine that a nonattainment area has met the SO<sub>2</sub> NAAQS, we anticipate that the area would need to not only provide any monitoring data showing such compliance (and there would need to be an absence of monitoring data showing otherwise), but modeling where appropriate, consistent with modeling guidance that we plan to issue, would also need to show that the area is attaining and maintaining the NAAQS.

#### 2. Consequences of a Nonattainment Area Failing To Attain by the Statutory Attainment Date

##### a. Approach Described in the Proposal

We explained in the proposal that any SO<sub>2</sub> nonattainment area that fails to attain by its statutory attainment date would be subject to the requirements of sections 179(c) and (d) of the CAA, 42

U.S.C. 7509(c) and (d). EPA is required to make a finding of failure to attain no later than 6 months after the specified attainment date and publish a notice in the **Federal Register**. The State would then need to submit an implementation plan revision no later than one year following the effective date of the **Federal Register** notice making the determination of the area's failure to attain. This submission must demonstrate that the standard will be attained as expeditiously as practicable, but no later than 5 years from the effective date of EPA's finding that the area failed to attain. In addition, section 179(d)(2) provides that the SIP revision must include any specific additional measures as may be reasonably prescribed by EPA, including "all measures that can be feasibly implemented in the area in light of technological achievability, costs, and any nonair quality and other air quality-related health and environmental impacts."

#### b. Current Approach

EPA did not receive any comments on this aspect of the discussion in the preamble to the proposal. However, due to the changes in the final rule's discussion of the overall expected approaches to monitoring and modeling, designations and EPA review of SIP submissions, it follows that the implementation of CAA sections 179(c) and (d) would also be affected by those changes. For example, under the anticipated approach, a nonattainment area's initial demonstration of attainment would need to show through modeling consistent with modeling guidance that we plan to issue, that the area attains and maintains the new SO<sub>2</sub> NAAQS. If the area fails to attain on time, any remedial implementation plan submission would also need to show, where appropriate, through modeling consistent with modeling guidance that we plan to issue, that the area attains and maintains the new SO<sub>2</sub> NAAQS.

#### C. Section 110(a)(1) and (2) NAAQS Maintenance/Infrastructure Requirements

We are significantly revising our expected approaches to the use of monitoring and modeling, expected issuance of initial designations, and EPA review of SIP submissions. This change in anticipated approach has particular relevance for how States would meet their statutory obligations under CAA section 110(a) to implement, maintain and enforce the new SO<sub>2</sub> NAAQS. In short, under such an approach, all areas, whether designated as attainment, nonattainment, or

unclassifiable, would need to submit SIPs under CAA section 110(a) that show that they are attaining and maintaining the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS as expeditiously as practicable through permanent and enforceable measures. In other words, the duty to show maintenance of the SO<sub>2</sub> NAAQS would not be limited to areas that are initially designated as nonattainment, but instead would apply regardless of designation. As has been expected historically, areas initially designated attainment for SO<sub>2</sub> are expected to submit to EPA the infrastructure elements of the 110(a) SIP, including the PSD program. Historically, EPA has determined this to be sufficient to demonstrate maintenance absent other available information to suggest the area would have difficulty maintaining the NAAQS.

As required by CAA section 192, nonattainment areas must demonstrate attainment as expeditiously as practicable, and no later than 5 years after designation (which would be August 2017). Under a hybrid approach as we have discussed earlier in sections III, IV, and V of this preamble, EPA believes that August 2017 would be the latest point that could be as expeditiously as practicable for attainment and unclassifiable areas as well, and EPA anticipates establishing this date through future rulemaking actions on individual SIPs.

As noted in earlier sections of this preamble, in the SO<sub>2</sub> NAAQS proposal, we recommended a monitoring-focused approach for comparison to the NAAQS. We received public comments that contended our proposed monitoring network was too small and insufficient to assess the hundreds of areas that might violate the new SO<sub>2</sub> NAAQS and yet too burdensome and expensive to expand to an adequate scale. Some commenters, especially State air agencies, recommended the use of modeling either to determine potential nonattainment areas or to identify areas subject to monitoring requirements. Because SO<sub>2</sub> is primarily a localized pollutant, modeling is the most appropriate tool to accurately predict SO<sub>2</sub> impacts from large sources, EPA has used it in the past to determine SO<sub>2</sub> attainment status, and it can be performed more quickly and less costly than monitoring. Consequently, as part of developing a balanced response to the numerous comments we received on modeling and monitoring, we expect to use a hybrid analytic approach that combines the use of monitoring and modeling to assess compliance with respect to the new SO<sub>2</sub> NAAQS.

A hybrid analytic approach for assessing compliance with the new SO<sub>2</sub> NAAQS would make the most appropriate use of available tools and be more consistent with our historical approach than was what we originally proposed. For a short-term 1-hour standard, it is more accurate and efficient to use modeling to assess medium to larger sources and to rely on monitoring for groups of smaller sources and sources not as conducive to modeling.

We expect that States would initially focus performance of attainment demonstration modeling on larger sources (e.g., those  $\geq 100$  tons per year (tpy) of SO<sub>2</sub>), and that States would also identify and eventually conduct refined modeling of any other sources that may be anticipated to cause or contribute to a violation to determine compliance with the new SO<sub>2</sub> NAAQS. As discussed in Section III, EPA anticipates providing additional guidance to States to clarify how to conduct dispersion modeling under Appendix W to support the implementation of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. Prior to issuing this guidance, EPA intends to solicit public comment.

Since determining compliance with the SO<sub>2</sub> NAAQS will likely be a uniquely source-driven analysis, EPA explored options to ensure that the SO<sub>2</sub> designations process realistically accounts for anticipated SO<sub>2</sub> reductions at those sources that we expect will be achieved by current and pending national and regional rules. To ensure that all areas of the country attain the NAAQS on a timely basis, while accommodating modeling that is both informed by anticipated modeling guidance and accounts for those anticipated SO<sub>2</sub> reductions, EPA's intention is to emphasize the CAA section 110(a)(1) requirement that all States submit a SIP that shows implementation, maintenance and enforcement of the NAAQS. This SIP would be due under CAA section 110(a)(1) within 3 years after promulgation of the new NAAQS, and would not depend upon EPA designating an area nonattainment based on recently monitored or modeled SO<sub>2</sub> levels. In addition, like an attainment SIP required for a designated nonattainment area under CAA section 192, to show attainment this SIP can account for controlled SO<sub>2</sub> levels at individual sources that will be achieved after submission of the SIP but before the demonstrated attainment date. EPA intends to implement this approach in a way that ensures expeditious attainment of the NAAQS, under a schedule that we explain more fully below.

## 1. Section 110(a)(1)–(2) Submission

## a. Approach Described in the Proposal

In the preamble to the proposal, we explained that section 110(a)(2) of the CAA directs all States to develop and maintain a solid air quality management infrastructure, including enforceable emission limitations, an ambient monitoring program, an enforcement program, air quality modeling capabilities, and adequate personnel, resources, and legal authority. Section 110(a)(2)(D) also requires State plans to prohibit emissions from within the State which contribute significantly to nonattainment or maintenance areas in any other State, or which interfere with programs under part C of the CAA to prevent significant deterioration of air quality or to achieve reasonable progress toward the national visibility goal for Federal class I areas (national parks and wilderness areas).

Under sections 110(a)(1) and (2) of the CAA, all States are directed to submit SIPs to EPA which demonstrate that basic program elements have been addressed within 3 years of the promulgation of any new or revised NAAQS. Subsections (A) through (M) of section 110(a)(2) set forth the elements that a State's program must contain in the SIP.<sup>36</sup> The proposed rule listed section 110(a)(2) NAAQS implementation requirements as the following:

- *Ambient air quality monitoring/data system:* Section 110(a)(2)(B) requires SIPs to provide for setting up and operating ambient air quality monitors, collecting and analyzing data and making these data available to EPA upon request.
- *Program for enforcement of control measures:* Section 110(a)(2)(C) requires SIPs to include a program providing for enforcement of SIP measures and the regulation and permitting of new/modified sources.
- *Interstate transport:* Section 110(a)(2)(D) requires SIPs to include

provisions prohibiting any source or other type of emissions activity in the State from contributing significantly to nonattainment or interfering with maintenance of the NAAQS in another State, or from interfering with measures required to prevent significant deterioration of air quality or to protect visibility.

- *Adequate resources:* Section 110(a)(2)(E) directs States to provide assurances of adequate funding, personnel and legal authority to implement their SIPs.
- *Stationary source monitoring system:* Section 110(a)(2)(F) directs States to establish a system to monitor emissions from stationary sources and to submit periodic emissions reports to EPA.
- *Emergency power:* Section 110(a)(2)(G) directs States to include contingency plans, and adequate authority to implement them, for emergency episodes in their SIPs.
- *Provisions for SIP revision due to NAAQS changes or findings of inadequacies:* Section 110(a)(2)(H) directs States to provide for revisions of their SIPs in response to changes in the NAAQS, availability of improved methods for attaining the NAAQS, or in response to an EPA finding that the SIP is inadequate.
- *Consultation with local and Federal government officials:* Section 110(a)(2)(J) directs States to meet applicable local and Federal government consultation requirements when developing SIPs and reviewing preconstruction permits.
- *Public notification of NAAQS exceedances:* Section 110(a)(2)(I) directs States to adopt measures to notify the public of instances or areas in which a NAAQS is exceeded.
- *PSD and visibility protection:* Section 110(a)(2)(J) also directs States to adopt emissions limitations, and such other measures, as may be necessary to prevent significant deterioration of air quality in attainment areas and protect visibility in Federal Class I areas in accordance with the requirements of CAA Title I, part C.
- *Air quality modeling/data:* Section 110(a)(2)(K) requires that SIPs provide for performing air quality modeling for predicting effects on air quality of emissions of any NAAQS pollutant and submission of data to EPA upon request.
- *Permitting fees:* Section 110(a)(2)(L) requires the SIP to include requirements for each major stationary source to pay permitting fees to cover the cost of reviewing, approving, implementing and enforcing a permit.
- *Consultation/participation by affected local government:* Section 110(a)(2)(M) directs States to provide for

consultation and participation by local political subdivisions affected by the SIP.

## b. Final

EPA did not receive any comments on this aspect of the approach explained in the proposal preamble. However, in light of the modified approach discussed above, EPA is providing additional guidance concerning the CAA section 110(a)(1) maintenance plan requirement as a part of this discussion so that States will have sufficient information to meet this requirement with a SIP submittal three years after promulgation of the NAAQS. Section 110(a)(1) of the CAA states that each State, after reasonable notice and public hearing, is required to adopt and to submit to EPA, within 3 years after promulgation of any new or revised NAAQS for any pollutant, a SIP which provides for the implementation, maintenance, and enforcement of any new or revised NAAQS in each area of the State. As stated previously, in light of the new approach that EPA intends to take with respect to implementation of the SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA intends to solicit public comment on guidance regarding modeling, and also solicit public comment on additional implementation planning guidance, including the content of the maintenance plans required under section 110(a)(1) of the Clean Air Act.

EPA expects that most areas of the country would be designated as unclassifiable for the 1-hour NAAQS for SO<sub>2</sub>, due to a lack of both monitoring and modeling information concerning the attainment status of areas, in advance of States conducting further refined modeling according to our anticipated guidance. For areas that are designated unclassifiable, States are required to submit section 110(a)(1) plans to demonstrate implementation, maintenance and enforcement of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. As previously explained in section III of the preamble, in order to meet the requirements of section 110(a)(1) and to ensure timely attainment of the NAAQS on a schedule that is as expeditious as would be required if an area had been designated nonattainment, EPA's current expectation is that States would submit SIPs which provide for attainment, implementation, maintenance, and enforcement of the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS in all areas as expeditiously as practicable, which EPA believes in these cases would be no later than 5 years from the effective date of the area's designation. The section 110(a)(1) maintenance plan would also need to contain the following elements: (1) An

<sup>36</sup> In the proposed rule preamble, we explained that two elements identified in section 110(a)(2) were not listed in our summary because, as EPA interprets the CAA, SIPs incorporating any necessary local nonattainment area controls would not be due within 3 years, but rather are generally due at the time the nonattainment area planning requirements are due. See 74 FR 64860 at n. 39. These elements are: (1) Emission limits and other control measures, section 110(a)(2)(A), and (2) Provisions for meeting part D, section 110(a)(2)(I), which requires areas designated as nonattainment to meet the applicable nonattainment planning requirements of part D, title I of the CAA. To implement our revised intended approach in the final rule, however, it would be necessary for States to include, if relied upon to show attainment and maintenance of the new SO<sub>2</sub> NAAQS, any necessary emission limits and other control measures under section 110(a)(2)(A).

attainment emissions inventory, (2) a control strategy, as appropriate, (3) a maintenance demonstration, using an EPA approved air quality model as appropriate, (4) a contingency plan, and (5) a plan for verification of continued attainment of the standard. Attainment areas that appear to have difficulty maintaining attainment may also have to submit some of these elements. These elements are now explained in detail.

#### (1) Attainment Emissions Inventory

The State should develop an accurate attainment emissions inventory to identify the level of emissions in the area which is sufficient to attain the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. This inventory should be consistent with EPA's most recent guidance on emissions inventories currently available, and should include the emissions for the time period associated with the modeling and monitoring data showing attainment. Major source size thresholds for SO<sub>2</sub> are currently listed as 100 ton/yr, however, in cases where sources, individually, or collectively, that are below this level may potentially cause or contribute to a violation of the standard, these sources should also be included in the emissions inventory for the affected area. EPA notes that, unlike any monitoring or modeling data used in the initial designations context, which would be limited to current emissions levels, this estimate under a hybrid approach we expect to use for the new SO<sub>2</sub> NAAQS would be able to rely on modeled controlled emissions levels at sources achieved by enforceable national, regional or local rules that will be in place within the timeframe for demonstrating attainment. This is because demonstrations of attainment and maintenance of a NAAQS, unlike designations, are necessarily projections regarding future and continuing levels of ambient air pollution concentrations given that the statutory deadlines for their submission are in advance of the required achievement of attainment and maintenance. See, e.g., CAA sections 191(a) and 192(a).

#### (2) Maintenance Demonstration

The key element of a section 110(a)(1) maintenance plan is a demonstration using, as appropriate, refined SO<sub>2</sub> dispersion modeling (see Appendix W to 40 CFR Part 51) which provides an indication of how the area will attain and maintain the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS as expeditiously as practicable, which EPA believes would be within the 5 year period following the designation of the area. For SO<sub>2</sub> the State may generally demonstrate maintenance of the

NAAQS by using refined dispersion modeling to show that the future mix of sources and emission rates in an area will not cause a violation of the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. As a result of applying the control strategy, EPA anticipates that additional guidance for States may be needed to clarify how to conduct dispersion modeling under Appendix W to support the implementation of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS.

As explained above in IV.B, EPA believes that for SO<sub>2</sub> attainment and maintenance demonstrations, monitoring data alone is generally not adequate to characterize fully short-term ambient concentrations around major stationary sources of SO<sub>2</sub>, and as a result may not capture the maximum SO<sub>2</sub> impacts. With representative and appropriate meteorological and other input data, refined dispersion models are able to characterize air quality impacts from the modeled sources across the domain of interest on an hourly basis with a high degree of spatial resolution, overcoming the limitations of an approach based solely on monitoring. By simulating plume dispersion on an hourly basis across a grid of receptor locations, dispersion models are able to estimate the detailed spatial gradients of ambient concentrations resulting from SO<sub>2</sub> emission sources across a full range of meteorological and source operating conditions. To capture such results on a monitor would normally require a prohibitively expansive air quality monitoring network. Further, as we have observed in prior actions (see, e.g., 43 FR 45993, 45997, 46000-03 (Oct. 5, 1978)), monitoring data would not be adequate to demonstrate attainment if sources are using stacks with heights that are greater than good engineering practice (GEP), or other prohibited dispersion techniques, as section 123 prohibits credit in an attainment demonstration for any such practices.

Refined dispersion modeling for the section 110(a)(1) maintenance plan is expected to follow EPA's *Guideline on Air Quality Models*, Appendix W to 40 CFR Part 51, which provides recommendations on modeling techniques and guidance for estimating pollutant concentrations in order to assess control strategies and determine emission limits. These recommendations were originally published in April 1978 and were incorporated by reference in the PSD regulations, 40 CFR sections 51.166 and 52.21 in June 1978 (43 FR 26382-26388). The purpose of Appendix W is to promote consistency in the use of modeling within the air quality management process. Appendix W is

periodically revised to ensure that new model developments or expanded regulatory requirements are incorporated. The most recent revision to Appendix W was published on November 9, 2005 (70 FR 68218), wherein EPA adopted AERMOD as the preferred dispersion model for a wide range of regulatory applications in all types of terrain. To support the promulgation of AERMOD as the preferred model, EPA evaluated the performance of the model across a total of 17 field study data bases (Perry, *et al.*, 2005; EPA, 2003), including several field studies based on model-to-monitor comparisons of SO<sub>2</sub> concentrations from operating power plants. AERMOD is a steady-state plume dispersion model that employs hourly sequential preprocessed meteorological data to simulate transport and dispersion from multiple point, area, or volume sources for averaging times from one hour to multiple years, based on an advanced characterization of the atmospheric boundary layer. AERMOD also accounts for building wake effects (*i.e.*, downwash) on plume dispersion.

As stated previously, EPA anticipates that additional guidance for States, Tribal, and local governments is needed to clarify how to conduct refined dispersion modeling under Appendix W to support the implementation of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. EPA intends to solicit public comment on guidance regarding modeling. Although AERMOD is identified as the preferred model under Appendix W for a wide range of applications and will be appropriate for most modeling applications to support the new SO<sub>2</sub> NAAQS, Appendix W allows flexibility to consider the use of alternative models on a case-by-case basis when an adequate demonstration can be made that the alternative model performs better than, or is more appropriate than, the preferred model for a particular application.

#### (3) Control Strategy

The EPA believes that in order to meet the implementation, maintenance and enforcement plan requirements of section 110(a)(1) for the new SO<sub>2</sub> NAAQS, States should consider all control measures that are reasonable to implement in light of the attainment and maintenance needs for the affected area(s). The EPA believes that where additional controls are necessary it would be appropriate for the level of controls in these areas to be similar to that required in areas that are designated as nonattainment for SO<sub>2</sub>. These controls would provide for the attainment and maintenance of the SO<sub>2</sub> 1-hour standard as expeditiously as



practicable. EPA believes that expeditious attainment in these areas will be within 5 years of the effective date of designation of an area. This approach would allow States to take into consideration emission reductions that we expect to be achieved from the implementation of future controls from national control measures as well as regional and local control measures that will be in place by the anticipated attainment date and are projected to help achieve attainment and maintenance of the standard. It would also reduce the risk of such areas failing to meet the NAAQS as expeditiously as nonattainment areas must meet it.

#### (4) Contingency Plan

The contingency plan is considered to be an enforceable part of the section 110(a)(1) plan and should ensure that there are appropriate contingency measures which can be implemented as expeditiously as practicable once they are triggered. The contingency plan should clearly identify the measures to be adopted, provide a schedule and procedures for adoption and implementation, and provide a specific time limit for actions by the State.

The EPA believes that in this case the contingency measures implemented under the contingency plan requirement for the section 110(a)(1) plan in unclassifiable areas under a revised approach for SO<sub>2</sub> should closely resemble the contingency measures required under section 172(c)(9) of the CAA. Section 172(c)(9) of the CAA defines contingency measures as measures in the SIP which are to be implemented in the event that an area fails to attain the NAAQS, or fails to meet the reasonable further progress (RFP) requirement, by the applicable attainment date for the area.

Contingency measures become effective without further action by the State or EPA, upon determination by EPA that the area (1) failed to attain the NAAQS by the applicable attainment date, or (2) fail to meet RFP. These contingency measures should consist of other available control measures that are not included in the control strategy for the SIP.

The EPA interprets the contingency measure provision as primarily directed at general control programs which can be undertaken on an area-wide basis. Since SO<sub>2</sub> control measures are based on what is directly and quantifiably necessary to attain the SO<sub>2</sub> NAAQS, it would be unlikely for an area to implement the necessary emissions control yet fail to attain the NAAQS. Therefore, for SO<sub>2</sub> programs, EPA believes that State agencies should have

a comprehensive program to identify sources of violations of the SO<sub>2</sub> NAAQS and undertake an aggressive follow-up for compliance and enforcement, including expedited procedures for establishing enforceable consent agreements pending the adoption of revised SIPs.

Such an approach toward minimum contingency measures for SO<sub>2</sub> would not preclude a State from requiring additional contingency measures that are enforceable and appropriate for a particular source or source category. A contingency measure for an SO<sub>2</sub> SIP might be a consent agreement between the State and EPA to reduce emissions from a source further in the event that the contingency measures are triggered. Alternatively, a source might adopt a contingency measure such as switching to low sulfur coal or reducing load until more permanent measures can be put into place to correct the problem. In either case, the contingency measure should be a fully adopted provision in the SIP in order for it to become effective at the time that EPA determines that the area either fails to attain the NAAQS or fails to meet RFP.

As a necessary part of the section 110(a)(1) plan, the State should also identify specific indicators, or triggers, which will be used to determine when the contingency measures need to be implemented. The identification of triggers would allow a State an opportunity to take early action to address potential violations of the NAAQS before they occur. By taking early action, States may be able to prevent any actual violations of the NAAQS, and therefore, reduce the need on the part of EPA to start the process to re-designate the areas as nonattainment. An example of a trigger would be monitored or modeled violations of the NAAQS. The EPA will review what constitutes an approvable contingency plan on a case-by-case basis.

#### (5) Verification of Continued Attainment

The submittal should provide an indication of how the State will track the progress of the section 110(a)(1) plan. This is necessary due to the fact that the emissions projections made for the attainment and maintenance demonstrations depend on assumptions of point, area, and mobile source growth. One option for tracking the progress of the attainment and maintenance demonstrations, provided here as an example, would be for the State to update periodically the emissions inventory. The attainment and maintenance demonstration should

project maintenance during the five year period following the designations for the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, not simply that the area will be in attainment in the fifth year.

States should develop interim emission projection years to show a trend analysis for attainment and maintenance of the standard. These emission projections can also be used as triggers for implementing contingency measures. The EPA recognizes that it would be difficult and time consuming to develop projections for each year of the 5 year period. Therefore, the number of interim projection years should reflect whatever information exists regarding the potential for increases in emissions in the intervening years. For instance, if there is a high probability that emissions will increase to such an extent as to jeopardize continued maintenance of the standard even temporarily over the intervening years, the number of interim projection periods should be sufficient to document that such increases will not interfere with maintenance of the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS.

When modeling for the attainment and maintenance demonstrations, one option for tracking progress would also be for the State to reevaluate periodically the modeling assumptions and data input. Such reevaluation, for example, could address any delays in source compliance with national, regional or local rules for which the State had previously modeled timely SO<sub>2</sub> reductions. In any event, the State should monitor the indicators for triggering the contingency measures on a regular basis.

EPA recognizes that the approach discussed above for SO<sub>2</sub> SIPs submitted under CAA section 110(a)(1)-(2) is significantly different from the one outlined in the proposal, and from what we have applied in the context of other criteria pollutants. However, EPA anticipates using a revised approach under section 110(a)(1)-(2) as part of an overall revised hybrid monitoring and modeling approach in response to comments on the proposed monitoring-focused approach to implementation of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. We believe that such an approach would best account for the unique source-specific and localized impacts inherent to SO<sub>2</sub>, and would be the most reasonable way to ensure that all areas of the United States timely attain and maintain the new NAAQS, while at the same time avoiding inappropriately requiring immediate refined modeling of all sources without appropriate EPA guidance. This would also allow attainment demonstrations to account

for expected substantial SO<sub>2</sub> reductions that will occur well in advance of the attainment deadline. Of course, for such a unique SO<sub>2</sub> approach to work, it would be imperative for all areas to timely submit, and for EPA to be able to approve, adequate attainment, implementation, maintenance and enforcement SIPs that show attainment as expeditiously as practicable, and no later than 5 years following initial designations. Only by applying such a timeframe to the section 110(a)(1) SIP approach we are adopting for SO<sub>2</sub> could the approach be a reasonable one. To that end, EPA would not intend to approve SIPs that do not meet this schedule, and would take necessary and appropriate actions in response to any submission that would result in unacceptable delay of attainment. Such actions may include, but are not limited to, any combination of SIP disapproval, redesignation to nonattainment, and promulgation of a Federal implementation plan (FIP). Any future action establishing an attainment deadline will be completed through notice-and-comment rulemaking on individual SIP submissions.

The timeline below shows how we expect the several steps from promulgation of the new NAAQS through attainment should proceed, whether areas are designated nonattainment or unclassifiable, assuming timely action at each step:

- *June 2010:* EPA issues new SO<sub>2</sub> NAAQS, which starts periods within which CAA section 107 initial area designations must occur and CAA section 110(a)(1)–(2) SIPs must be submitted.
- *June 2011:* States submit initial area designations recommendations, based on available monitoring data, and on any refined modeling performed in advance of submitting CAA section 110(a)(1)–(2) SIPs.
- *June 2012:* EPA issues initial area designations. Any monitored or modeled violations would trigger nonattainment designations. (Per below, States designated nonattainment would submit nonattainment SIPs by February 2014, relying on refined modeling that demonstrates attainment by no later than August 2017.) States would be designated attainment if they submit both monitoring and modeling showing adequate evidence of no violations. All other cases would be initially designated as unclassifiable.
- *June 2013:* States submit CAA section 110(a)(1)–(2) SIPs. SIPs would rely on refined modeling and any required monitoring that demonstrates attainment and maintenance of the new SO<sub>2</sub> NAAQS as expeditiously as

practicable, and no later than August 2017. For areas within the State designated attainment and unclassifiable, the section 110(a) SIP must contain any additional Federally enforceable control measures necessary to ensure attainment and maintenance of the NAAQS. (Control measures to be implemented in designated nonattainment areas are due later as part of the nonattainment SIP in February 2014.)

- *February 2014:* Any initially designated nonattainment areas submit CAA section 191–192 SIPs showing attainment no later than August 2017.
  - *June 2014:* EPA approves or disapproves submitted CAA section 110(a)(1)–(2) SIPs. For attainment and unclassifiable areas, EPA's action would be based on adequacy of States' modeling (and any required monitoring) showing attainment as expeditiously as practicable, and no later than August 2017, in partial reliance on SO<sub>2</sub> reductions from national and regional standards that are achieved by the attainment date. EPA would also have discretion to re-designate areas based on these SIPs, including to nonattainment if SIPs are inadequate, as well as promulgate FIPs.
  - *February 2015:* EPA approves or disapproves CAA section 191–192 attainment SIPs submitted by areas initially designated as nonattainment, with similar remedies as discussed above if SIPs are deficient.
  - *June 2016:* CAA section 110(c) deadline by which EPA must issue a FIP for any area whose section 110(a)(1) SIP is disapproved in June 2014.
  - *February 2017:* CAA section 110(c) deadline by which EPA must issue a FIP for a nonattainment area whose section 192 SIP is disapproved in February 2015.
- August 2017: Expected date by which all areas, regardless of classification, achieve attainment, implementation, maintenance and enforcement of the new SO<sub>2</sub> NAAQS.

#### D. Attainment Planning Requirements

##### 1. SO<sub>2</sub> Nonattainment Area SIP Requirements

###### a. Approach Described in the Proposal

We explained in the preamble to the proposal that any State containing an area designated as nonattainment with respect to the SO<sub>2</sub> NAAQS would need to develop for submission to EPA a SIP meeting the requirements of part D, Title I, of the CAA, providing for attainment by the applicable statutory attainment date. See sections 191(a) and 192(a) of the CAA. As indicated in section 191(a), all components of the

SO<sub>2</sub> part D SIP must be submitted within 18 months of the effective date of an area's designation as nonattainment.

Section 172 of the CAA addresses the general requirements for areas designated as nonattainment. Section 172(c) directs States with nonattainment areas to submit a SIP which contains an attainment demonstration showing that the affected area will attain the standard by the applicable statutory attainment date. The SIP must show that the area will attain the standard as expeditiously as practicable, and must "provide for the implementation of all Reasonably Available Control Measures (RACM) as expeditiously as practicable (including such reductions in emissions from existing sources in the area as may be obtained through the adoption, at a minimum, of Reasonably Available Control Technology (RACT))."

SIPs required under Part D of the CAA must also provide for reasonable further progress (RFP). See section 172(c)(2) of the CAA. The CAA defines RFP as "such annual incremental reductions in emissions of the relevant air pollution as are required by part D, or may reasonably be required by the Administrator for the purpose of ensuring attainment of the applicable NAAQS by the applicable attainment date." See section 171 of the CAA. Historically, for some pollutants, RFP has been met by showing annual incremental emission reductions sufficient to maintain generally linear progress toward attainment by the applicable attainment date.

All SO<sub>2</sub> nonattainment area SIPs must include contingency measures which must be implemented in the event that an area fails to meet RFP or fails to attain the standards by its attainment date. See section 172(c)(9) of the CAA. These contingency measures must be fully adopted rules or control measures that take effect without further action by the State or the Administrator. The EPA interprets this requirement to mean that the contingency measures must be implemented with only minimal further action by the State or the affected sources with no additional rulemaking actions such as public hearings or legislative review.

Emission inventories are also critical for the efforts of State, local, and Federal agencies to attain and maintain the NAAQS that EPA has established for criteria pollutants including SO<sub>2</sub>. Section 191(a) in conjunction with section 172(c) requires that areas designated as nonattainment for SO<sub>2</sub> submit an emission inventory to EPA no later than 18 months after designation as nonattainment. In the case of SO<sub>2</sub>,



sections 191(a) and 172(c) also direct States to submit periodic emission inventories for nonattainment areas. The periodic inventory must include emissions of SO<sub>2</sub> for point, nonpoint, mobile, and area sources.

#### b. Current Approach

EPA did not receive any comments on this issue. Thus, EPA has no changes to make to this discussion.

### 2. New Source Review and Prevention of Significant Deterioration Requirements

#### a. Approach Described in the Proposal

We provided a discussion of the new source review and prevention of significant deterioration programs in the preamble to the proposed rule. The Prevention of Significant Deterioration (PSD) and nonattainment New Source Review (NSR) programs contained in parts C and D of Title I of the CAA govern preconstruction review of any new or modified major stationary sources of air pollutants regulated under the CAA as well as any precursors to the formation of that pollutant when identified for regulation by the Administrator.<sup>37</sup> The EPA rules addressing these programs can be found at 40 CFR 51.165, 51.166, 52.21, 52.24, and Part 51, appendix S.

The PSD program applies when a major source located in an area that is designated as attainment or unclassifiable for any criteria pollutant is constructed or undergoes a major modification.<sup>38</sup> The nonattainment NSR program applies on a pollutant-specific basis when a major source constructs or modifies in an area that is designated as nonattainment for that pollutant. The minor NSR program addresses major and minor sources that undergo construction or modification activities that do not qualify as major, and it applies, as necessary to assure attainment, regardless of the designation of the area in which a source is located.

The PSD requirements include but are not limited to the following:

- Installation of Best Available Control Technology (BACT);
- Air quality monitoring and modeling analyses to ensure that a project's emissions will not cause or

contribute to a violation of any NAAQS or maximum allowable pollutant increase (PSD increment);

- Notification of Federal Land Manager of nearby Class I areas; and public comment on the permit.

To the extent necessary to address these PSD requirements for the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, SIPs are due no later than 3 years after the promulgation date. Generally, however, the owner or operator of any major stationary source or major modification obtaining a final PSD permit on or after the effective date of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS will be required, as a prerequisite for the PSD permit, to demonstrate that the emissions increases from the new or modified source will not cause or contribute to a violation of that new NAAQS. The EPA anticipates that individual sources will be able to complete this demonstration under the PSD regulations based on current guidance in EPA's Guideline on Air Quality Models, Appendix W of 40 CFR Part 51.

The owner or operator of a new or modified source will still be required to demonstrate compliance with the annual and 24-hour SO<sub>2</sub> increments, even when their counterpart NAAQS are revoked. The annual and 24-hour increments are established in the CAA and will need to remain in the PSD regulations because EPA does not interpret the CAA to authorize EPA to remove them. It appears necessary for Congress to amend the CAA to make appropriate changes to the statutory SO<sub>2</sub> increments. In 1990, the CAA was amended to accommodate PM<sub>10</sub> increments in lieu of the statutory TSP increments.

In association with the requirement to demonstrate compliance with the NAAQS and increments, the owner or operator of a new or modified source must submit for review and approval a source impact analysis and an air quality analysis. The source impact analysis, primarily a modeling analysis, must demonstrate that allowable emissions increases from the proposed source or modification, in conjunction with emissions from other existing sources will not cause or contribute to either a NAAQS or increment violation. The air quality analysis must assess the ambient air quality in the area that the proposed source or modification would affect.

For the air quality analysis, the owner or operator must submit in its permit application air quality monitoring data that shall have been gathered over a period of one year and is representative of air quality in the area of the proposed project. If existing data representative of

the area of the proposed project is not available, new data may need to be collected by the owner or operator of the source or modification. Where data is already available, it might be necessary to evaluate the location of the monitoring sites from which the SO<sub>2</sub> data were collected in comparison to any new siting requirements associated with the 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. If existing sites are inappropriate for providing the necessary representative data, then new monitoring data will need to be collected by the owner or operator of the proposed project.

Historically, EPA has allowed the use of several screening tools to help facilitate the implementation of the new source review program by reducing the permit applicant's burden, and streamlining the permitting process for de minimis circumstances. These screening tools include a significant emissions rate (SER), significant impact levels (SILs), and a significant monitoring concentration (SMC). The SER, as defined in tons per year for each regulated pollutant, is used to determine whether any proposed source or modification will emit sufficient amounts of a particular pollutant to require the review of that pollutant under the NSR permit program. EPA will consider whether to evaluate the existing SER for SO<sub>2</sub> to see if it would change substantially based on the NAAQS levels for the 1-hour averaging period. Historically, for purposes of defining the SER, we have defined a de minimis pollutant impact as one that results in a modeled ambient impact of less than approximately 4% of the short-term NAAQS. The current SER for SO<sub>2</sub> (40 tpy) is based on the impact on the 24-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. See 45 FR 52676, 52707 (August 7, 1980). We have typically used the most sensitive averaging period to calculate the SER, and we may want to evaluate the new 1-hour period for SO<sub>2</sub> because it is likely to represent the most sensitive averaging period for SO<sub>2</sub>.

The SIL, expressed as an ambient pollutant concentration (ug/m<sup>3</sup>), is used to determine whether the impact of a particular pollutant is significant enough to warrant a complete air quality impact analysis for any applicable NAAQS and increments. EPA has promulgated regulations under 40 CFR 51.165(b) which include SILs for SO<sub>2</sub> to determine whether a source's impact would be considered to cause or contribute to a NAAQS violation for the 3-hour (the secondary NAAQS), 24-hour or annual averaging periods. These SILs were originally developed in 1978 to limit the application of air quality dispersion models to a downwind

<sup>37</sup> The terms "major" and "minor" define the size of a stationary source, for applicability purposes, in terms of an annual emissions rate (tons per year, tpy) for a pollutant. Generally, a minor source is any source that is not "major." "Major" is defined by the applicable regulations—PSD or nonattainment NSR.

<sup>38</sup> In addition, the PSD program applies to non-criteria pollutants subject to regulation under the Act, except those pollutants regulated under section 112 and pollutants subject to regulation only under section 211(e).

distance of no more than 50 kilometers or to "insignificant levels." See 43 FR 26398, June 19, 1978. Through guidance, EPA has also allowed the use of SILs to determine whether or not it is necessary for a source to carry out a comprehensive source impact analysis and to determine the extent of the impact area in which the analysis will be carried out. The existing SILs for SO<sub>2</sub> were not developed on the basis of specific SO<sub>2</sub> NAAQS levels, so there may be no need to revise the existing SILs. Even upon revocation of the annual and 24-hour NAAQS, the corresponding SIL should still be useful for increment assessment. A SIL for the 1-hour averaging period does not exist, and would need to be developed for use with modeling for 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS and any 1-hour increments.

Finally, the SMC, also measured as an ambient pollutant concentration (µg/m<sup>3</sup>), is used to determine whether it may be appropriate to exempt a proposed project from the requirement to collect ambient monitoring data for a particular pollutant as part of a complete permit application. EPA first defined SMCs for regulated pollutants under the PSD program in 1980. See 45 FR 52676, 52709–10 (August 7, 1980). The existing SMC for SO<sub>2</sub>, based on a 24-hour averaging period, may need to be re-evaluated to consider the effect of basing the SMC on the 1-hour averaging period, especially in light of revocation of the NAAQS for the 24-hour averaging period. Third, even if the 1-hour averaging period does not indicate the need for a revised SMC for SO<sub>2</sub>, the fact that the original SMC for SO<sub>2</sub> is based on 1980 monitoring data (Lowest Detectable Level, correction factor of "5"), could be a basis for revising the existing value. More up-to-date monitoring data and statistical analyses of monitoring accuracy may yield a different—possibly lower—correction factor today. The new 1-hour NAAQS will not necessarily cause this result, but may provide a "window of opportunity" to re-evaluate the SMC for SO<sub>2</sub>.

States which have areas designated as nonattainment for the SO<sub>2</sub> NAAQS are directed to submit, as a part of the SIP due 18 months after an area is designated as nonattainment, provisions requiring permits for the construction and operation of new or modified stationary sources anywhere in the nonattainment area. Prior to adoption of the SIP revision addressing major source nonattainment NSR for SO<sub>2</sub> nonattainment areas, the requirements of 40 CFR part 51, appendix S will apply. Nonattainment NSR

requirements include but are not limited to:

- Installation of Lowest Achievable Emissions Rate (LAER) control technology;
- Offsetting new emissions with creditable emissions reductions;
- A certification that all major sources owned and operated in the State by the same owner are in compliance with all applicable requirements under the CAA;
- An alternatives and siting analysis demonstrating that the benefits of a proposed source significantly outweigh the environmental and social costs imposed as a result of its location, construction, or modification; and
- Public comment on the permit.

Minor NSR programs must meet the statutory requirements in section 110(a)(2)(C) of the CAA which requires " \* \* \* regulation of the modification and construction of any stationary source \* \* \* as necessary to assure that the [NAAQS] are achieved." These programs must be established in each State within 3 years of the promulgation of a new or revised NAAQS.

#### b. Comments and Responses

Several commenters stated that in order to avoid confusion and lag time as it relates to PSD/NSR and permitting activities, which must be taken by States following the promulgation of the revised NAAQS, EPA must provide guidance as soon as possible related to these issues. Commenters also stated that EPA must develop guidance as soon as possible to address the screening tools for PSD/NSR such as SILs, SERs, SMCs, and the development of increments. Several commenters also stated that guidance should be provided as it relates to the use of AERMOD to address PSD issues.

The EPA acknowledges that a decision to promulgate a new short-term SO<sub>2</sub> NAAQS will have implications for the air permitting process. The full extent of how a new short-term SO<sub>2</sub> NAAQS will affect the NSR process will need to be carefully evaluated. First, major new and modified sources applying for NSR/PSD permits will initially be required to demonstrate that their proposed emissions increases of SO<sub>2</sub> will not cause or contribute to a violation of any NAAQS or PSD increments for SO<sub>2</sub>, including the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. In addition, we believe that section 166(c) of the CAA authorizes EPA to consider the need to promulgate a new 1-hour increment. Historically, EPA has developed increments for each applicable averaging period for which a NAAQS has been promulgated. However,

increments for a particular pollutant do not necessarily need to match the averaging periods that have been established for NAAQS for the same pollutant. *Environmental Defense Fund, Inc. v. EPA*, 898 F.2d 183, 189–190 (DC Cir. 1990) (" \* \* \* the 'goals and purposes' of the PSD program, set forth in § 160, are not identical to the criteria on which the ambient standards are based.") Thus, we would need to evaluate the need for a new 1-hour SO<sub>2</sub> increment in association with the goals and purposes of the statutory PSD program requirements.

We agree with the commenters that there may be a need for EPA to provide additional screening tools or to revise existing screening tools that are frequently used under the NSR/PSD program for reducing the burden of completing SO<sub>2</sub> ambient air impact analyses. These screening tools include the SILs, as mentioned by the commenter, but also include the SER for emissions of SO<sub>2</sub> and the SMC for SO<sub>2</sub>. The existing screening tools apply to the averaging periods used to define the existing NAAQS for SO<sub>2</sub>, including the annual, 24-hour, and 3-hour averaging periods. EPA intends to evaluate the need for possible changes or additions to each of these useful screening tools for SO<sub>2</sub> due to the revision of the SO<sub>2</sub> NAAQS to provide for a 1-hour standard. We believe it is highly likely that in order to be most useful for implementing the new 1-hour averaging period for NSR purposes, new 1-hour screening values will be appropriate.

Finally, in response to the comment concerning the need for additional guidance as it relates to the use of AERMOD to address PSD issues, EPA anticipates providing additional technical guidance on modeling and analysis as a part of the SIP demonstration process. As stated previously, EPA intends to solicit public comment on guidance regarding modeling, and also solicit public comment on additional implementation planning guidance. However, EPA believes that the air quality models currently required for NSR/PSD permitting as provided in the EPA's *Guideline on Air Quality Models*, Appendix W of CFR 40 Part 51 would be appropriate for demonstrating compliance with the revised SO<sub>2</sub> NAAQS under these programs. At this time, EPA is not considering modifying the AERMOD dispersion model and its underlying science for predicting SO<sub>2</sub> concentrations to accommodate the revised NAAQS for SO<sub>2</sub>.

### c. Current Approach

In the preamble to the proposed regulation, EPA noted that "PSD permit requirements are effective on the promulgation date of a new or revised standard." However, this statement did not reflect an important distinction that needs to be clarified here. Under section 51.166(b)(49)(i) and 52.21(b)(50)(i) of EPA's regulations, a pollutant that has not been regulated previously would become a "regulated NSR pollutant" upon promulgation of a NAAQS. See, 75 FR 17004, 17018–19. However, in the case of pollutants that are already "regulated NSR pollutants," at the time a new NAAQS is promulgated or an existing NAAQS is revised, EPA interprets the CAA and EPA regulations to require implementation of the new or revised standard in the Federal PSD permitting process upon the effective date of any new or revised standards. Section 165(a)(3) of the CAA and section 52.21(k) of EPA's regulations require that a permit applicant demonstrate that it will not cause or contribute to a violation of "any" NAAQS. See, Memorandum from Stephen D. Page, Director of EPA Office of Air Quality Planning and Standards, "Applicability of the Federal Prevention of Significant Deterioration Permit Requirements to New and Revised National Ambient Air Quality Standards" (April 1, 2010).

Amendments to the existing PSD requirements set forth in EPA regulations concerning SILs, SERs and SMCs may involve notice and comment rulemaking which could take at least one year to complete. For PM<sub>2.5</sub>, EPA developed SERs under the initial NSR implementation requirements for PM<sub>2.5</sub>. See 73 FR 28321, May 16, 2008. The SILs and SMC for PM<sub>2.5</sub> are being developed under a subsequent rulemaking simultaneously with the promulgation of PM<sub>2.5</sub> increments, pursuant to a CAA schedule that allows EPA 2 years from the promulgation of new and revised NAAQS to promulgate increments. Under such an approach, SILs and SMC are not available until the increments are promulgated. States and industry have criticized that approach because it has left State permitting authorities without an EPA-approved de minimis value that could be used in determining the level of analysis that individual PSD sources must undergo, and could result in more detailed analyses for sources that will have only de minimis impacts on the NAAQS.

To address this concern, we believe it is appropriate to proceed with development of the PSD screening tools

in advance of an increment rulemaking to hasten their availability. In addition, we are assessing the possibility of developing interim screening tools that can be used by States prior to the completion of the SIP-development process if the States establish an appropriate record for individual permitting actions based on the supporting technical information provided by EPA. It is our expectation, that if such interim screening tools are appropriate, we would make the interim SIL and the supporting record for EPA's assessment available before the effective date of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS to facilitate more efficient PSD permit reviews once the new standard becomes effective.

### 3. General Conformity

#### a. Approach Described in the Proposal

Section 176(c) of the CAA requires that all Federal actions conform to an applicable implementation plan developed pursuant to section 110 and part D of the CAA. The EPA rules developed under section 176(c) prescribe the criteria and procedures for demonstrating and assuring conformity of Federal actions to a SIP. Each Federal agency must determine that any actions covered by the general conformity rule conform to the applicable SIP before the action is taken. The criteria and procedures for conformity apply only in nonattainment areas and those nonattainment areas redesignated to attainment since 1990 ("maintenance areas") with respect to the criteria pollutants under the CAA:<sup>39</sup> carbon monoxide (CO), lead (Pb), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>). The general conformity rules apply one year following the effective date of designations for any new or revised NAAQS.<sup>40</sup>

The general conformity determination examines the impacts of direct and indirect emissions related to Federal actions. The general conformity rule provides several options to satisfy air quality criteria, such as modeling or

<sup>39</sup> Criteria pollutants are those pollutants for which EPA has established a NAAQS under section 109 of the CAA.

<sup>40</sup> Transportation conformity is required under CAA section 176(c) (42 U.S.C. 7506(c)) to ensure that Federally supported highway and transit project activities are consistent with ("conform to") the purpose of the SIP. Transportation conformity applies to areas that are designated nonattainment, and those areas redesignated to attainment after 1990 ("maintenance areas" with plans developed under CAA section 175A) for transportation-related criteria pollutants. Due to the relatively small amounts of sulfur in gasoline and on-road diesel fuel, transportation conformity does not apply to the SO<sub>2</sub> NAAQS. 40 CFR 93.102(b)(1).

offsets, and requires the Federal action to also meet any applicable SIP requirements and emissions milestones. The general conformity rule also requires that notices of draft and final general conformity determinations be provided directly to air quality regulatory agencies and to the public by publication in a local newspaper.

### b. Current Approach

EPA did not receive any comments on this aspect of the discussion in the proposal and expects to follow that approach.

#### E. Transition From the Existing SO<sub>2</sub> NAAQS to a Revised SO<sub>2</sub> NAAQS

##### a. Proposal

In addition to proposing a short-term 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA proposed to revoke the annual and 24-hour standards (annual 0.03 ppm and 24-hour 0.14 ppm). Specifically, EPA proposed that the level for the 1-hour standard for SO<sub>2</sub> be a range between 50–100 ppb, and took comment on setting the level of the standard up to 150 ppb. We explained that if the Administrator sets the 1-hour standard at 100 ppb or lower, EPA proposed to revoke the 24-hour standard. If the Administrator set the level of the 1-hour standard between a range of 100–150 ppb, then EPA proposed to retain the 24-hour standard.

We explained that if EPA revised the SO<sub>2</sub> NAAQS and revoked either the annual or 24-hour standard, EPA would need to promulgate adequate anti-backsliding provisions. The CAA establishes anti-backsliding requirements where EPA relaxes a NAAQS. Here, in EPA replacing the annual and 24-hour standards with a short term 1-hour standard, EPA must address the section 172(e) anti-backsliding provision of the CAA and determine whether it applies on its face or by analogy, and what provisions are appropriate to provide for transition to the new standard. States will need to insure that the health protection provided under the prior SO<sub>2</sub> NAAQS continues to be achieved as well as maintained as States begin to implement the new NAAQS. This means that States are directed to continue implementing attainment and maintenance SIPs associated with the prior SO<sub>2</sub> NAAQS until such time as they are subsumed by any new planning and control requirements associated with the new NAAQS.

Whether or not section 172(e) directly applies to EPA's final action on the SO<sub>2</sub> NAAQS, EPA has previously looked to other provisions of the CAA to determine how to address anti-

backsliding. The CAA contains a number of provisions that indicate Congress's intent to not allow provisions from implementation plans to be altered or removed if the plan revision would jeopardize the air quality protection being provided by the existing plan when EPA revises a NAAQS to make it more stringent. For example, section 110(l) provides that EPA may not approve a SIP revision if it interferes with any applicable requirement concerning attainment and RFP, or any other applicable requirement under the CAA. In addition, section 193 of the CAA prohibits the modification of a control, or a control requirement, in effect or required to be adopted as of November 15, 1990 (*i.e.*, prior to the promulgation of the Clean Air Act Amendments of 1990), unless such a modification would ensure equivalent or greater emissions reductions. Further, section 172(e) of the CAA specifies that if EPA revises a NAAQS to make it less stringent than a previous NAAQS, control obligations no less stringent than those that apply in nonattainment area SIPs may not be relaxed, and adopting those controls that have not yet been adopted as needed may not be avoided. The intent of Congress, concerning the aforementioned sections of the CAA, was confirmed in a recent DC Circuit Court opinion on the Phase I ozone implementation rule. *See South Coast Air Quality Management Dist. v. EPA*, 472 F.3d 882 (DC Cir. 2006).

To ensure that the anti-backsliding provisions and principles of section 172(e) are met and applied upon EPA revocation of the annual and 24-hour standards, EPA is providing that those SO<sub>2</sub> NAAQS will remain in effect for one year following the effective date of the initial designations under section 107(d)(1) for the new SO<sub>2</sub> NAAQS before the current NAAQS are revoked in most attainment areas. However, any existing SIP provisions under CAA sections 110, 191 and 192 associated with the annual and 24-hour SO<sub>2</sub> NAAQS will remain in effect, including all currently implemented planning and emissions control obligations, including both those in the State's SIP and that have been promulgated by EPA in FIPs. This will ensure that both the new nonattainment NSR requirements and the general conformity requirements for a revised standard are in place so that there will be no gap in the public health protections provided by these two programs. It will also ensure that all nonattainment areas under the annual and/or 24-hour NAAQS and all areas for which SIP calls have been issued will

continue to be protected by currently required control measures.

EPA is also providing that the annual and 24-hour NAAQS remain in place for any current nonattainment area, or any area for which a State has not fulfilled the requirements of a SIP call, until the affected area submits, and EPA approves, a SIP with an attainment, implementation, maintenance and enforcement SIP which fully addresses the attainment and maintenance requirements of the new SO<sub>2</sub> NAAQS. This, in combination with the CAA mechanisms provided in sections 110(l), 193, and 172(e) will help to ensure that continued progress is made toward timely attainment of the SO<sub>2</sub> NAAQS. Also, in light of the nature of the new SO<sub>2</sub> NAAQS, the lack of classifications (and mandatory controls associated with such classifications pursuant to the CAA), and the small number of current nonattainment areas, and areas subject to SIP calls, EPA believes that retaining the current standard for a limited period of time until attainment and maintenance SIPs are approved for the new standard in current nonattainment areas and SIP call areas, and one year after designations in other areas, will adequately serve the anti-backsliding requirements and goals of the CAA.<sup>41</sup>

#### b. Comments and Responses

Several commenters stated that they support EPA's proposal stating that the annual and 24-hour SO<sub>2</sub> NAAQS EPA would remain in effect for one year following the effective date of the initial designations under section 107(d)(1) for the revised SO<sub>2</sub> NAAQS before the current NAAQS are revoked in most attainment areas. The commenters also support EPA's proposal that any existing SIP provisions under CAA sections 110, 191 and 192 associated with the annual and 24-hour SO<sub>2</sub> NAAQS would remain in effect, including all currently implemented planning and emissions control obligations, including both those in the State's SIP and that have been promulgated by EPA in FIPs. Several commenters also stated that they support EPA's proposal that an area's nonattainment designation and the subsequent CAA requirements under the current SO<sub>2</sub> NAAQS will remain in effect until the affected State submits,

and EPA approves a SIP which meets all of the relevant CAA requirements for the affected nonattainment area. EPA appreciates the support of the commenters on its strategy for addressing the anti-backsliding requirements related to the current and revised SO<sub>2</sub> standard, pursuant to section 172(e) of the CAA.

One commenter, however, stated that while they support EPA's proposal to address the anti-backsliding provisions of section 172(e) of the CAA, they believe that EPA's proposal is deficient in several respects. The commenter stated that EPA's proposal to not terminate the annual and 24-hour standards for SO<sub>2</sub> in any nonattainment area, or any area for which a State has not fulfilled the requirements of a SIP call, until after the affected area submits and EPA approves a SIP with an attainment demonstration which fully "addresses" the attainment requirements of the revised SO<sub>2</sub> NAAQS is flawed. The commenter states that EPA's use of the term "addresses" is impermissibly and arbitrarily ambiguous and that the agency needs to clarify that "fully addressing" the attainment requirements of the revised NAAQS actually means providing for timely attainment of the NAAQS, and the submittal of a SIP that fully meets all of the requirements of section 110 and part D of Title I of the CAA, including sections 172, 173, and 191-193 of the CAA.

Another commenter stated that the 24-hour SO<sub>2</sub> standard should not be revoked in attainment areas until EPA approves section 110(a)(2) "infrastructure" SIPs under the new 1-hour standard for such areas, in order to avoid delays in between attainment designation and such SIP approvals resulting in leaving the public unprotected or creating inter-state conflict that triggers section 126 petitions. This commenter further stated that the annual SO<sub>2</sub> standard should not be revoked until EPA approves SIPs in attainment areas under the future SO<sub>2</sub> secondary standard, which may also be based on an annual averaging time.

EPA agrees with the comment made by the commenter regarding the need to approve SIPs in nonattainment areas (and in SIP call areas) before revoking the 24-hour and annual NAAQS for such areas. EPA clarifies that for those areas designated as nonattainment for the current NAAQS, or areas which have not met the requirements of a SIP call, that the State must submit a SIP that meets all of the applicable CAA requirements as they relate to section 110 and part D of Title I of the CAA, including sections 110(a), 172, 173, and 191-193 of the CAA. In addition to the

<sup>41</sup> The areas that are currently designated as nonattainment for the pre-existing SO<sub>2</sub> primary NAAQS are Hayden, AZ; Armstrong, PA; Laurel, MT; Piti, GU; and Tanguisson, GU. The areas that are designated nonattainment for both the primary and the secondary standards are East Helena, MT, Salt Lake Co, MT, Toole Co, UT, and Warren Co, NJ. (*See* <http://www.epa.gov/oar/oaqps/greenbk/inc.html>). The Billings/Laurel, MT, area is the only area currently subject to a SIP call.

submittal of the SIP related to these requirements, EPA must approve the submittal for the area before the current standard can be revoked for the affected area.

EPA disagrees with the comment. This rulemaking concerns only the primary standards for SO<sub>2</sub>. 74 FR at 64812 n. 2. The annual SO<sub>2</sub> standard is a primary standard, not a secondary standard. See 40 CFR section 50.4 (a). The exclusive secondary standard for SO<sub>2</sub> is the 3-hour standard codified in 40 CFR section 50.5. EPA is not determining the adequacy of this secondary standard in this review or this rulemaking, as just noted. The commenter's request to retain the annual primary standard until SIPs reflecting a new secondary standard are approved is effectively a request to amend the present secondary standard, and is therefore inappropriate given the scope of this review. In any case, in the event that any substantive responsive to this comment is required, air quality information indicates that a 1-hour standard of 75 ppb is estimated to generally keep annual SO<sub>2</sub> concentrations well below the level of the current annual standard. 74 FR at 64845. Thus, there would be no loss of protection to public welfare due to revocation of the annual primary standard.

EPA further disagrees with the commenter's request that we not revoke the 24-hour standard in attainment areas before section 110(a)(2) "infrastructure" SIPs are approved under the new 1-hour SO<sub>2</sub> standard. An area that has shown it has attained the 24-hour standard and that is not the subject of a SIP call, even after revocation of the 24-hour standard, will still have in its SIP its prior "infrastructure" SIP elements. There is no need to delay revocation when that will not cause the area to become subject to a new SIP under the new 1-hour NAAQS any faster than the statute already requires (*i.e.*, three years from the date of promulgation of the new NAAQS). Furthermore, as we have explained in sections III, IV, V and VI of this preamble, all areas are required by section 110(a)(1) of the Clean Air Act to submit such SIPs by June 2013, and we expect that to be approved they will all need to show attainment, implementation, maintenance and enforcement of the new NAAQS as expeditiously as practicable, which we believe is no later than August 2017. EPA believes this anticipated approach would more than sufficiently address the backsliding concerns raised by the commenter.

#### c. Final

EPA is making no changes to the proposed rule's discussion of the transition strategy discussion for SO<sub>2</sub> with the exception of the clarifications noted above.

#### VII. Appendix T—Interpretation of the Primary NAAQS for Oxides of Sulfur and Revisions to the Exceptional Events Rule

EPA proposed to add Appendix T, Interpretation of the Primary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Sulfur, to 40 CFR Part 50 in order to provide monitoring data handling procedures for the proposed SO<sub>2</sub> 1-hour primary standard. The proposed section 50.17 which sets the averaging period, level, indicator, and form of the NAAQS referred to this Appendix T. The proposed Appendix T detailed the computations necessary for determining when the proposed 1-hour primary SO<sub>2</sub> NAAQS is met based on data from ambient monitoring and also addressed monitoring data reporting, data completeness considerations, and rounding conventions.

EPA proposed two versions of Appendix T. The first applied to a 1-hour primary standard based on the annual 4th high value form, while the second applied to a 1-hour primary standard based on the 99th percentile daily value form. The final version of the Appendix reflects our choice to adopt the 99th percentile daily form (*see* section II. E.3 above).

For the 1-hour primary standard, EPA proposed monitoring data handling procedures, a cross-reference to the Exceptional Events Rule, a grant of discretion for the Administrator to consider otherwise incomplete monitoring data to be complete, and a provision addressing the possibility of there being multiple SO<sub>2</sub> monitors at one site. EPA is finalizing these proposals, with one change from the proposal with regard to the multiple monitor provision.

EPA is also making certain drafting changes to the proposed regulatory text to clarify certain points and to assure that the regulatory text conforms with EPA's intentions as stated in the preamble. Specifically, EPA has slightly edited the text of the rule from that proposed by adding the phrase "at an ambient air monitoring site" to section 50.17 (b) and to section 1.1 of Appendix T to part 50, and also by adding a section 50.17 (c) stating that the level of the standard is to be measured by an FRM found in Appendix A or A-1 to Part 50, or by a properly designated FEM. Both of these provisions are being

added to conform the text of the new 1-hour standard to the language of other NAAQS. *See, e.g.* the text of the 8-hour primary standard for ozone in section 50.10 (a) and (b). The reference to "at an ambient monitoring site" makes clear that the regulatory text refers to situations where compliance with a NAAQS is measured by means of monitoring. This text does not restrict or otherwise address approaches which EPA or States may use to implement the new 1-hour NAAQS, which may include, for example, use of modeling (*see* sections III—VI above). *See* CAA sections 107 (d) (3) (A) (any "air quality data" may be used for redesignations); 110 (a) (1) (which does not address the issue of the types of data States may use in devising plans for implementation, maintenance, and enforcement of a primary NAAQS); 192 (a) (which does not specify the types of data that may support a demonstration that a non-attainment area has attained a NAAQS). Similarly, EPA notes that Appendix T applies when ambient monitoring data is gathered and utilized in support of the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. As noted in sections III, IV, V, and VI above, there are circumstances when EPA is considering use of modeling in the SO<sub>2</sub> NAAQS implementation effort, and other considerations would apply if and to the extent modeling is utilized.

The EPA is also making SO<sub>2</sub>-specific changes to the deadlines in 40 CFR 50.14, by which States must flag ambient air data that they believe have been affected by exceptional events and submit initial descriptions of those events, and to the deadlines by which States must submit detailed justifications to support the exclusion of those data from EPA monitoring-based determinations of attainment or nonattainment with the NAAQS.

#### A. Interpretation of the Primary NAAQS for Oxides of Sulfur

The purpose of a monitoring data interpretation rule for the SO<sub>2</sub> NAAQS is to give effect to the form, level, averaging time, and indicator specified in the regulatory text at 40 CFR 50.17, anticipating and resolving in advance various future ambiguities that could otherwise occur regarding use of ambient monitoring data. The new Appendix T provides definitions and requirements that apply to the new 1-hour primary standard for SO<sub>2</sub>. The requirements concern how ambient monitoring data are to be reported, what ambient monitoring data are to be considered (including the issue of which of multiple monitors' data sets will be used when more than one monitor has operated at a site), and the

applicability of the Exceptional Events Rule to the primary SO<sub>2</sub> NAAQS.

### 1. Proposed Interpretation of the Standard Based on Data From Ambient Monitoring

With regard to monitoring data completeness for the proposed 1-hour primary standard, the proposed Appendix T followed past EPA practice for other NAAQS pollutants by requiring that in general at least 75% of the monitoring data that should have resulted from following the planned monitoring schedule in a period must be available for the key air quality statistic from that period to be considered valid. For the 1-hour primary SO<sub>2</sub> NAAQS, the key air quality statistics are the daily maximum 1-hour concentrations in three successive years. It is important that sampling within a day encompass the period when concentrations are likely to be highest and that all seasons of the year are well represented. Hence, the 75% requirement was proposed to be applied at the daily and quarterly levels.

Recognizing that there may be years with incomplete data, the proposed Appendix T for the 99th percentile form provided that a design value derived from incomplete monitoring data will nevertheless be considered valid if the relevant one of two diagnostic substitution tests validated such a design value as being either above the NAAQS level or equal to or below the NAAQS level.

The first proposed diagnostic data substitution test, relevant when the design value derived from incomplete data was equal to or below the NAAQS level, was intended to identify those cases with incomplete monitoring data in which it nevertheless is very likely, if not virtually certain, that the daily 1-hour design value would have been observed to be less than or equal to the level of the NAAQS if monitoring data had been minimally complete. This test involved the substitution of a high historical concentration for any missing data. The second proposed diagnostic data substitution test, relevant when the design value derived from incomplete data was above the NAAQS level, was intended to identify those cases with incomplete monitoring data in which it nevertheless is very likely, if not virtually certain, that the daily 1-hour design value would have been observed to be above the level of the NAAQS if monitoring data had been minimally complete. This test involved the substitution of a low historical concentration for any missing data.

It should be noted that one possible outcome of applying the relevant

proposed substitution test is that a 3-year period with incomplete monitoring data may nevertheless be determined to not have a valid design value and thus to be unusable in making 1-hour primary NAAQS compliance determinations based on monitoring for that 3-year period.

Also, we proposed that the Administrator have general discretion to use incomplete monitoring data based on case specific factors, either at the request of a State or at her own initiative. Similar provisions existed already for some other NAAQS.

The 99th percentile version of the proposed Appendix T provided a table for determining which day's maximum 1-hour concentration will be used as the 99th percentile concentration for the year. The proposed table is similar to one used now for the 24-hour PM<sub>2.5</sub> NAAQS and the new 1-hour NO<sub>2</sub> NAAQS, which are both based on a 98th percentile form, but adjusted to reflect a 99th percentile form for the 1-hour primary SO<sub>2</sub> standard. The proposed Appendix T also provided instructions for rounding (not truncating) the average of three annual 99th percentile hourly concentrations before comparison to the level of the primary NAAQS.

### 2. Comments on Interpretation of the Standard

Several commenters expressed support for EPA's proposed 75% completeness requirement for daily and quarterly monitoring data. A comment was received that the substitution test should not be used to make attainment or non-attainment designations. This commenter also said that the same completeness requirement as used for nonattainment should be used for attainment. Another commenter agreed that there should be completeness criteria, but thought that monitoring data should be substituted to make the set only 75% complete. We received one comment that the computation of design values where multiple monitors are present at a site should be averaged and not taken from a designated primary monitor. We received no comment on the provision which would afford the Administrator (or her delegatee) discretion to use incomplete monitoring data based on specified factors and accordingly are adopting that provision as proposed.

### 3. Conclusions on Interpretation of the Standard

Consistent with the Administrator's decision to adopt a 99th percentile form for the 1-hour NAAQS, the final version of Appendix T is based on that form.

We agree with the three comments expressing the view that the requirement for 75% monitoring data completeness per quarter should apply with respect to the 1-hour standard. The final rule includes this requirement.

We agree that nonattainment based on data from ambient monitoring should not be declared without a very high confidence that actual air quality did not meet the NAAQS, but we believe the proposed (and final) substitution test provides this irrefutable proof. In the relevant substitution test (Appendix T section 3.c.iii), the lowest daily maximum concentration observed in the same calendar quarter within the 3-year period is the value used in the substitution. Moreover, to guard against the possibility that even this lowest observed value is unrepresentative because only a small number of days that happened to have had poor air quality have valid monitoring data, substitution is permitted only if there are at least 200 days across the three matching quarters of the three years under consideration for which 75 percent of the hours in the day have reported concentrations. (If less than 200 days are available, the outcome is that no conclusion can be reached based on data from monitoring as to whether the NAAQS is met, an outcome which satisfies the concern expressed by the commenter.) While it is conceivable that the actual daily maximum concentration on the day(s) without sufficiently complete data could have been even lower than the value selected as the substitute value, the value that is selected for substitution will be quite low, and therefore it is extremely unlikely to be a candidate for selection as the annual 99th percentile daily maximum concentration. The actual effect of the data substitution, if any, is to change which of the actually observed and ranked daily maximum concentrations during the year is identified as the 99th percentile; the direction of the change, if any, will always be towards a lower design value. For example, if the substitution test of section 3.c.iii is used because there is one quarter of 92 days is missing 70 of its 92 daily maximum concentration values; causing there to be only 295 days with valid daily values for the whole year, it would be necessary to substitute 47 values to make that quarter 75 percent complete. This would result in 343 days of actual or substituted monitoring data for the year. The increase from 292 days to 342 days would cause the annual 99th percentile value to shift from the 3rd highest value to the 4th highest. Since a low



concentration is being used for the substitution, it is impossible for the 4th highest value to itself be a substituted value. If this shift results in the 3-year design value remaining above the NAAQS, the failure to meet the NAAQS is confirmed. If this shift results in the 3-year design value changing to be equal to or below the NAAQS, under the terms of the substitution test the outcome is that no conclusion could be reached based on this ambient monitoring data as to whether the NAAQS is met. Since either the same or a lower ranking actually measured concentration will always be identified, it is impossible for the outcome of the substitution test of section 3.c.iii to be that an area truly meeting the NAAQS based on ambient monitoring data is determined to not meet it based on ambient monitoring data.

The commenter who said that the same completeness requirement should be used for nonattainment as for attainment appears to have been referring to a particular feature of the proposed diagnostic substitution test rather than to the basic completeness requirement of 75%, which in both the proposal and the final rule applies equally to both attainment and nonattainment situations. This particular feature is discussed in the next paragraph.

The commenter who said that it is appropriate to substitute data to make the set only 75% complete appears to have taken note that in the proposed substitution test relevant in the case of an incomplete design value equal to or below the NAAQS (section 3.c.ii), data are substituted until 100% completeness is reached for the affected quarter, while in the test relevant in the case of an incomplete design value above the NAAQS (section 3.c.iii) data are substituted only until 75% completeness is reached. EPA believes this distinction is appropriate, and we have retained the 100% substitution limit in the final rule. In the case of an incomplete design value that is equal to or below the NAAQS, the concern is that the actual concentrations on the days without a valid daily maximum 1-hour concentration may have been quite high such that the concentration on one of those days would have been selected as the annual 99th percentile value. To be selected as the annual 99th percentile value, a daily maximum must be ranked no lower than the 4th highest daily value for the year. If substitution stopped when 75% of the days in a quarter had an actual or substituted value, there could be a situation in which only one, two, or three historical high values would need to be

substituted to reach the 75% limit. It would therefore be possible for one of the actually measured concentrations (for the same or another quarter) to be identified as the annual 99th percentile value even if the substitution value is higher than any value actually measured, defeating the very purpose of the diagnostic test for an incomplete design value below the NAAQS, which is to essentially rule out the possibility of not meeting the NAAQS (when making monitoring-based determinations). The simplest way to ensure that at least four values are substituted (when there are at least four missing daily values) is to require substitution up to the 100% limit.

With regard to situations with multiple monitors operating at one site, we note that there are few cases of this situation for SO<sub>2</sub> monitoring. Of over 500 SO<sub>2</sub> monitoring sites in operation any time during 2007–2009, for example, only seven stations reported 1-hour data to the Air Quality System under two or more distinct Pollutant Occurrence Codes (POC). In the same period, collocated monitors reported data to AQS under distinct POCs for only one of over 400 nitrogen dioxide sites, for only two of almost 400 carbon monoxide sites, and for only eight of almost 1300 ozone sites. Even so, we believe it is important to have a well defined monitor data handling procedure for such situations. Also, there is a practical advantage in implementation if the same or similar procedure is used across NAAQS pollutants especially for these four gaseous pollutants that are measured on a 1-hour basis. A procedure that is simple to implement also has advantages in implementation. Finally, the procedure should not introduce any upward or downward bias in the determination of the design value for the monitoring site.<sup>42</sup>

The proposed procedure for multiple SO<sub>2</sub> monitors was the same as EPA recently proposed and finalized for the new 1-hour NAAQS for nitrogen dioxide, where there were no adverse comments received on the proposal (75 FR 6474, February 9, 2010). It is also the same as recently proposed in the

<sup>42</sup> Selecting the maximum or minimum observed concentration for an hour, the maximum or minimum annual 99th percentile, or the maximum or minimum three-year design value would introduce such a bias. Averaging multiple 1-hour measurements when available, designating one monitor as primary and using a second monitor's measurement only when the primary monitor fails to give a valid measurement, or simply choosing to use the data record from only one of the monitors (on some basis that is independent of the concentration values obtained) would not introduce such a bias.

reconsideration of the 8-hour ozone NAAQS (75 FR 2938, January 19, 2010). In the proposed procedure, in general, data from two monitors would never be mixed within a year but data from different monitors in different years could be used to calculate the 3-year design value. As noted above, one commenter on the SO<sub>2</sub> proposal suggested that instead of designating a primary monitor when there are two monitors at a site, the measurements for an hour from multiple monitors should be averaged instead. EPA has also received at least one comment disagreeing with the recent proposal regarding multiple ozone monitors. The comment in the ozone rulemaking favored hour-by-hour substitution of data from a secondary monitor when the designated primary monitor has not given a value measurement, as opposed to the proposed restriction against mixing data within a year. These comments have caused us to rethink the direction set in the final NO<sub>2</sub> rule and in the proposals for SO<sub>2</sub> and ozone. We now believe that substitution of monitoring data hour-by-hour is an acceptable and in some ways superior approach to the other possible approaches, while averaging hour-by-hour would be unduly complex. Also, averaging hour-by-hour might not be transparent depending on whether the averaging is done at the monitoring agency before submission to EPA or by EPA as part of calculating a design value. However, in light of the rarity of collocated monitors, it would be an unwarranted demand on limited EPA resources to develop and maintain software for hour-by-hour data substitution. Also, an hour-by-hour data substitution approach depends on the advance designation of a primary monitor, which itself could introduce confusion and would require software changes to EPA's data system. Therefore, EPA believes that the most practical, and still a technically valid approach, is to allow monitoring agencies the option of hour-by-hour substitution between secondary and primary monitors before submission of data to EPA, and for EPA to select for use in calculating design values the one monitoring data record which has the highest degree of completeness for a given year. The final rule is based on this approach. EPA will also consider this approach when finalizing the ozone NAAQS reconsideration rule, and when proposing data interpretation provisions for a planned rulemaking to review the carbon monoxide NAAQS. The already finalized procedures for nitrogen dioxide data interpretation will be

implemented as promulgated, but will affect only an extremely small number of collocated SO<sub>2</sub> monitoring situations.

Finally, as proposed, the final version of Appendix T has a cross reference to the Exceptional Events Rule (40 CFR 50.14) with regard to the exclusion of monitoring data affected by exceptional events. In addition, the specific steps for including such data in completeness calculations while excluding such data from actual design value calculations is clarified in Appendix T.

#### *B. Exceptional Events Information Submission Schedule*

The Exceptional Events Rule at 40 CFR 50.14 contains generic deadlines for a State to submit to EPA specified information about exceptional events and associated air pollutant concentration data. A State must initially notify EPA that data have been affected by an event by July 1 of the calendar year following the year in which the event occurred; this is done by flagging the data in AQS and providing an initial event description. The State must also, after notice and opportunity for public comment, submit a demonstration to justify any claim within 3 years after the quarter in which the data were collected. However, if a regulatory decision based on the data (for example, a designation action) is anticipated, the schedule to flag data in AQS and submit complete documentation to EPA for review is shortened, and all information must be submitted to EPA no later than one year before the decision is to be made.

These generic deadlines are suitable for the period after initial designations have been made under a NAAQS, when the decision that may depend on data exclusion is a redesignation from attainment to nonattainment or from nonattainment to attainment. However, these deadlines present problems with respect to initial designations under a newly revised NAAQS. One problem is that some of the deadlines, especially the deadlines for flagging some relevant data, may have already passed by the time the revised NAAQS is promulgated. Until the level and form of the NAAQS have been promulgated a State does not know whether the criteria for excluding data (which are tied to the level and form of the NAAQS) were met on a given day. Another problem is that

it may not be feasible for information on some exceptional events that may affect final designations to be collected and submitted to EPA at least one year in advance of the final designation decision. This could have the unintended consequence of EPA designating an area nonattainment because of uncontrollable natural or other qualified exceptional events.

The Exceptional Events Rule at section 50.14(c)(2)(v) indicates "when EPA sets a NAAQS for a new pollutant, or revises the NAAQS for an existing pollutant, it may revise or set a new schedule for flagging data for initial designation of areas for those NAAQS."

For the specific case of SO<sub>2</sub>, the signature date for the revised SO<sub>2</sub> NAAQS is June 2, 2010. State/Tribal area designations recommendations will be due by June 2, 2011, and EPA will make initial area designations under the revised NAAQS by June 1, 2012 (since June 2, 2012 would be on a Saturday) and will be informed by air quality data from the years 2008–2010 or 2009–2011 if there is sufficient data for these data years and by any refined modeling that is conducted. (See Sections III, V and VI above for more detailed discussions of the designation schedule and what data EPA expects to use.) Because final designations would be made by June 1, 2012, all events to be considered during the designations process would have to be flagged and fully documented by States one year prior to designations, by June 1, 2011. A State would not be able to flag and submit documentation regarding events that occurred between June to December 2011 by one year before designations are made in June 2012.

EPA is adopting revisions to 40 CFR 50.14 only to change submission dates for information supporting claimed exceptional events affecting SO<sub>2</sub> data. The rule text at the end of this notice shows the changes that will apply to the new 1-hour SO<sub>2</sub> NAAQS. For air quality data collected in 2008, we are extending the generic July 1, 2009 deadline for flagging data (and providing a brief initial description of the event) to October 1, 2010. EPA believes this extension will provide adequate time for States to review the impact of exceptional events from 2008 on the revised standard and notify EPA by flagging the relevant data in AQS. EPA

is not changing the foreshortened deadline of June 1, 2011 for submitting documentation to justify an SO<sub>2</sub>-related exceptional event from 2008. We believe the generic deadline provides adequate time for States to develop and submit proper documentation.

For data collected in 2009, EPA is extending the generic deadline of July 1, 2010 for flagging data and providing initial event descriptions to October 1, 2010. EPA is retaining the deadline of June 1, 2011 for States to submit documentation to justify an SO<sub>2</sub>-related exceptional event from 2009. For data collected in 2010, EPA is promulgating a deadline of June 1, 2011 for flagging data and providing initial event descriptions and for submitting documentation to justify exclusion of the flagged data. EPA believes that this deadline provides States with adequate time to review and identify potential exceptional events that occur in calendar year 2010, even for those events that might occur late in the year. EPA believes these deadlines will be feasible because experience suggests that exceptional events affecting SO<sub>2</sub> data are few in number and easily assessed, so no State is likely to have a large workload.

If a State intends 2011 data to be considered in SO<sub>2</sub> designations, 2011 data must be flagged and detailed event documentation submitted 60 days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or by March 31, 2012, whichever date occurs first. Again, EPA believes these deadlines will be feasible because experience suggest that exceptional events affecting SO<sub>2</sub> data are few in number and easily assessed, so no State is likely to have a large workload.

Table 1 summarizes the designation deadlines discussed in this section and provides designation schedule information from recent, pending or prior NAAQS revisions for other pollutants. EPA is revising the final SO<sub>2</sub> exceptional event flagging and documentation submission deadlines accordingly to provide States with reasonably adequate opportunity to review, identify, and document exceptional events that may affect an area designation under a revised NAAQS.



TABLE 1—SCHEDULE FOR EXCEPTIONAL EVENT FLAGGING AND DOCUMENTATION SUBMISSION FOR DATA TO BE USED IN DESIGNATIONS DECISIONS FOR NEW OR REVISED NAAQS

NAAQS pollutant/standard/(level)/promulgation date	Air quality data collected for calendar year	Event flagging & initial description deadline	Detailed documentation submission deadline
PM <sub>2.5</sub> /24-Hr Standard (35 µg/m <sup>3</sup> ) Promulgated October 17, 2006.	2004–2006	October 1, 2007 <sup>a</sup>	April 15, 2008 <sup>a</sup> .
	Ozone/8-Hr Standard (0.075 ppm) Promulgated March 12, 2008.	2005–2007	June 18, 2009 <sup>a</sup>
2008		June 18, 2009 <sup>a</sup>	June 18, 2009 <sup>a</sup> .
2009		60 Days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or February 5, 2010, whichever date occurs first <sup>b</sup> .	60 Days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or February 5, 2010, whichever date occurs first <sup>b</sup> .
NO <sub>2</sub> /1-Hour Standard (80–100 PPB, final level TBD).	2008	July 1, 2010 <sup>a</sup>	January 22, 2011 <sup>a</sup> .
	2009	July 1, 2010 <sup>a</sup>	January 22, 2011 <sup>a</sup> .
	2010	April 1, 2011 <sup>a</sup>	July 1, 2011 <sup>a</sup> .
SO <sub>2</sub> /1-Hour Standard (50–100 PPB, final level TBD).	2008	October 1, 2010 <sup>b</sup>	June 1, 2011 <sup>b</sup> .
	2009	October 1, 2010 <sup>b</sup>	June 1, 2011 <sup>b</sup> .
	2010	June 1, 2011 <sup>b</sup>	June 1, 2011 <sup>b</sup> .
	2011	60 Days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or March 31, 2012, whichever date occurs first <sup>b</sup> .	60 Days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or March 31, 2012, whichever date occurs first <sup>b</sup> .

<sup>a</sup> These dates are unchanged from those published in the original rulemaking, and are shown in this table for informational purposes—the Agency is not opening these dates for comment under this rulemaking.

<sup>b</sup> Indicates change from general schedule in 40 CFR 50.14.

Note: EPA notes that the table of revised deadlines *only* applies to data EPA will use to establish the final initial designations for new or revised NAAQS. The general schedule applies for all other purposes, most notably, for data used by EPA for redesignations to attainment.

Note further that EPA is reprinting portions of this Table in section 5014 but, with respect to the pollutants other than SO<sub>2</sub>, is doing so only for readers' convenience and is not reopening or otherwise reconsidering any aspect of the rules related to these other pollutants.

**VIII. Communication of Public Health Information**

Information on the public health implications of ambient concentrations of criteria pollutants is currently made available primarily through EPA's Air Quality Index (AQI) program. The current AQI has been in use since its inception in 1999 (64 FR 42530). It provides accurate, timely, and easily understandable information about daily levels of pollution (40 CFR 58.50). The AQI establishes a nationally uniform system of indexing pollution levels for nitrogen dioxide, carbon monoxide, ozone, particulate matter and SO<sub>2</sub>. The AQI converts pollutant concentrations in a community's air to a number on a scale from 0 to 500. Reported AQI values enable the public to know whether air pollution levels in a particular location are characterized as good (0–50), moderate (51–100), unhealthy for sensitive groups (101–150), unhealthy (151–200), very unhealthy (201–300), or hazardous (300–500). The AQI index value of 100 typically corresponds to the level of the short-term primary NAAQS for each pollutant. An AQI value greater than

100 means that a pollutant is in one of the unhealthy categories (*i.e.*, unhealthy for sensitive groups, unhealthy, very unhealthy, or hazardous) on a given day; an AQI value at or below 100 means that a pollutant concentration is in one of the satisfactory categories (*i.e.*, moderate or good). Decisions about the pollutant concentrations at which to set the various AQI breakpoints, that delineate the various AQI categories, draw directly from the underlying health information that supports the review of the primary NAAQS.

The Agency recognizes the importance of revising the AQI in a timely manner to be consistent with any revisions to the primary NAAQS. Therefore, EPA proposed to finalize conforming changes to the AQI in connection with the Agency's final decision on the SO<sub>2</sub> NAAQS. Conforming changes that were proposed include setting the 100 level of the AQI at the same level as the revised primary SO<sub>2</sub> standard if a short-term primary standard was promulgated, and revising the other AQI breakpoints at the lower end of the AQI scale (*i.e.*, AQI values of 50 and 150). EPA did not propose to change breakpoints at the higher end of the AQI scale (from 200 to 500), which would apply to State contingency plans or the Significant Harm Level (40 CFR 51.16), because the information from this review does not inform decisions about breakpoints at those higher levels.

With regard to an AQI value of 50, the breakpoint between the good and

moderate categories, historically this value is set at the level of the annual NAAQS, if there is one, or one-half the level of the short-term NAAQS in the absence of an annual NAAQS (63 FR 67823, Dec. 12, 1998). Taking into consideration this practice, EPA proposed to set the AQI value of 50 to be between 25 and 50 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average; stating that concentrations toward the lower end of this range would be appropriate if the standard was set at the lower end of the range of proposed standard levels, while concentrations toward the higher end of this range would be more appropriate if the standard was set at the higher end of the range of proposed standard levels. EPA solicited comments on this range for an AQI value of 50 and the appropriate basis for selecting an AQI value of 50.

With regard to an AQI value of 150, the breakpoint between the unhealthy for sensitive groups and unhealthy categories, historically values between the short-term standard and an AQI value of 500 are set at levels that are approximately equidistant between the AQI values of 100 and 500 unless there is health evidence that suggests a specific level would be appropriate (63 FR 67829, Dec. 12, 1998). For an AQI value of 150, EPA proposed to set the breakpoint within the range from 175 to 200 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average, since it represents the midpoint between the proposed range for the short-term

standard and the level of an AQI value of 200 (300 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average).

EPA received few comments on the proposed breakpoints. Consistent with the level of the short-term primary SO<sub>2</sub> standard promulgated in this rule, EPA is setting the AQI value of 100, the breakpoint between the moderate and unhealthy for sensitive groups category, at 75 ppb, 1-hour average. EPA is setting the AQI value of 50, the breakpoint between the good and moderate categories, at 35 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average, which is approximately one-half the level of the new short-term standard, since the annual SO<sub>2</sub> standard is being revoked. EPA is setting the AQI value of 150, the breakpoint between the unhealthy for sensitive groups and unhealthy categories, at 185 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average, which represents the approximate midpoint between the level of the new short-term standard (75 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average) and the level of an AQI value of 200 (300 ppb SO<sub>2</sub>, 1-hour average).

EPA received comments from several State environmental organizations and organizations of State and local air agencies about forecasting and reporting the AQI for SO<sub>2</sub>. These commenters expressed the view that forecasting hourly SO<sub>2</sub> concentrations would be difficult. One commenter requested that EPA delay the forecasting requirement for one year and other agencies requested that EPA provide assistance in developing a forecast model. Another commenter expressed the view that it is impractical to incorporate SO<sub>2</sub> into its forecasting and public health notification program because SO<sub>2</sub> does not behave like a regional pollutant, and that exceedances may occur with little or no warning and for two hours or less. This commenter requested EPA consider the resources necessary for public communications at the State and local levels, particularly in areas where other air quality exceedances are relatively rare.

EPA recommends and encourages air quality forecasting but it is not required (64 FR 42548; August 4, 1999). We agree that there will be new challenges associated with creating and communicating an SO<sub>2</sub> forecast, and will work with State and local agencies that want to develop an SO<sub>2</sub> forecasting program on issues including, but not limited to, forecasting air quality for short time periods. We plan to work with State and local air agencies to figure out the best way to present this information to the public using the AQI.

With respect to the comment that it is impractical to incorporate SO<sub>2</sub> into a forecasting and public health notification program because SO<sub>2</sub> does

not behave like a regional pollutant, this final rule departs from the proposed rule in that it allows for a combined monitoring and modeling approach. Because of this, the monitoring network is not required to be wholly source-oriented in nature. States have flexibility to allow required monitoring sites to serve multiple monitoring objectives including characterizing source impacts, highest concentrations, population exposure, background, and regional transport. Further, EPA expects that much of the existing network will be retained by States to satisfy the minimum monitoring requirements. This means that it is unlikely that AQI reporting and forecasting will be heavily driven by source-oriented monitors. Rather, many of the existing monitors (a majority of which are community-wide monitors) will remain in place, which prevents the need for new geographic regions to be delineated. With respect to concerns expressed about the resources required to report the AQI in areas where exceedances of the standard are very rare, Appendix G to Part 58 specifies that if the index value for a particular pollutant remains below 50 for a season or year, then a State or local agency may exclude the pollutant from the calculation of the AQI.

#### IX. Statutory and Executive Order Reviews

##### *A. Executive Order 12866: Regulatory Planning and Review*

Under section 3(f)(1) of Executive Order 12866 (58 FR 51735, October 4, 1993), this action is an "economically significant regulatory action" because it is likely to have an annual effect on the economy of \$100 million or more. Accordingly, EPA submitted this action to the Office of Management and Budget (OMB) for review under EO 12866 and any changes made in response to OMB recommendations have been documented in the docket for this action. In addition, EPA prepared a Regulatory Impact Analysis (RIA) of the potential costs and benefits associated with this action. However, the CAA and judicial decisions make clear that the economic and technical feasibility of attaining the national ambient standards cannot be considered in setting or revising NAAQS, although such factors may be considered in the development of State implementation plans to implement the standards. Accordingly, although an RIA has been prepared, the results of the RIA have not been considered by EPA in developing this final rule.

When estimating the SO<sub>2</sub>- and PM<sub>2.5</sub>-related human health benefits and

compliance costs in Table 2 below, EPA applied methods and assumptions consistent with the state-of-the-science for human health impact assessment, economics and air quality analysis. EPA applied its best professional judgment in performing this analysis and believes that these estimates provide a reasonable indication of the expected benefits and costs to the nation of the selected SO<sub>2</sub> standard and alternatives considered by the Agency. The Regulatory Impacts Analysis (RIA) available in the docket describes in detail the empirical basis for EPA's assumptions and characterizes the various sources of uncertainties affecting the estimates below.

EPA's 2009 Integrated Science Assessment for Particulate Matter concluded, based on the scientific literature, that a no-threshold log-linear model most adequately portrays the PM-mortality concentration-response relationship. Nonetheless, consistent with historical practice and our commitment to characterizing the uncertainty in our benefits estimates, EPA has included a sensitivity analysis with an assumed threshold in the PM-mortality health impact function in the RIA. EPA has included a sensitivity analysis in the RIA to help inform our understanding of the health benefits which can be achieved at lower air quality concentration levels. While the primary estimate and the sensitivity analysis are not directly comparable, due to differences in population data and use of different analysis years, as well as the difference in the assumption of a threshold in the sensitivity analysis, comparison of the two results provide a rough sense of the proportion of the health benefits that occur at lower PM<sub>2.5</sub> air quality levels. Using a threshold of 10 µg/m<sup>3</sup> is an arbitrary choice (EPA could have assumed 6, 8, or 12 µg/m<sup>3</sup> for the sensitivity analysis). Assuming a threshold of 10 µg/m<sup>3</sup>, the sensitivity analysis shows that roughly one-third of the benefits occur at air quality levels below that threshold. Because the primary estimates reflect EPA's current methods and data, EPA notes that caution should be exercised when comparing the results of the primary and sensitivity analyses. EPA appreciates the value of sensitivity analyses in highlighting the uncertainty in the benefits estimates and will continue to work to refine these analyses, particularly in those instances in which air quality modeling data are available.

Table 2 shows the results of the cost and benefits analysis for each standard alternative. As indicated above, implementation of the SO<sub>2</sub> control

measures identified from AirControlNET and other sources does not result in attainment with the all target NAAQS levels in several areas. In these areas, additional unspecified emission reductions might be necessary to reach some alternative standard levels. The first part of the table, labeled *Partial attainment (identified controls)*, shows only those benefits and costs from control measures we were able to identify. The second part of the table, labeled *Unidentified Controls*, shows

only additional benefits and costs resulting from unidentified controls. The third part of the table, labeled *Full attainment*, shows total benefits and costs resulting from both identified and unidentified controls. It is important to emphasize that we were able to identify control measures for a significant portion of attainment for many of those counties that would not fully attain the target NAAQS level with identified controls. Note also that in addition to separating full and partial attainment,

the table also separates the portion of benefits associated with reduced SO<sub>2</sub> exposure (*i.e.*, SO<sub>2</sub> benefits) from the additional benefits associated with reducing SO<sub>2</sub> emissions, which are precursors to PM<sub>2.5</sub> formation—(*i.e.*, the PM<sub>2.5</sub> co-benefits). For instance, for the selected standard of 75 ppb, \$2.2 million in benefits are associated with reduced SO<sub>2</sub> exposure while \$15 billion to \$37 billion are associated with reduced PM<sub>2.5</sub> exposure.

TABLE 2—MONETIZED BENEFITS AND COSTS TO ATTAIN ALTERNATE STANDARD LEVELS IN 2020

[Millions of 2006\$]<sup>a</sup>

	Number of counties fully controlled	Discount rate (percent)	Monetized SO <sub>2</sub> benefits	Monetized PM <sub>2.5</sub> co-benefits, <sup>c,d</sup>	Costs	Net benefits
<b>Partial Attainment (identified controls)</b>						
50 ppb .....	40	3	<sup>b</sup>	\$30,000 to \$74,000 ...	\$2,600	\$27,000 to \$71,000.
.....	.....	7	.....	\$28,000 to \$67,000 ...	.....	\$25,000 to \$64,000.
75 ppb .....	20	3	<sup>b</sup>	\$14,000 to \$35,000 ...	\$960	\$13,000 to \$34,000.
.....	.....	7	.....	\$13,000 to \$31,000 ...	.....	\$12,000 to \$30,000.
100 ppb .....	6	3	<sup>b</sup>	\$6,900 to \$17,000 .....	\$470	\$6,400 to \$17,000.
.....	.....	7	.....	\$6,200 to \$15,000 .....	.....	\$5,700 to \$15,000.
<b>Unidentified Controls</b>						
50 ppb .....	16	3	<sup>b</sup>	\$4,000 to \$9,000 .....	\$1,800	\$2,200 to \$7,200.
.....	.....	7	.....	\$3,000 to \$8,000 .....	.....	\$1,200 to \$6,200.
75 ppb .....	4	3	<sup>b</sup>	\$1,000 to \$3,000 .....	\$500	\$500 to \$1,500.
.....	.....	7	.....	\$1,000 to \$3,000 .....	.....	\$500 to \$2,500.
100 ppb .....	3	3	<sup>b</sup>	\$500 to \$1,000 .....	\$260	\$240 to \$740.
.....	.....	7	.....	\$500 to \$1,000 .....	.....	\$240 to \$740.
<b>Full Attainment</b>						
50 ppb .....	56	3	\$8.50	\$34,000 to \$83,000 ...	\$4,400	\$30,000 to \$79,000.
.....	.....	7	.....	\$31,000 to \$75,000 ...	.....	\$27,000 to \$71,000.
75 ppb .....	24	3	\$2.20	\$15,000 to \$37,000 ...	\$1,500	\$14,000 to \$36,000.
.....	.....	7	.....	\$14,000 to \$34,000 ...	.....	\$13,000 to \$33,000.
100 ppb .....	9	3	\$0.60	\$7,400 to \$18,000 .....	\$730	\$6,700 to \$17,000.
.....	.....	7	.....	\$6,700 to \$16,000 .....	.....	\$6,000 to \$15,000.

<sup>a</sup> Estimates have been rounded to two significant figures and therefore summation may not match table estimates.

<sup>b</sup> The approach used to simulate air quality changes for SO<sub>2</sub> did not provide the data needed to distinguish partial attainment benefits from full attainment benefits from reduced SO<sub>2</sub> exposure. Therefore, a portion of the SO<sub>2</sub> benefits is attributable to the known controls and a portion of the SO<sub>2</sub> benefits are attributable to the unidentified controls. Because all SO<sub>2</sub>-related benefits are short-term effects, the results are identical for all discount rates.

<sup>c</sup> Benefits are shown as a range from Pope *et al.* (2002) to Laden *et al.* (2006). Monetized benefits do not include unquantified benefits, such as other health effects, reduced sulfur deposition, or improvements in visibility.

<sup>d</sup> These models assume that all fine particles, regardless of their chemical composition, are equally potent in causing premature mortality because there is no clear scientific evidence that would support the development of differential effects estimates by particle type. Reductions in SO<sub>2</sub> emissions from multiple sectors to meet the SO<sub>2</sub> NAAQS would primarily reduce the sulfate fraction of PM<sub>2.5</sub>. Because this rule targets a specific particle precursor (*i.e.*, SO<sub>2</sub>), this introduces some uncertainty into the results of the analysis.

**B. Paperwork Reduction Act**

The information collection requirements in this final rule have been submitted for approval to the Office of Management and Budget (OMB) under the Paperwork Reduction Act, 44 U.S.C. 3501 *et seq.* The Information Collection Request (ICR) document prepared by EPA for these revisions to part 58 has been assigned EPA ICR number 2370.02. The information collected under 40 CFR part 53 (*e.g.*, test results, monitoring

records, instruction manual, and other associated information) is needed to determine whether a candidate method intended for use in determining attainment of the NAAQS in 40 CFR part 50 will meet the design, performance, and/or comparability requirements for designation as a Federal reference method (FRM) or Federal equivalent method (FEM). We do not expect the number of FRM or FEM determinations to increase over the

number that is currently used to estimate burden associated with SO<sub>2</sub> FRM/FEM determinations provided in the current ICR for 40 CFR part 53 (EPA ICR numbers 2370.01). As such, no change in the burden estimate for 40 CFR part 53 has been made as part of this rulemaking.

The information collected and reported under 40 CFR part 58 is needed to determine compliance with the NAAQS, to characterize air quality and

associated health impacts, to develop emissions control strategies, and to measure progress for the air pollution program. The amendments would revise the technical requirements for SO<sub>2</sub> monitoring sites, require the siting and operation of additional SO<sub>2</sub> ambient air monitors, and the reporting of the collected ambient SO<sub>2</sub> monitoring data to EPA's Air Quality System (AQS). The ICR is estimated to involve 102 respondents for a total approximate cost of \$15,203,762 (total capital, and labor and non-labor operation and maintenance) and a total burden of 207,662 hours. The labor costs associated with these hours is \$11,130,409. Included in the \$15,203,762 total are other costs of other non-labor operations and maintenance of \$1,104,377 and equipment and contract costs of \$2,968,975. In addition to the costs at the State and local air quality management agencies, there is a burden to EPA for a total of 14,749 hours and \$1,060,621. Burden is defined at 5 CFR 1320.3(b). State, local, and Tribal entities are eligible for State assistance grants provided by the Federal government under the CAA which can be used for monitors and related activities. An agency may not conduct or sponsor, and a person is not required to respond to, a collection of information unless it displays a currently valid OMB control number. The OMB control numbers for EPA's regulations in 40 CFR are listed in 40 CFR part 9.

#### C. Regulatory Flexibility Act

The Regulatory Flexibility Act (RFA) generally requires an agency to prepare a regulatory flexibility analysis of any rule subject to notice and comment rulemaking requirements under the Administrative Procedure Act or any other statute unless the agency certifies that the rule will not have a significant economic impact on a substantial number of small entities. Small entities include small businesses, small organizations, and small governmental jurisdictions.

For purposes of assessing the impacts of this rule on small entities, small entity is defined as: (1) A small business that is a small industrial entity as defined by the Small Business Administration's (SBA) regulations at 13 CFR 121.201; (2) a small governmental jurisdiction that is a government of a city, county, town, school district or special district with a population of less than 50,000; and (3) a small organization that is any not-for-profit enterprise which is independently owned and operated and is not dominant in its field.

After considering the economic impacts of this final rule on small entities, I certify that this action will not have a significant economic impact on a substantial number of small entities. This final rule will not impose any requirements on small entities. Rather, this rule establishes national standards for allowable concentrations of SO<sub>2</sub> in ambient air as required by section 109 of the CAA. *American Trucking Ass'ns v. EPA*, 175 F.3d 1027, 1044-45 (DC Cir. 1999) (NAAQS do not have significant impacts upon small entities because NAAQS themselves impose no regulations upon small entities). Similarly, the amendments to 40 CFR Part 58 address the requirements for States to collect information and report compliance with the NAAQS and will not impose any requirements on small entities.

#### D. Unfunded Mandates Reform Act

This action is not subject to the requirements of sections 202 and 205 of the UMRA. EPA has determined that this final rule does not contain a Federal mandate that may result in expenditures of \$100 million or more for State, local, and Tribal governments, in the aggregate, or the private sector in any one year. The revisions to the SO<sub>2</sub> NAAQS impose no enforceable duty on any State, local or Tribal governments or the private sector. The expected costs associated with the monitoring requirements are described in EPA's ICR document, but those costs are not expected to exceed \$100 million in the aggregate for any year. Furthermore, as indicated previously, in setting a NAAQS, EPA cannot consider the economic or technological feasibility of attaining ambient air quality standards. Because the CAA prohibits EPA from considering the types of estimates and assessments described in section 202 when setting the NAAQS, the UMRA does not require EPA to prepare a written statement under section 202 for the revisions to the SO<sub>2</sub> NAAQS.

With regard to implementation guidance, the CAA imposes the obligation for States to submit SIPs to implement the SO<sub>2</sub> NAAQS. In this final rule, EPA is merely providing an interpretation of those requirements. However, even if this rule did establish an independent obligation for States to submit SIPs, it is questionable whether an obligation to submit a SIP revision would constitute a Federal mandate in any case. The obligation for a State to submit a SIP that arises out of section 110 and section 191 of the CAA is not legally enforceable by a court of law, and at most is a condition for continued receipt of highway funds. Therefore, it

is possible to view an action requiring such a submittal as not creating any enforceable duty within the meaning of U.S.C. 658 for purposes of the UMRA. Even if it did, the duty could be viewed as falling within the exception for a condition of Federal assistance under U.S.C. 658.

EPA has determined that this final rule contains no regulatory requirements that might significantly or uniquely affect small governments because it imposes no enforceable duty on any small governments. Therefore, this rule is not subject to the requirements of section 203 of the UMRA.

#### E. Executive Order 13132: Federalism

This final rule does not have federalism implications. It will not have substantial direct effects on the States, on the relationship between the national government and the States, or on the distribution of power and responsibilities among the various levels of government, as specified in Executive Order 13132. The rule does not alter the relationship between the Federal government and the States regarding the establishment and implementation of air quality improvement programs as codified in the CAA. Under section 109 of the CAA, EPA is mandated to establish NAAQS; however, CAA section 116 preserves the rights of States to establish more stringent requirements if deemed necessary by a State. Furthermore, this rule does not impact CAA section 107 which establishes that the States have primary responsibility for implementation of the NAAQS. Finally, as noted in section E (above) on UMRA, this rule does not impose significant costs on State, local, or Tribal governments or the private sector. Thus, Executive Order 13132 does not apply to this rule.

#### F. Executive Order 13175: Consultation and Coordination With Indian Tribal Governments

Executive Order 13175, entitled "Consultation and Coordination with Indian Tribal Governments" (65 FR 67249, November 9, 2000), requires EPA to develop an accountable process to ensure "meaningful and timely input by Tribal officials in the development of regulatory policies that have Tribal implications." This final rule does not have Tribal implications, as specified in Executive Order 13175. It does not have a substantial direct effect on one or more Indian Tribes, on the relationship between the Federal government and Indian Tribes, or on the distribution of power and responsibilities between the

Federal government and Tribes. The rule does not alter the relationship between the Federal government and Tribes as established in the CAA and the TAR. Under section 109 of the CAA, EPA is mandated to establish NAAQS; however, this rule does not infringe existing Tribal authorities to regulate air quality under their own programs or under programs submitted to EPA for approval. Furthermore, this rule does not affect the flexibility afforded to Tribes in seeking to implement CAA programs consistent with the TAR, nor does it impose any new obligation on Tribes to adopt or implement any NAAQS. Finally, as noted in section E (above) on UMRA, this rule does not impose significant costs on Tribal governments. Thus, Executive Order 13175 does not apply to this rule.

*G. Executive Order 13045: Protection of Children From Environmental Health and Safety Risks*

This action is subject to Executive Order (62 FR 19885, April 23, 1997) because it is an economically significant regulatory action as defined by Executive Order 12866, and we believe that the environmental health risk addressed by this action has a disproportionate effect on children. The final rule will establish uniform national ambient air quality standards for SO<sub>2</sub>; these standards are designed to protect public health with an adequate margin of safety, as required by CAA section 109. The protection offered by these standards may be especially important for asthmatics, including asthmatic children, because respiratory effects in asthmatics are among the most sensitive health endpoints for SO<sub>2</sub> exposure. Because asthmatic children are considered a sensitive population, we have evaluated the potential health effects of exposure to SO<sub>2</sub> pollution among asthmatic children. These effects and the size of the population affected are discussed in chapters 3 and 4 of the ISA; chapters 3, 4, 7, 8, 9 of the REA, and sections II.A through II.E of this preamble.

*H. Executive Order 13211: Actions That Significantly Affect Energy Supply, Distribution or Use*

This rule is not a "significant energy action" as defined in Executive Order 13211, "Actions Concerning Regulations That Significantly Affect Energy Supply, Distribution, or Use" (66 FR 28355; May 22, 2001) because it is not likely to have a significant adverse effect on the supply, distribution, or use of energy. The purpose of this rule is to establish revised NAAQS for SO<sub>2</sub>. The rule does not prescribe specific control strategies

by which these ambient standards will be met. Such strategies will be developed by States on a case-by-case basis, and EPA cannot predict whether the control options selected by States will include regulations on energy suppliers, distributors, or users. Thus, EPA concludes that this rule is not likely to have any adverse energy effects.

*I. National Technology Transfer and Advancement Act*

Section 12(d) of the National Technology Transfer and Advancement Act of 1995 (NTTAA), Public Law 104-113, section 12(d) (15 U.S.C. 27) directs EPA to use voluntary consensus standards in its regulatory activities unless to do so would be inconsistent with applicable law or otherwise impractical. Voluntary consensus standards are technical standards (e.g., materials specifications, test methods, sampling procedures, and business practices) that are developed or adopted by voluntary consensus standards bodies. The NTTAA directs EPA to provide Congress, through OMB, explanations when the Agency decides not to use available and applicable voluntary consensus standards.

This final rulemaking involves technical standards with regard to ambient monitoring of SO<sub>2</sub>. The use of this voluntary consensus standard would be impractical because the analysis method does not provide for the method detection limits necessary to adequately characterize ambient SO<sub>2</sub> concentrations for the purpose of determining compliance with the final revisions to the SO<sub>2</sub> NAAQS.

*J. Executive Order 12898: Federal Actions To Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-Income Populations*

Executive Order 12898 (59 FR 7629; Feb. 16, 1994) establishes Federal executive policy on environmental justice. Its main provision directs Federal agencies, to the greatest extent practicable and permitted by law, to make environmental justice part of their mission by identifying and addressing, as appropriate, disproportionately high and adverse human health or environmental effects of their programs, policies, and activities on minority populations and low-income populations in the United States.

EPA has determined that this final rule will not have disproportionately high and adverse human health or environmental effects on minority or low-income populations because it increases the level of environmental protection for all affected populations

without having any disproportionately high and adverse human health effects on any population, including any minority or low-income population. The final rule will establish uniform national standards for SO<sub>2</sub> in ambient air.

**References**

- American Lung Association. (2001). Urban air pollution and health inequities: a workshop report. Environ Health Perspect. 109(S3):357-374.
- American Thoracic Society. (1985). Guidelines as to what constitutes an adverse respiratory health effect, with special reference to epidemiologic studies of air pollution. Am Rev Respir Dis. 131:666-668.
- American Thoracic Society. (2000). What constitutes an adverse health effect of air pollution? Am J Respir Crit Care Med. 161:665-673.
- Brode (2010). Representativeness of Ambient Monitoring Data for SO<sub>2</sub> Epidemiological Studies. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352. Available at <http://www.regulations.gov>.
- EPA. (1982). Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides. U.S. EPA, Research Triangle Park, NC: Office of Health and Environmental Assessment. Available at: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=46205>.
- EPA. (1986). Second Addendum to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982): Assessment of Newly Available Health Effects Information. US EPA, Research Triangle Park, NC: Office of Health and Environmental Assessment. Available at: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=39469>.
- EPA. (1994a). Supplement to the Second Addendum (1986) to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982). Research Triangle Park, NC: Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA-600/FP-93/002. Available at: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=96580>.
- EPA. (1994b). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides: Assessment of Scientific and Technical Information, Supplement to the 1986 OAQPS Staff Paper Addendum. Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards. EPA-452/R-94/013. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352. Available at <http://www.regulations.gov>.
- EPA. (2005). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information—OAQPS Staff Paper. Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards. EPA-452/R-05-005a. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/pmstaffpaper\\_20051221.pdf](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/pmstaffpaper_20051221.pdf).

- EPA (2006). Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final); Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s\\_o3\\_cr\\_cd.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_cr_cd.html).
- EPA. (2007a). SO<sub>2</sub> NAAQS Review Plan—Draft. US EPA, Research Triangle Park, NC: National Center for Environmental Assessment. Available at [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_cr\\_pd.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_cr_pd.html).
- EPA. (2007b). Sulfur Dioxide Health Assessment Plan: Scope and Methods for Exposure and Risk Assessment. US EPA Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_cr\\_pd.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_cr_pd.html).
- EPA (2007c). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Pb: Policy Assessment of Scientific and Technical Information. OAQPS Staff paper. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. EPA-452/R-07-013. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pb/data/20071101\\_pb\\_staff.pd](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pb/data/20071101_pb_staff.pd).
- EPA. (2007d). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Ozone: Assessment of Scientific and Technical Information. OAQPS Staff paper. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. EPA-452/R-07-007a. Available at: [http://epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s\\_o3\\_cr\\_sp.html](http://epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_cr_sp.html).
- EPA. (2007e). Review of the National Ambient Air Quality Standards for Ozone: Ozone Health Risk Assessment for Selected Urban Areas. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. EPA 452/R-07-009. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s\\_o3\\_cr\\_td.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_cr_td.html).
- EPA. (2008a). Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides—Health Criteria (Final Report). EPA/600/R-08/047F. Available at: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfn/recordisplay.cfm?deid=198843>.
- EPA. (2008b). Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen—Health Criteria (Final Report). EPA/600/R-08/071. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/s\\_nox\\_cr\\_isi.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/s_nox_cr_isi.html).
- EPA. (2008c). Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the NO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standard. EPA-452/R-08-008a; Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/s\\_nox\\_cr\\_rea.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/s_nox_cr_rea.html).
- EPA. (2009a). Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards- Final Report. EPA-452/R-09-007; Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_cr\\_rea.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_cr_rea.html).
- EPA. (2009b). Modern SO<sub>2</sub> Instrument Performance Data. Spreadsheet of performance data for existing UVF analyzers. Office of Research and Development. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352. Available at <http://www.regulations.gov>.
- EPA. (2010). Responses to Significant Comments on the 2009 Proposed Rule on the Primary National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Dioxide (December 8, 2009; 74 FR 64810) Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352. Available at <http://www.regulations.gov>. Also available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_cr\\_rc.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_cr_rc.html).
- Henderson. (2006). Letter to EPA Administrator Stephen Johnson: Clean Air Scientific Advisory Committee's (CASAC) Peer Review of the Agency's 2nd Draft Ozone Staff Paper. EPA-CASAC-07-001. October 24, 2006. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0044. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Henderson. (2008a). Letter to EPA Administrator Stephen Johnson: Clean Air Scientific Advisory Committee's (CASAC) Peer Review of EPA's Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides—Health Criteria (Second External Review Draft, May 2008). EPA-CASAC-08-017 August 8, 2008. Sulfur Dioxide Review Docket. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Henderson. (2008b). Letter to EPA Administrator Stephen Johnson: Clean Air Scientific Advisory Committee's (CASAC) Peer Review of EPA's Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards (First Draft, July 2008). EPA-CASAC-08-019. August 22, 2008. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0034. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Ito K. (2007). Characterization of PM<sub>2.5</sub>, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models. J Expos Sci Environ Epidemiol. 17:S45-S60.
- Jaffe DH, Singer ME, Rimm AA. (2003). Air pollution and emergency department visits for asthma among Ohio Medicaid recipients, 1991-1996. Environ Res. 91:21-28.
- Johns. (2009). Presentation and analysis of controlled human exposure data described in Table 3-1 of the 2008 Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides; April 29, 2009. Available at: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_cr\\_rea.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_cr_rea.html).
- Johns and Simmons (2009). Memorandum to the Sulfur Oxides NAAQS Review Docket. Quality Assurance Review of Individual Subject Data Presented in Table 3-1 of the 2008 Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides. Air Quality Criteria for Sulfur Oxides Docket. Docket ID No. EPA-HQ-ORD-2006-0260-0036. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Linn WS, Avol EL, Peng RC, Shamoo DA, Hackney JD. (1987). Replicated dose-response study of sulfur dioxide effects in normal, atopic, and asthmatic volunteers. Am Rev Respir Dis. 136:1127-1134.
- NY DOH. (2006). A Study of Ambient Air Contaminants and Asthma in New York City. ATSDR Final Report #NTIS PB2006-113523. Albany, NY; New York State Energy Research and Development Authority; New York State Department of Health, for Atlanta, GA; Agency for Toxic Substances and Disease Registry; U.S. Department of Health and Human Services.
- Samet JM. (2009). Letter to EPA Administrator Lisa P. Jackson: Clean Air Scientific Advisory Committee's (CASAC) Review of EPA's Risk and Exposure Assessment to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards: Second Draft. EPA-CASAC-09-007, May 18, 2009. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0035. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Schwartz J. (1995). Short term fluctuations in air pollution and hospital admissions of the elderly for respiratory disease. Thorax. 50:531-538.
- Thompson R. (2009). Sulfur Dioxide Descriptive Statistics Tables. Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0036. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Thompson R and Stewart MJ. (2009). Air Quality Statistics for Cities Referenced in Key U.S. and Canadian Hospital Admission and Emergency Department Visits for All Respiratory Causes and Asthma. Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0018. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Watkins and Thompson. (2009). SO<sub>2</sub> Network Review and Background; OAQPS; Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. Sulfur Dioxide NAAQS Review Docket. (OAR-2005-0352). Sulfur Dioxide Review Docket. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2007-0352-0037. Available at <http://www.regulations.gov>.
- Wilson AM, Wake CP, Kelly T, Salloway JC. (2005). Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: An ecological time-series study. Environ Res. 97:312-321.

#### List of Subjects

##### 40 CFR Part 50

Environmental protection, Air pollution control, Carbon monoxide, Lead, Nitrogen dioxide, Ozone, Particulate matter, Sulfur oxides.

##### 40 CFR Part 53

Environmental protection, Administrative practice and procedure, Air pollution control, Intergovernmental

relations, Reporting and recordkeeping requirements.

40 CFR Part 58

Environmental protection, Administrative practice and procedure, Air pollution control, Intergovernmental relations, Reporting and recordkeeping requirements.

Dated: June 2, 2010.

Lisa P. Jackson, Administrator.

■ For the reasons stated in the preamble, title 40, chapter I of the Code of Federal Regulations is amended as follows:

**PART 50—NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS**

■ 1. The authority citation for part 50 continues to read as follows:

Authority: 42 U.S.C. 7401, *et seq.*

■ 2. Section 50.4 is amended by adding paragraph (e) to read as follows:

**§ 50.4 National primary ambient air quality standards for sulfur oxides (sulfur dioxide).**

\* \* \* \* \*

(e) The standards set forth in this section will remain applicable to all areas notwithstanding the promulgation of SO<sub>2</sub> national ambient air quality standards (NAAQS) in § 50.17. The SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in this section will no longer apply to an area one year after the effective date of the designation of that area, pursuant to section 107 of the Clean Air Act, for the SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in § 50.17; except that for areas designated nonattainment for the SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in this section as of the effective date of § 50.17, and areas not meeting the requirements of a SIP call with respect to requirements for the SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in this section, the SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in this section will apply until that area submits, pursuant to section 191 of the Clean Air Act, and EPA approves, an implementation plan providing for attainment of the SO<sub>2</sub> NAAQS set forth in § 50.17.

■ 3. Section 50.14 is amended by revising paragraph (c)(2)(vi) to read as follows:

**§ 50.14 Treatment of air quality monitoring data influenced by exceptional events.**

\* \* \* \* \*

(c) \* \* \*

(2) \* \* \*

(vi) When EPA sets a NAAQS for a new pollutant or revises the NAAQS for an existing pollutant, it may revise or set a new schedule for flagging exceptional event data, providing initial data descriptions and providing detailed data documentation in AQS for the initial designations of areas for those NAAQS. Table 1 provides the schedule for submission of flags with initial descriptions in AQS and detailed documentation. These schedules shall apply for those data which will or may influence the initial designation of areas for those NAAQS. EPA anticipates revising Table 1 as necessary to accommodate revised data submission schedules for new or revised NAAQS.

TABLE 1—SCHEDULE OF EXCEPTIONAL EVENT FLAGGING AND DOCUMENTATION SUBMISSION FOR DATA TO BE USED IN DESIGNATIONS DECISIONS FOR NEW OR REVISED NAAQS

NAAQS Pollutant/standard/(level)/promulgation date	Air quality data collected for calendar year	Event flagging & initial description deadline	Detailed documentation submission deadline
PM <sub>2.5</sub> /24-Hr Standard (35 µg/m <sup>3</sup> ) Promulgated October 17, 2006.	2004–2006	October 1, 2007 <sup>a</sup>	April 15, 2008. <sup>a</sup>
Ozone/8-Hr Standard (0.075 ppm) Promulgated March 12, 2008.	2005–2007 2008 2009	June 18, 2009 <sup>a</sup> June 18, 2009 <sup>a</sup> 60 days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or February 5, 2010, whichever date occurs first <sup>b</sup> .	June 18, 2009 <sup>a</sup> June 18, 2009 <sup>1</sup> 60 days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or February 5, 2010, whichever date occurs first. <sup>b</sup>
NO <sub>2</sub> /1-Hour Standard (80–100 PPB, final level TBD).	2008 2009 2010	July 1, 2010 <sup>a</sup> July 1, 2010 <sup>a</sup> April 1, 2011 <sup>a</sup>	January 22, 2011. <sup>a</sup> January 22, 2011. <sup>a</sup> July 1, 2010. <sup>a</sup>
SO <sub>2</sub> /1-Hour Standard (50–100 PPB, final level TBD).	2008 2009 2010 2011	October 1, 2010 <sup>b</sup> October 1, 2010 <sup>b</sup> June 1, 2011. <sup>b</sup> 60 days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or March 31, 2012, whichever date occurs first <sup>b</sup> .	June 1, 2011. <sup>b</sup> June 1, 2011. <sup>b</sup> June 1, 2011. <sup>b</sup> 60 days after the end of the calendar quarter in which the event occurred or March 31, 2012, whichever date occurs first. <sup>b</sup>

<sup>a</sup> These dates are unchanged from those published in the original rulemaking, or are being proposed elsewhere and are shown in this table for informational purposes—the Agency is not opening these dates for comment under this rulemaking.  
<sup>b</sup> Indicates change from general schedule in 40 CFR 50.14.

Note: EPA notes that the table of revised deadlines *only* applies to data EPA will use to establish the final initial designations for new or revised NAAQS. The general schedule applies for all other purposes, most notably, for data used by EPA for redesignations to attainment.

\* \* \* \* \*

■ 4. A new 50.17 is added to read as follows:

**§ 50.17 National primary ambient air quality standards for sulfur oxides (sulfur dioxide).**

(a) The level of the national primary 1-hour annual ambient air quality standard for oxides of sulfur is 75 parts per billion (ppb, which is 1 part in 1,000,000,000), measured in the ambient air as sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>).

(b) The 1-hour primary standard is met at an ambient air quality monitoring

site when the three-year average of the annual (99th percentile) of the daily maximum 1-hour average concentrations is less than or equal to 75 ppb, as determined in accordance with Appendix T of this part.

(c) The level of the standard shall be measured by a reference method based on Appendix A or A–1 of this part, or by a Federal Equivalent Method (FEM)



designated in accordance with part 53 of this chapter.

■ 5. Add Appendix A-1 to Part 50 to read as follows:

**Appendix A-1 to Part 50—Reference Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Ultraviolet Fluorescence Method)**

**1.0 Applicability**

1.1 This ultraviolet fluorescence (UVF) method provides a measurement of the concentration of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) in ambient air for determining compliance with the national primary and secondary ambient air quality standards for sulfur oxides (sulfur dioxide) as specified in § 50.4, § 50.5, and § 50.17 of this chapter. The method is applicable to the measurement of ambient SO<sub>2</sub> concentrations using continuous (real-time) sampling. Additional quality assurance procedures and guidance are provided in part 58, Appendix A, of this chapter and in Reference 3.

**2.0 Principle**

2.1 This reference method is based on automated measurement of the intensity of the characteristic fluorescence released by SO<sub>2</sub> in an ambient air sample contained in a measurement cell of an analyzer when the air sample is irradiated by ultraviolet (UV) light passed through the cell. The fluorescent light released by the SO<sub>2</sub> is also in the ultraviolet region, but at longer wavelengths than the excitation light. Typically, optimum instrumental measurement of SO<sub>2</sub> concentrations is obtained with an excitation wavelength in a band between approximately 190 to 230 nm, and measurement of the SO<sub>2</sub> fluorescence in a broad band around 320 nm, but these wavelengths are not necessarily constraints of this reference method. Generally, the measurement system (analyzer) also requires means to reduce the effects of aromatic hydrocarbon species, and possibly other compounds, in the air sample to control measurement interferences from these compounds, which may be present in the ambient air. References 1 and 2 describe UVF method.

2.2 The measurement system is calibrated by referencing the instrumental fluorescence measurements to SO<sub>2</sub> standard concentrations traceable to a National Institute of Standards and Technology (NIST) primary standard for SO<sub>2</sub> (see Calibration Procedure below).

2.3 An analyzer implementing this measurement principle is shown schematically in Figure 1. Designs should include a measurement cell, a UV light source of appropriate wavelength, a UV detector system with appropriate wave length sensitivity, a pump and flow control system for sampling the ambient air and moving it into the measurement cell, sample air conditioning components as necessary to minimize measurement interferences, suitable control and measurement processing capability, and other apparatus as may be necessary. The analyzer must be designed to provide accurate, repeatable, and continuous measurements of SO<sub>2</sub> concentrations in

ambient air, with measurement performance as specified in Subpart B of Part 53 of this chapter.

2.4 *Sampling considerations:* The use of a particle filter on the sample inlet line of a UVF SO<sub>2</sub> analyzer is required to prevent interference, malfunction, or damage due to particles in the sampled air.

**3.0 Interferences**

3.1 The effects of the principal potential interferences may need to be mitigated to meet the interference equivalent requirements of part 53 of this chapter. Aromatic hydrocarbons such as xylene and naphthalene can fluoresce and act as strong positive interferences. These gases can be removed by using a permeation type scrubber (hydrocarbon "kicker"). Nitrogen oxide (NO) in high concentrations can also fluoresce and cause positive interference. Optical filtering can be employed to improve the rejection of interference from high NO. Ozone can absorb UV light given off by the SO<sub>2</sub> molecule and cause a measurement offset. This effect can be reduced by minimizing the measurement path length between the area where SO<sub>2</sub> fluorescence occurs and the photomultiplier tube detector (e.g. <5 cm). A hydrocarbon scrubber, optical filter and appropriate distancing of the measurement path length may be required method components to reduce interference.

**4.0 Calibration Procedure**

Atmospheres containing accurately known concentrations of sulfur dioxide are prepared using a compressed gas transfer standard diluted with accurately metered clean air flow rates.

4.1 *Apparatus:* Figure 2 shows a typical generic system suitable for diluting a SO<sub>2</sub> gas cylinder concentration standard with clean air through a mixing chamber to produce the desired calibration concentration standards. A valve may be used to conveniently divert the SO<sub>2</sub> from the sampling manifold to provide clean zero air at the output manifold for zero adjustment. The system may be made up using common laboratory components, or it may be a commercially manufactured system. In either case, the principle components are as follows:

4.1.1 SO<sub>2</sub> standard gas flow control and measurement devices (or a combined device) capable of regulating and maintaining the standard gas flow rate constant to within ±2 percent and measuring the gas flow rate accurate to within ±2, properly calibrated to a NIST-traceable standard.

4.1.2 Dilution air flow control and measurement devices (or a combined device) capable of regulating and maintaining the air flow rate constant to within ±2 percent and measuring the air flow rate accurate to within ±2, properly calibrated to a NIST-traceable standard.

4.1.3 Mixing chamber, of an inert material such as glass and of proper design to provide thorough mixing of pollutant gas and diluent air streams.

4.1.4 Sampling manifold, constructed of glass, polytetrafluoroethylene (PTFE Teflon™), or other suitably inert material and of sufficient diameter to insure a minimum pressure drop at the analyzer

connection, with a vent designed to insure a minimum over-pressure (relative to ambient air pressure) at the analyzer connection and to prevent ambient air from entering the manifold.

4.1.5 Standard gas pressure regulator, of clean stainless steel with a stainless steel diaphragm, suitable for use with a high pressure SO<sub>2</sub> gas cylinder.

**4.1.6 Reagents**

4.1.6.1 SO<sub>2</sub> gas concentration transfer standard having a certified SO<sub>2</sub> concentration of not less than 10 ppm, in N<sub>2</sub>, traceable to a NIST Standard Reference Material (SRM).

4.1.6.2 Clean zero air, free of contaminants that could cause a detectable response or a change in sensitivity of the analyzer. Since ultraviolet fluorescence analyzers may be sensitive to aromatic hydrocarbons and O<sub>2</sub>-to-N<sub>2</sub> ratios, it is important that the clean zero air contains less than 0.1 ppm aromatic hydrocarbons and O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> percentages approximately the same as in ambient air. A procedure for generating zero air is given in reference 1.

**4.2 Procedure**

4.2.1 Obtain a suitable calibration apparatus, such as the one shown schematically in Figure 1, and verify that all materials in contact with the pollutant are of glass, Teflon™, or other suitably inert material and completely clean.

4.2.2 Purge the SO<sub>2</sub> standard gas lines and pressure regulator to remove any residual air.

4.2.3 Ensure that there are no leaks in the system and that the flow measuring devices are properly and accurately calibrated under the conditions of use against a reliable volume or flow rate standard such as a soap-bubble meter or a wet-test meter traceable to a NIST standard. All volumetric flow rates should be corrected to the same reference temperature and pressure by using the formula below:

$$F_c = F_m \frac{298.15 P_m}{760 (T_m + 273.15)}$$

Where:

F<sub>c</sub> = corrected flow rate (L/min at 25 °C and 760 mm Hg),

F<sub>m</sub> = measured flow rate, (at temperature, T<sub>m</sub> and pressure, P<sub>m</sub>),

P<sub>m</sub> = measured pressure in mm Hg, (absolute), and

T<sub>m</sub> = measured temperature in degrees Celsius.

4.2.4 Allow the SO<sub>2</sub> analyzer under calibration to sample zero air until a stable response is obtained, then make the proper zero adjustment.

4.2.5 Adjust the airflow to provide an SO<sub>2</sub> concentration of approximately 80 percent of the upper measurement range limit of the SO<sub>2</sub> instrument and verify that the total air flow of the calibration system exceeds the demand of all analyzers sampling from the output manifold (with the excess vented).

4.2.6 Calculate the actual SO<sub>2</sub> calibration concentration standard as:



$$[SO_2] = C \frac{F_p}{F_t}$$

Where:

$C$  = the concentration of the  $SO_2$  gas standard

$F_p$  = the flow rate of  $SO_2$  gas standard

$F_t$  = the total air flow rate of pollutant and diluent gases

4.2.7 When the analyzer response has stabilized, adjust the  $SO_2$  span control to obtain the desired response equivalent to the calculated standard concentration. If substantial adjustment of the span control is needed, it may be necessary to re-check the zero and span adjustments by repeating steps 4.2.4 through 4.2.7 until no further adjustments are needed.

4.2.8 Adjust the flow rate(s) to provide several other  $SO_2$  calibration concentrations over the analyzer's measurement range. At least five different concentrations evenly spaced throughout the analyzer's range are suggested.

4.2.9 Plot the analyzer response (vertical or Y-axis) versus  $SO_2$  concentration (horizontal or X-axis). Compute the linear regression slope and intercept and plot the regression line to verify that no point deviates from this line by more than 2 percent of the maximum concentration tested.

**Note:** Additional information on calibration and pollutant standards is provided in Section 12 of Reference 3.

#### 5.0 Frequency of Calibration

The frequency of calibration, as well as the number of points necessary to establish the calibration curve and the frequency of other performance checking will vary by analyzer; however, the minimum frequency, acceptance criteria, and subsequent actions are specified in Reference 3, Appendix D: Measurement Quality Objectives and Validation Template for  $SO_2$  (page 9 of 30). The user's quality control program should provide guidelines for initial establishment of these variables and for subsequent

alteration as operational experience is accumulated. Manufacturers of analyzers should include in their instruction/operation manuals information and guidance as to these variables and on other matters of operation, calibration, routine maintenance, and quality control.

#### 6.0 References for $SO_2$ Method

1. H. Okabe, P. L. Splitstone, and J. J. Ball, "Ambient and Source  $SO_2$  Detector Based on a Fluorescence Method", *Journal of the Air Control Pollution Association*, vol. 23, p. 514-516 (1973).
2. F. P. Schwarz, H. Okabe, and J. K. Whittaker, "Fluorescence Detection of Sulfur Dioxide in Air at the Parts per Billion Level." *Analytical Chemistry*, vol. 46, pp. 1024-1028 (1974).
3. *QA Handbook for Air Pollution Measurement Systems—Volume II. Ambient Air Quality Monitoring Programs*. U.S. EPA. EPA-454/B-08-003 (2008).

BILLING CODE 6560-50-P

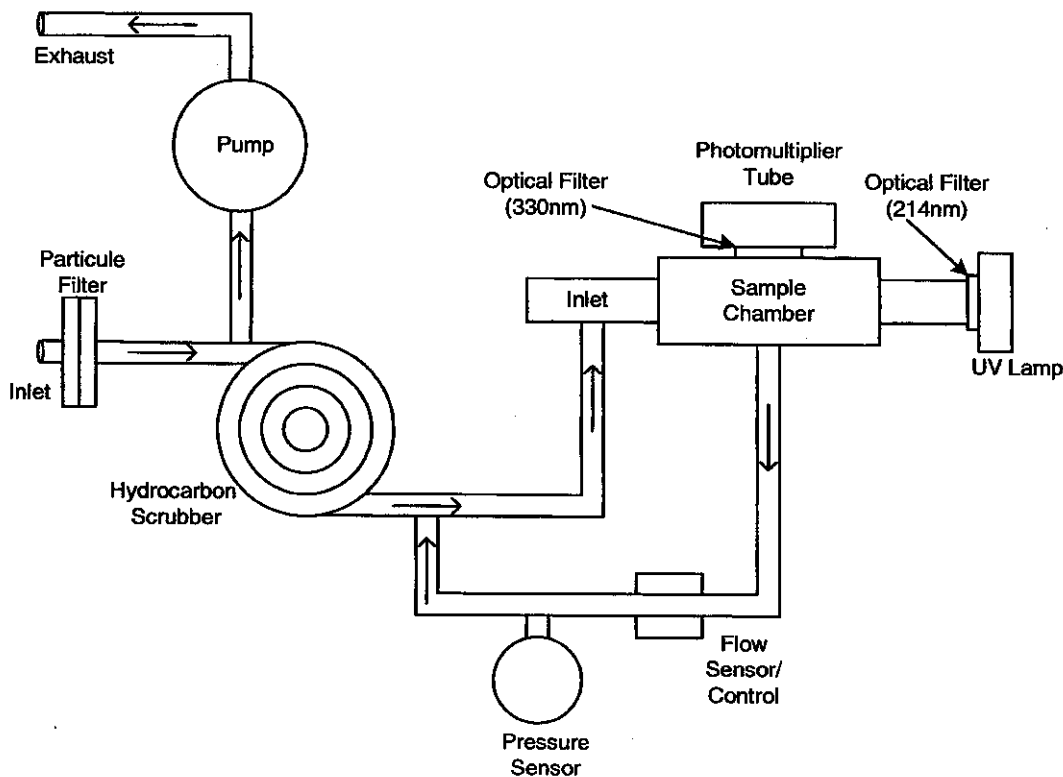


Figure 1. UVF  $SO_2$  analyzer schematic diagram.

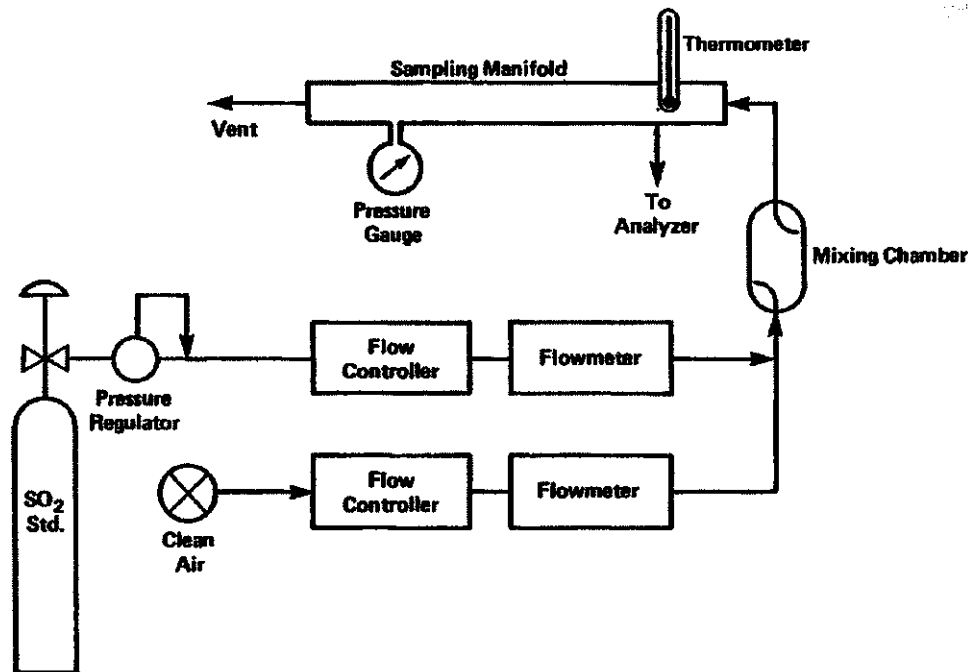


Figure 2. Calibration system using a compressed gas standard.

BILLING CODE 6560-50-C

■ 6. Appendix A to Part 50 is redesignated as Appendix A-2 to Part 50.

■ 7. Appendix T to Part 50 is added to read as follows:

**Appendix T to Part 50—Interpretation of the Primary National Ambient Air Quality Standards for Oxides of Sulfur (Sulfur Dioxide)**

**1. General**

(a) This appendix explains the data handling conventions and computations necessary for determining when the primary national ambient air quality standards for Oxides of Sulfur as measured by Sulfur Dioxide (“SO<sub>2</sub> NAAQS”) specified in § 50.17 are met at an ambient air quality monitoring site. Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) is measured in the ambient air by a Federal reference method (FRM) based on appendix A or A-1 to this part or by a Federal equivalent method (FEM) designated in accordance with part 53 of this chapter. Data handling and computation procedures to be used in making comparisons between reported SO<sub>2</sub> concentrations and the levels of the SO<sub>2</sub> NAAQS are specified in the following sections.

(b) Decisions to exclude, retain, or make adjustments to the data affected by exceptional events, including natural events, are made according to the requirements and process deadlines specified in §§ 50.1, 50.14 and 51.930 of this chapter.

(c) The terms used in this appendix are defined as follows:

*Daily maximum 1-hour values* for SO<sub>2</sub> refers to the maximum 1-hour SO<sub>2</sub> concentration values measured from midnight to midnight (local standard time) that are used in NAAQS computations.

*Design values* are the metrics (*i.e.*, statistics) that are compared to the NAAQS levels to determine compliance, calculated as specified in section 5 of this appendix. The design value for the primary 1-hour NAAQS is the 3-year average of annual 99th percentile daily maximum 1-hour values for a monitoring site (referred to as the “1-hour primary standard design value”).

*99th percentile daily maximum 1-hour value* is the value below which nominally 99 percent of all daily maximum 1-hour concentration values fall, using the ranking and selection method specified in section 5 of this appendix.

*Pollutant Occurrence Code (POC)* refers to a numerical code (1, 2, 3, *etc.*) used to distinguish the data from two or more monitors for the same parameter at a single monitoring site.

*Quarter* refers to a calendar quarter.

*Year* refers to a calendar year.

**2. Requirements for Data Used for Comparisons With the SO<sub>2</sub> NAAQS and Data Reporting Considerations**

(a) All valid FRM/FEM SO<sub>2</sub> hourly data required to be submitted to EPA’s Air Quality System (AQS), or otherwise available to EPA, meeting the requirements of part 58 of this chapter including appendices A, C, and E shall be used in design value calculations.

Multi-hour average concentration values collected by wet chemistry methods shall not be used.

(b) Data from two or more monitors from the same year at the same site reported to EPA under distinct Pollutant Occurrence Codes shall not be combined in an attempt to meet data completeness requirements. The Administrator will combine annual 99th percentile daily maximum concentration values from different monitors in different years, selected as described here, for the purpose of developing a valid 1-hour primary standard design value. If more than one of the monitors meets the completeness requirement for all four quarters of a year, the steps specified in section 5(a) of this appendix shall be applied to the data from the monitor with the highest average of the four quarterly completeness values to derive a valid annual 99th percentile daily maximum concentration. If no monitor is complete for all four quarters in a year, the steps specified in section 3(c) and 5(a) of this appendix shall be applied to the data from the monitor with the highest average of the four quarterly completeness values in an attempt to derive a valid annual 99th percentile daily maximum concentration. This paragraph does not prohibit a monitoring agency from making a local designation of one physical monitor as the primary monitor for a Pollutant Occurrence Code and substituting the 1-hour data from a second physical monitor whenever a valid concentration value is not obtained from the primary monitor; if a monitoring agency substitutes data in this manner, each substituted value must be accompanied by an

AQS qualifier code indicating that substitution with a value from a second physical monitor has taken place.

(c) Hourly SO<sub>2</sub> measurement data shall be reported to AQS in units of parts per billion (ppb), to at most one place after the decimal, with additional digits to the right being truncated with no further rounding.

### 3. Comparisons With the 1-Hour Primary SO<sub>2</sub> NAAQS

(a) The 1-hour primary SO<sub>2</sub> NAAQS is met at an ambient air quality monitoring site when the valid 1-hour primary standard design value is less than or equal to 75 parts per billion (ppb).

(b) An SO<sub>2</sub> 1-hour primary standard design value is valid if it encompasses three consecutive calendar years of complete data. A year meets data completeness requirements when all 4 quarters are complete. A quarter is complete when at least 75 percent of the sampling days for each quarter have complete data. A sampling day has complete data if 75 percent of the hourly concentration values, including State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator, are reported.

(c) In the case of one, two, or three years that do not meet the completeness requirements of section 3(b) of this appendix and thus would normally not be useable for the calculation of a valid 3-year 1-hour primary standard design value, the 3-year 1-hour primary standard design value shall nevertheless be considered valid if one of the following conditions is true.

(i) At least 75 percent of the days in each quarter of each of three consecutive years have at least one reported hourly value, and the design value calculated according to the procedures specified in section 5 is above the level of the primary 1-hour standard.

(ii) (A) A 1-hour primary standard design value that is equal to or below the level of the NAAQS can be validated if the substitution test in section 3(c)(ii)(B) results in a "test design value" that is below the level of the NAAQS. The test substitutes actual "high" reported daily maximum 1-hour values from the same site at about the same time of the year (specifically, in the same calendar quarter) for unknown values that were not successfully measured. *Note* that the test is merely diagnostic in nature, intended to confirm that there is a very high likelihood that the original design value (the one with less than 75 percent data capture of hours by day and of days by quarter) reflects the true under-NAAQS-level status for that 3-year period; the result of this data substitution test (the "test design value", as defined in section 3(c)(ii)(B)) is not considered the actual design value. For this test, substitution is permitted only if there are at least 200 days across the three matching quarters of the three years under consideration (which is about 75 percent of all possible daily values in those three quarters) for which 75 percent of the hours in the day, including State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator, have reported concentrations. However, maximum 1-hour values from days

with less than 75 percent of the hours reported shall also be considered in identifying the high value to be used for substitution.

(B) The substitution test is as follows: Data substitution will be performed in all quarter periods that have less than 75 percent data capture but at least 50 percent data capture, including State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator; if any quarter has less than 50 percent data capture then this substitution test cannot be used. Identify for each quarter (e.g., January–March) the highest reported daily maximum 1-hour value for that quarter, excluding State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator, looking across those three months of all three years under consideration. All daily maximum 1-hour values from all days in the quarter period shall be considered when identifying this highest value, including days with less than 75 percent data capture. If after substituting the highest reported daily maximum 1-hour value for a quarter for as much of the missing daily data in the matching deficient quarter(s) as is needed to make them 100 percent complete, the procedure in section 5 yields a recalculated 3-year 1-hour standard "test design value" less than or equal to the level of the standard, then the 1-hour primary standard design value is deemed to have passed the diagnostic test and is valid, and the level of the standard is deemed to have been met in that 3-year period. As noted in section 3(c)(i), in such a case, the 3-year design value based on the data actually reported, not the "test design value", shall be used as the valid design value.

(iii) (A) A 1-hour primary standard design value that is above the level of the NAAQS can be validated if the substitution test in section 3(c)(iii)(B) results in a "test design value" that is above the level of the NAAQS. The test substitutes actual "low" reported daily maximum 1-hour values from the same site at about the same time of the year (specifically, in the same three months of the calendar) for unknown hourly values that were not successfully measured. *Note* that the test is merely diagnostic in nature, intended to confirm that there is a very high likelihood that the original design value (the one with less than 75 percent data capture of hours by day and of days by quarter) reflects the true above-NAAQS-level status for that 3-year period; the result of this data substitution test (the "test design value", as defined in section 3(c)(iii)(B)) is not considered the actual design value. For this test, substitution is permitted only if there are a minimum number of available daily data points from which to identify the low quarter-specific daily maximum 1-hour values, specifically if there are at least 200 days across the three matching quarters of the three years under consideration (which is about 75 percent of all possible daily values in those three quarters) for which 75 percent of the hours in the day have reported concentrations. Only days with at least 75 percent of the hours reported shall be considered in identifying the low value to be used for substitution.

(B) The substitution test is as follows: Data substitution will be performed in all quarter periods that have less than 75 percent data capture. Identify for each quarter (e.g., January–March) the lowest reported daily maximum 1-hour value for that quarter, looking across those three months of all three years under consideration. All daily maximum 1-hour values from all days with at least 75 percent capture in the quarter period shall be considered when identifying this lowest value. If after substituting the lowest reported daily maximum 1-hour value for a quarter for as much of the missing daily data in the matching deficient quarter(s) as is needed to make them 75 percent complete, the procedure in section 5 yields a recalculated 3-year 1-hour standard "test design value" above the level of the standard, then the 1-hour primary standard design value is deemed to have passed the diagnostic test and is valid, and the level of the standard is deemed to have been exceeded in that 3-year period. As noted in section 3(c)(i), in such a case, the 3-year design value based on the data actually reported, not the "test design value", shall be used as the valid design value.

(d) A 1-hour primary standard design value based on data that do not meet the completeness criteria stated in 3(b) and also do not satisfy section 3(c), may also be considered valid with the approval of, or at the initiative of, the Administrator, who may consider factors such as monitoring site closures/moves, monitoring diligence, the consistency and levels of the valid concentration measurements that are available, and nearby concentrations in determining whether to use such data.

(e) The procedures for calculating the 1-hour primary standard design values are given in section 5 of this appendix.

### 4. Rounding Conventions for the 1-Hour Primary SO<sub>2</sub> NAAQS

(a) Hourly SO<sub>2</sub> measurement data shall be reported to AQS in units of parts per billion (ppb), to at most one place after the decimal, with additional digits to the right being truncated with no further rounding.

(b) Daily maximum 1-hour values and therefore the annual 99th percentile of those daily values are not rounded.

(c) The 1-hour primary standard design value is calculated pursuant to section 5 and then rounded to the nearest whole number or 1 ppb (decimals 0.5 and greater are rounded up to the nearest whole number, and any decimal lower than 0.5 is rounded down to the nearest whole number).

### 5. Calculation Procedures for the 1-Hour Primary SO<sub>2</sub> NAAQS

(a) *Procedure for identifying annual 99th percentile values.* When the data for a particular ambient air quality monitoring site and year meet the data completeness requirements in section 3(b), or if one of the conditions of section 3(c) is met, or if the Administrator exercises the discretionary authority in section 3(d), identification of annual 99th percentile value is accomplished as follows.

(i) The annual 99th percentile value for a year is the higher of the two values resulting from the following two procedures.

(1) *Procedure 1.* For the year, determine the number of days with at least 75 percent of the hourly values reported.

(A) For the year, determine the number of days with at least 75 percent of the hourly values reported including State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator.

(B) For the year, from only the days with at least 75 percent of the hourly values reported, select from each day the maximum hourly value excluding State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator.

(C) Sort all these daily maximum hourly values from a particular site and year by descending value. (For example:  $x[1]$ ,  $x[2]$ ,  $x[3]$ , \* \* \*,  $x[n]$ ). In this case,  $x[1]$  is the largest number and  $x[n]$  is the smallest value.) The 99th percentile is determined from this sorted series of daily values which is ordered from the highest to the lowest number. Using the left column of Table 1, determine the appropriate range (*i.e.*, row) for the annual number of days with valid data for year  $y$  ( $cn_y$ ). The corresponding "n" value in the right column identifies the rank of the annual 99th percentile value in the descending sorted list of daily site values for year  $y$ . Thus,  $P_{0.99, y}$  = the nth largest value.

(2) *Procedure 2.* For the year, determine the number of days with at least one hourly value reported.

(A) For the year, determine the number of days with at least one hourly value reported including State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator.

(B) For the year, from all the days with at least one hourly value reported, select from each day the maximum hourly value excluding State-flagged data affected by exceptional events which have been approved for exclusion by the Administrator.

(C) Sort all these daily maximum values from a particular site and year by descending value. (For example:  $x[1]$ ,  $x[2]$ ,  $x[3]$ , \* \* \*,  $x[n]$ ). In this case,  $x[1]$  is the largest number

and  $x[n]$  is the smallest value.) The 99th percentile is determined from this sorted series of daily values which is ordered from the highest to the lowest number. Using the left column of Table 1, determine the appropriate range (*i.e.*, row) for the annual number of days with valid data for year  $y$  ( $cn_y$ ). The corresponding "n" value in the right column identifies the rank of the annual 99th percentile value in the descending sorted list of daily site values for year  $y$ . Thus,  $P_{0.99, y}$  = the nth largest value.

(b) The 1-hour primary standard design value for an ambient air quality monitoring site is mean of the three annual 99th percentile values, rounded according to the conventions in section 4.

TABLE 1

Annual number of days with valid data for year "y" ( $cn_y$ )	$P_{0.99, y}$ is the nth maximum value of the year, where n is the listed number
1-100 .....	1
101-200 .....	2
201-300 .....	3
301-366 .....	4

**PART 53—AMBIENT AIR MONITORING REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS**

■ 8. The authority citation for part 53 continues to read as follows:

**Authority:** Sec. 301(a) of the Clean Air Act (42 U.S.C. sec. 1857g(a)), as amended by sec. 15(c)(2) of Pub. L. 91-604, 84 Stat. 1713, unless otherwise noted.

**Subpart A—[Amended]**

■ 9. Section 53.2 is amended by revising paragraphs (a)(1) and (b) to read as follows:

**§ 53.2 General requirements for a reference method determination.**

\* \* \* \* \*

(a) *Manual methods*—(1) *Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and Lead.* For measuring SO<sub>2</sub> and lead, appendixes A-2 and G of part 50 of this chapter specify unique manual FRM for measuring those pollutants. Except as provided in § 53.16, other manual methods for lead will not be considered for a reference method determination under this part.

\* \* \* \* \*

(b) *Automated methods.* An automated FRM for measuring SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, or NO<sub>2</sub> must utilize the measurement principle and calibration procedure specified in the appropriate appendix to part 50 of this chapter (appendix A-1 only for SO<sub>2</sub> methods) and must have been shown in accordance with this part to meet the requirements specified in this subpart A and subpart B of this part.

■ 10. Section 53.8 is amended by revising paragraph (c) to read as follows:

**§ 53.8 Designation of reference and equivalent methods.**

\* \* \* \* \*

(c) The Administrator will maintain a current list of methods designated as FRM or FEM in accordance with this part and will send a copy of the list to any person or group upon request. A copy of the list will be available via the Internet and may be available from other sources.

■ 11. Table A-1 to Subpart A is revised to read as follows:

TABLE A-1 TO SUBPART A OF PART 53—SUMMARY OF APPLICABLE REQUIREMENTS FOR REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS FOR AIR MONITORING OF CRITERIA POLLUTANTS

Pollutant	Reference or equivalent	Manual or automated	Applicable part 50 appendix	Applicable subparts of part 53					
				A	B	C	D	E	F
SO <sub>2</sub> .....	Reference .....	Manual .....	A-2						
	Automated .....	Automated .....	A-1	✓	✓				
CO .....	Equivalent .....	Manual .....	A-1	✓		✓			
	Automated .....	Automated .....	A-1	✓	✓	✓			
O <sub>3</sub> .....	Reference .....	Manual .....	C	✓		✓			
	Equivalent .....	Automated .....	C	✓		✓			
NO <sub>2</sub> .....	Reference .....	Manual .....	C	✓		✓			
	Equivalent .....	Automated .....	C	✓		✓			
Pb .....	Reference .....	Manual .....	D	✓	✓	✓			
	Equivalent .....	Automated .....	D	✓	✓	✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	D	✓	✓	✓			
	Equivalent .....	Automated .....	D	✓	✓	✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	F	✓	✓	✓			
	Equivalent .....	Automated .....	F	✓	✓	✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	F	✓	✓	✓			
	Equivalent .....	Automated .....	F	✓	✓	✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	G	✓		✓			
	Equivalent .....	Manual .....	G	✓		✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	G	✓		✓			
	Equivalent .....	Automated .....	G	✓		✓			
PM <sub>10</sub> -Pb ...	Reference .....	Manual .....	Q	✓		✓			
	Equivalent .....	Manual .....	Q	✓		✓			

TABLE A-1 TO SUBPART A OF PART 53—SUMMARY OF APPLICABLE REQUIREMENTS FOR REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS FOR AIR MONITORING OF CRITERIA POLLUTANTS—Continued

Pollutant	Reference or equivalent	Manual or automated	Applicable part 50 appendix	Applicable subparts of part 53					
				A	B	C	D	E	F
PM <sub>10</sub>	Reference	Automated	Q	✓		✓			
	Equivalent	Manual	J	✓			✓		
		Automated	J	✓		✓	✓		
PM <sub>2.5</sub>	Reference	Manual	L	✓				✓	
	Equivalent Class I	Manual	L	✓		✓		✓	
	Equivalent Class II	Manual	L <sup>1</sup>	✓		✓ <sup>2</sup>		✓	
	Equivalent Class III	Automated	L <sup>1</sup>	✓		✓		✓	✓ <sup>1 2</sup>
PM <sub>10-2.5</sub>	Reference	Manual	L, O	✓				✓	✓ <sup>1</sup>
	Equivalent Class I	Manual	L, O	✓		✓		✓	
	Equivalent Class II	Manual	L, O	✓		✓ <sup>2</sup>		✓	✓ <sup>1 2</sup>
	Equivalent Class III	Automated	L <sup>1</sup> , O <sup>1</sup>	✓		✓		✓	✓ <sup>1</sup>

1. Some requirements may apply, based on the nature of each particular candidate method, as determined by the Administrator.  
 2. Alternative Class III requirements may be substituted.

**Subpart B—[Amended]**

■ 12. Section 53.20 is amended by revising paragraph (b) and Table B-1 in paragraph (c) to read as follows:

**§ 53.20 General provisions.**

(b) For a candidate method having more than one selectable measurement range, one range must be that specified in table B-1 (standard range for SO<sub>2</sub>), and a test analyzer representative of the method must pass the tests required by this subpart while operated in that range. The tests may be repeated for one or more broader ranges (i.e., ones extending to higher concentrations) than the range specified in table B-1, provided that the range does not extend

to concentrations more than four times the upper range limit specified in table B-1. For broader ranges, only the tests for range (calibration), noise at 80% of the upper range limit, and lag, rise and fall time are required to be repeated. The tests may be repeated for one or more narrower ranges (ones extending to lower concentrations) than that specified in table B-1. For SO<sub>2</sub> methods, table B-1 specifies special performance requirements for narrower (lower) ranges. For methods other than SO<sub>2</sub>, only the tests for range (calibration), noise at 0% of the measurement range, and lower detectable limit are required to be repeated. If the tests are conducted or passed only for the specified range (standard range for SO<sub>2</sub>), any FRM or FEM method determination with respect

to the method will be limited to that range. If the tests are passed for both the specified range and one or more broader ranges, any such determination will include the additional range(s) as well as the specified range, provided that the tests required by subpart C of this part (if applicable) are met for the broader range(s). If the tests are passed for both the specified range and one or more narrower ranges, any FRM or FEM method determination for the method will include the narrower range(s) as well as the specified range. Appropriate test data shall be submitted for each range sought to be included in a FRM or FEM method determination under this paragraph (b).  
 (c) \* \* \*

TABLE B-1—PERFORMANCE SPECIFICATIONS FOR AUTOMATED METHODS

Performance parameter	Units <sup>1</sup>	SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	Definitions and test procedures
		Std. range <sup>3</sup>	Lower range <sup>2,3</sup>				
1. Range	ppm	0-0.5	<0.5	0-0.5	0-50	0-0.5	Sec. 53.23(a).
2. Noise	ppm	0.001	0.0005	0.005	0.5	0.005	Sec. 53.23(b).
3. Lower detectable limit	ppm	0.002	0.001	0.010	1.0	0.010	Sec. 53.23(c).
4. Interference equivalent							
Each interferent	ppm	±0.005	±0.005	±0.02	±1.0	±0.02	Sec. 53.23(d).
Total, all interferents	ppm	—	—	0.06	1.5	0.04	Sec. 53.23(d).
5. Zero drift, 12 and 24 hour	ppm	±0.004	±0.002	±0.02	±1.0	±0.02	Sec. 53.23(e).
6. Span drift, 24 hour							
20% of upper range limit	Percent	—	—	±20.0	±10.0	±20.0	Sec. 53.23(e).
80% of upper range limit	Percent	±3.0	±3.0	±5.0	±2.5	±5.0	Sec. 53.23(e).
7. Lag time	Minutes	2	2	20	10	20	Sec. 53.23(e).
8. Rise time	Minutes	2	2	15	5	15	Sec. 53.23(e).
9. Fall time	Minutes	2	2	15	5	15	Sec. 53.23(e).
10. Precision							
20% of upper range limit	ppm	—	—	0.010	0.5	0.020	Sec. 53.23(e).
80% of upper range limit	Percent	2	2	—	—	—	Sec. 53.23(e).
	ppm	—	—	0.010	0.5	0.030	Sec. 53.23(e).
	Percent	2	2	—	—	—	Sec. 53.23(e).

1. To convert from parts per million (ppm) to µg/m<sup>3</sup> at 25 °C and 760 mm Hg, multiply by M/0.02447, where M is the molecular weight of the gas. Percent means percent of the upper range limit.  
 2. Tests for interference equivalent and lag time do not need to be repeated for any lower SO<sub>2</sub> range provided the test for the standard range shows that the lower range specification is met for each of these test parameters.

3. For candidate analyzers having automatic or adaptive time constants or smoothing filters, describe their functional nature, and describe and conduct suitable tests to demonstrate their function aspects and verify that performances for calibration, noise, lag, rise, fall times, and precision are within specifications under all applicable conditions. For candidate analyzers with operator-selectable time constants or smoothing filters, conduct calibration, noise, lag, rise, fall times, and precision tests at the highest and lowest settings that are to be included in the FRM or FEM designation.

4. For nitric oxide interference for the SO<sub>2</sub> UVF method, interference equivalent is ±0.003 ppm for the lower range.

\* \* \* \* \*

■ 13. Section 53.21 is amended by revising paragraph (a) to read as follows:

**§ 53.21 Test conditions.**

(a) *Set-up and start-up* of the test analyzer shall be in strict accordance with the operating instructions specified in the manual referred to in § 53.4(b)(3). Allow adequate warm-up or stabilization time as indicated in the operating instructions before beginning the tests. The test procedures assume that the test analyzer has an analog measurement signal output that is connected to a suitable strip chart

recorder of the servo, null-balance type. This recorder shall have a chart width of a least 25 centimeters, chart speeds up to 10 cm per hour, a response time of 1 second or less, a deadband of not more than 0.25 percent of full scale, and capability either of reading measurements at least 5 percent below zero or of offsetting the zero by at least 5 percent. If the test analyzer does not have an analog signal output, or if other types of measurement data output are used, an alternative measurement data recording device (or devices) may be used for the tests, provided it is reasonably suited to the nature and

purposes of the tests and an analog representation of the analyzer measurements for each test can be plotted or otherwise generated that is reasonably similar to the analog measurement recordings that would be produced by a conventional chart recorder.

\* \* \* \* \*

■ 14. Section 53.22(d) is amended by revising Table B-2 to read as follows:

**§ 53.22 Generation of test atmospheres.**

\* \* \* \* \*

(d) \* \* \*

TABLE B-2—TEST ATMOSPHERES

Test gas	Generation	Verification
Ammonia .....	Permeation device. Similar to system described in references 1 and 2.	Indophenol method, reference 3.
Carbon dioxide .....	Cylinder of zero air or nitrogen containing CO <sub>2</sub> as required to obtain the concentration specified in Table B-3.	Use NIST-certified standards whenever possible. If NIST standards are not available, obtain 2 standards from independent sources which agree within 2 percent, or obtain one standard and submit it to an independent laboratory for analysis, which must agree within 2 percent of the supplier's nominal analysis.
Carbon monoxide .....	Cylinder of zero air or nitrogen containing CO as required to obtain the concentration specified in Table B-3.	Use a FRM CO analyzer as described in reference 8.
Ethane .....	Cylinder of zero air or nitrogen containing ethane as required to obtain the concentration specified in Table B-3.	Gas chromatography, ASTM D2820, reference 10. Use NIST-traceable gaseous methane or propane standards for calibration.
Ethylene .....	Cylinder of pre-purified nitrogen containing ethylene as required to obtain the concentration specified in Table B-3.	Do.
Hydrogen chloride .....	Cylinder <sup>1</sup> of pre-purified nitrogen containing approximately 100 ppm of gaseous HCL. Dilute with zero air to concentration specified in Table B-3.	Collect samples in bubbler containing distilled water and analyze by the mercuric thiocyanate method, ASTM (D612), p. 29, reference 4.
Hydrogen sulfide .....	Permeation device system described in references 1 and 2.	Tentative method of analysis for H <sub>2</sub> S content of the atmosphere, p. 426, reference 5.
Methane .....	Cylinder of zero air containing methane as required to obtain the concentration specified in Table B-3.	Gas chromatography ASTM D2820, reference 10. Use NIST-traceable methane standards for calibration.
Naphthalene .....	1. Permeation device as described in references 1 and 2 .. 2. Cylinder of pre-purified nitrogen containing 100 ppm naphthalene. Dilute with zero air to concentration specified in Table B-3.	Use NIST-certified standards whenever possible. If NIST standards are not available, obtain 2 standards from independent sources which agree within 2 percent, or obtain one standard and submit it to an independent laboratory for analysis, which must agree within 2 percent of the supplier's nominal analysis.
Nitric oxide .....	Cylinder <sup>1</sup> of pre-purified nitrogen containing approximately 100 ppm NO. Dilute with zero air to required concentration.	Use NIST-certified standards whenever possible. If NIST standards are not available, obtain 2 standards from independent sources which agree within 2 percent, or obtain one standard and submit it to an independent laboratory for analysis, which must agree within 2 percent of the supplier's nominal analysis.
Nitrogen dioxide .....	1. Gas phase titration as described in reference 6 .....	1. Use an FRM NO <sub>2</sub> analyzer calibrated with a gravimetrically calibrated permeation device.
	2. Permeation device, similar to system described in reference 6.	2. Use an FRM NO <sub>2</sub> analyzer calibrated by gas-phase titration as described in reference 6.
Ozone .....	Calibrated ozone generator as described in reference 9 ....	Use an FEM ozone analyzer calibrated as described in reference 9.
Sulfur dioxide .....	1. Permeation device as described in references 1 and 2 .. 2. Dynamic dilution of a cylinder containing approximately 100 ppm SO <sub>2</sub> as described in Reference 7.	Use an SO <sub>2</sub> FRM or FEM analyzer as described in reference 7.

TABLE B-2—TEST ATMOSPHERES—Continued

Test gas	Generation	Verification
Water .....	Pass zero air through distilled water at a fixed known temperature between 20° and 30° C such that the air stream becomes saturated. Dilute with zero air to concentration specified in Table B-3.	Measure relative humidity by means of a dew-point indicator, calibrated electrolytic or piezo electric hygrometer, or wet/dry bulb thermometer.
Xylene .....	Cylinder of pre-purified nitrogen containing 100 ppm xylene. Dilute with zero air to concentration specified in Table B-3.	Use NIST-certified standards whenever possible. If NIST standards are not available, obtain 2 standards from independent sources which agree within 2 percent, or obtain one standard and submit it to an independent laboratory for analysis, which must agree within 2 percent of the supplier's nominal analysis.
Zero air .....	1. Ambient air purified by appropriate scrubbers or other devices such that it is free of contaminants likely to cause a detectable response on the analyzer. 2. Cylinder of compressed zero air certified by the supplier or an independent laboratory to be free of contaminants likely to cause a detectable response on the analyzer.	

<sup>1</sup> Use stainless steel pressure regulator dedicated to the pollutant measured.  
 Reference 1. O'Keefe, A. E., and Ortaman, G. C. "Primary Standards for Trace Gas Analysis." *Anal. Chem.* 38, 760 (1966).  
 Reference 2. Scaringelli, F. P., A. E. Rosenberg, E., and Bell, J. P., "Primary Standards for Trace Gas Analysis." *Anal. Chem.* 42, 871 (1970).  
 Reference 3. "Tentative Method of Analysis for Ammonia in the Atmosphere (Indophenol Method)", *Health Lab Sciences*, vol. 10, No. 2, 115-118, April 1973.  
 Reference 4. 1973 Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1916 Race St., Philadelphia, PA.  
 Reference 5. *Methods for Air Sampling and Analysis*, Intersociety Committee, 1972, American Public Health Association, 1015.  
 Reference 6. 40 CFR 50 Appendix F, "Measurement Principle and Calibration Principle for the Measurement of Nitrogen Dioxide in the Atmosphere (Gas Phase Chemiluminescence)."  
 Reference 7. 40 CFR 50 Appendix A-1, "Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Ultraviolet Fluorescence)."  
 Reference 8. 40 CFR 50 Appendix C, "Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Carbon Monoxide in the Atmosphere" (Non-Dispersive Infrared Photometry).  
 Reference 9. 40 CFR 50 Appendix D, "Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Ozone in the Atmosphere".  
 Reference 10. "Standard Test Method for C, through C5 Hydrocarbons in the Atmosphere by Gas Chromatography", D 2820, 1987 Annual Book of ASTM Standards, vol 11.03, American Society for Testing and Materials, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

■ 15. Section 53.23(d) is amended by **§ 53.23 Test procedures.** (d) \* \* \*  
 revising Table B-3 to read as follows: \* \* \* \* \*

TABLE B-3—INTERFERENT TEST CONCENTRATION,<sup>1</sup> PARTS PER MILLION

Pollutant	Analyzer type	Hydrochloric acid	Ammonia	Hydrogen sulfide	Sulfur dioxide	Nitrogen dioxide	Nitric oxide	Carbon dioxide	Ethylene	Ozone	M-xylene	Water vapor	Carbon monoxide	Methane	Ethane	Naphthalene
SO <sub>2</sub> .....	Ultraviolet fluorescence			≤ 0.1	40.14	0.5	0.5			0.5	0.2	20,000				≤ 0.05
SO <sub>2</sub> .....	Flame photometric			0.01	40.14			750				≤ 20,000	50			
SO <sub>2</sub> .....	Gas chromatography			0.1	40.14			750				≤ 20,000	50			
SO <sub>2</sub> .....	Spectrophotometric-wet chemical (pararosaniline).	0.2	0.1	0.1	40.14	0.5		750		0.5						
SO <sub>2</sub> .....	Electrochemical	0.2	0.1	0.1	40.14	0.5	0.5		0.2	0.5		≤ 20,000				
SO <sub>2</sub> .....	Conductivity	0.2	0.1		40.14	0.5		750								
SO <sub>2</sub> .....	Spectrophotometric-gas phase, including DOAS.				40.14	0.5				0.5	0.2					
O <sub>3</sub> .....	Chemiluminescent			≤ 0.1				750		40.08		≤ 20,000				
O <sub>3</sub> .....	Electrochemical		≤ 0.1		0.5	0.5				40.08						
O <sub>3</sub> .....	Spectrophotometric-wet chemical (potassium iodide).		≤ 0.1		0.5	0.5	≤ 0.5			40.08						
O <sub>3</sub> .....	Spectrophotometric-gas phase, including ultraviolet absorption and DOAS.				0.5	0.5	0.5			40.08	0.02	20,000				
CO .....	Infrared							750				20,000	410			
CO .....	Gas chromatography with flame ionization detector.											20,000	410		0.5	
CO .....	Electrochemical						0.5		0.2			20,000	410			
CO .....	Catalytic combustion-thermal detection.		0.1					750	0.2			20,000	410	5.0	0.5	
CO .....	IR fluorescence							750				20,000	410		0.5	
CO .....	Mercury replacement-UV photometric.								0.2			20,000	410		0.5	
NO <sub>2</sub> .....	Chemiluminescent		≤ 0.1		0.5	40.1	0.5					20,000				
NO <sub>2</sub> .....	Spectrophotometric-wet chemical (azo-dye reaction).				0.5	40.1	0.5	750		0.5						
NO <sub>2</sub> .....	Electrochemical	0.2	≤ 0.1		0.5	40.1	0.5	750		0.5		20,000	50			
NO <sub>2</sub> .....	Spectrophotometric-gas phase.		≤ 0.1		0.5	40.1	0.5			0.5		20,000	50			

1. Concentrations of interferent listed must be prepared and controlled to ±10 percent of the stated value.  
 2. Analyzer types not listed will be considered by the Administrator as special cases.  
 3. Do not mix with the pollutant.

- 4. Concentration of pollutant used for test. These pollutant concentrations must be prepared to ±10 percent of the stated value.
- 5. If candidate method utilizes an elevated-temperature scrubber for removal of aromatic hydrocarbons, perform this interference test.
- 6. If naphthalene test concentration cannot be accurately quantified, remove the scrubber, use a test concentration that causes a full scale response, reattach the scrubber, and evaluate response for interference

\* \* \* \* \*

**Subpart C [Amended]**

■ 16. Section 53.32 is amended by revising paragraph (e)(2) to read as follows:

**§ 53.32 Test procedures for methods for SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub>.**

\* \* \* \* \*

(e) \* \* \*

(2) For a candidate method having more than one selectable range, one range must be that specified in table B-1 of subpart B of this part, and a test analyzer representative of the method

must pass the tests required by this subpart while operated on that range. The tests may be repeated for one or more broader ranges (*i.e.*, ones extending to higher concentrations) than the one specified in table B-1 of subpart B of this part, provided that such a range does not extend to concentrations more than four times the upper range limit specified in table B-1 of subpart B of this part and that the test analyzer has passed the tests required by subpart B of this part (if applicable) for the broader range. If the tests required by this subpart are conducted or passed only for the range specified in table B-

1 of subpart B of this part, any equivalent method determination with respect to the method will be limited to that range. If the tests are passed for both the specified range and a broader range (or ranges), any such determination will include the broader range(s) as well as the specified range. Appropriate test data shall be submitted for each range sought to be included in such a determination.

\* \* \* \* \*

■ 17. Table C-1 to Subpart C is revised to read as follows:

**TABLE C-1 TO SUBPART C OF PART 53—TEST CONCENTRATION RANGES, NUMBER OF MEASUREMENTS REQUIRED, AND MAXIMUM DISCREPANCY SPECIFICATIONS**

Pollutant	Concentration range, parts per million (ppm)	Simultaneous measurements required				Maximum discrepancy specification, parts per million
		1-hour		24-hour		
		First set	Second set	First set	Second set	
Ozone	Low 0.06 to 0.10	5	6	.....	.....	0.02
	Med. 0.15 to 0.25	5	6	.....	.....	0.03
	High 0.35 to 0.46	4	6	.....	.....	0.04
	Total	14	18	.....	.....	.....
Carbon monoxide	Low 7 to 11	5	6	.....	.....	1.5
	Med. 20 to 30	5	6	.....	.....	2.0
	High 25 to 45	4	6	.....	.....	3.0
	Total	14	18	.....	.....	.....
Sulfur dioxide	Low 0.02 to 0.05	5	6	3	3	0.02
	Med. 0.10 to 0.15	5	6	2	3	0.03
	High 0.30 to 0.50	4	6	2	2	0.04
	Total	14	18	7	8	.....
Nitrogen dioxide	Low 0.02 to 0.08	.....	.....	3	3	0.02
	Med. 0.10 to 0.20	.....	.....	2	2	0.02
	High 0.25	.....	.....	2	2	0.03
	Total	.....	.....	7	8	.....

**PART 58—AMBIENT AIR QUALITY SURVEILLANCE**

■ The authority citation for part 58 continues to read as follows:

Authority: 42 U.S.C. 7403, 7410, 7601(a), 7611, and 7619.

**Subpart B [AMENDED]**

■ 19. Section 58.10, is amended by adding paragraph (a)(6) to read as follows:

**§ 58.10 Annual monitoring network plan and periodic network assessment.**

\* \* \* \* \*

(a) \* \* \*

(6) A plan for establishing SO<sub>2</sub> monitoring sites in accordance with the requirements of appendix D to this part shall be submitted to the EPA Regional Administrator by July 1, 2011 as part of the annual network plan required in paragraph (a) (1). The plan shall provide for all required SO<sub>2</sub> monitoring sites to be operational by January 1, 2013.

\* \* \* \* \*

■ 20. Section 58.12 is amended by adding paragraph (g) to read as follows:

**§ 58.12 Operating Schedules**

\* \* \* \* \*

(g) For continuous SO<sub>2</sub> analyzers, the maximum 5-minute block average concentration of the twelve 5-minute blocks in each hour must be collected except as noted in § 58.12 (a).

\* \* \* \* \*

■ 21. Section 58.13 is amended by adding paragraph (d) to read as follows:

**§ 58.13 Monitoring network completion.**

\* \* \* \* \*

(d) The network of SO<sub>2</sub> monitors must be physically established no later than January 1, 2013, and at that time, must be operating under all of the requirements of this part, including the



requirements of appendices A, C, D, and E to this part.

■ 22. Section 58.16 is amended by adding paragraph (g) to read as follows:

**§ 58.16 Data submittal and archiving requirements.**

\* \* \* \* \*

(g) Any State or, where applicable, local agency operating a continuous SO<sub>2</sub> analyzer shall report the maximum 5-minute SO<sub>2</sub> block average of the twelve 5-minute block averages in each hour, in addition to the hourly SO<sub>2</sub> average.

■ 23. Appendix A to Part 58 is amended as by adding paragraph 2.3.1.6 to read as follows:

**Appendix A to Part 58—Quality Assurance Requirements for SLAMS, SPMs and PSD Air Monitoring**

\* \* \* \* \*

2.3.1.6 *Measurement Uncertainty for SO<sub>2</sub>.* The goal for acceptable measurement uncertainty for precision is defined as an upper 90 percent confidence limit for the coefficient of variation (CV) of 10 percent and for bias as an upper 95 percent confidence limit for the absolute bias of 10 percent.

\* \* \* \* \*

■ 24. Appendix D to Part 58 is amended as by revising paragraph 4.4 to read as follows:

**Appendix D to Part 58—Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring**

\* \* \* \* \*

**4.4 Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Design Criteria.**

4.4.1 *General Requirements.* (a) State and, where appropriate, local agencies must operate a minimum number of required SO<sub>2</sub> monitoring sites as described below.

4.4.2 *Requirement for Monitoring by the Population Weighted Emissions Index.* (a) The population weighted emissions index (PWEI) shall be calculated by States for each core based statistical area (CBSA) they contain or share with another State or States for use in the implementation of or adjustment to the SO<sub>2</sub> monitoring network. The PWEI shall be calculated by multiplying the population of each CBSA, using the most current census data or estimates, and the total amount of SO<sub>2</sub> in tons per year emitted within the CBSA area, using an aggregate of the most recent county level emissions data available in the National Emissions Inventory for each county in each CBSA. The resulting product shall be divided by one million, providing a PWEI value, the units of which are million persons-tons per year. For any

CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 1,000,000, a minimum of three SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 100,000, but less than 1,000,000, a minimum of two SO<sub>2</sub> monitors are required within that CBSA. For any CBSA with a calculated PWEI value equal to or greater than 5,000, but less than 100,000, a minimum of one SO<sub>2</sub> monitor is required within that CBSA.

(1) The SO<sub>2</sub> monitoring site(s) required as a result of the calculated PWEI in each CBSA shall satisfy minimum monitoring requirements if the monitor is sited within the boundaries of the parent CBSA and is one of the following site types (as defined in section 1.1.1 of this appendix): population exposure, highest concentration, source impacts, general background, or regional transport. SO<sub>2</sub> monitors at NCore stations may satisfy minimum monitoring requirements if that monitor is located within a CBSA with minimally required monitors under this part. Any monitor that is sited outside of a CBSA with minimum monitoring requirements to assess the highest concentration resulting from the impact of significant sources or source categories existing within that CBSA shall be allowed to count towards minimum monitoring requirements for that CBSA.

4.4.3 *Regional Administrator Required Monitoring.* (a) The Regional Administrator may require additional SO<sub>2</sub> monitoring stations above the minimum number of monitors required in 4.4.2 of this part, where the minimum monitoring requirements are not sufficient to meet monitoring objectives. The Regional Administrator may require, at his/her discretion, additional monitors in situations where an area has the potential to have concentrations that may violate or contribute to the violation of the NAAQS, in areas impacted by sources which are not conducive to modeling, or in locations with susceptible and vulnerable populations, which are not monitored under the minimum monitoring provisions described above. The Regional Administrator and the responsible State or local air monitoring agency shall work together to design and/or maintain the most appropriate SO<sub>2</sub> network to provide sufficient data to meet monitoring objectives.

4.4.4 *SO<sub>2</sub> Monitoring Spatial Scales.* (a) The appropriate spatial scales for SO<sub>2</sub> SLAMS monitors are the microscale, middle, neighborhood, and urban scales. Monitors sited at the microscale, middle, and neighborhood scales are suitable for determining maximum hourly concentrations for SO<sub>2</sub>. Monitors sited at urban scales are useful for identifying SO<sub>2</sub> transport, trends, and, if sited upwind of local sources, background concentrations.

(1) *Microscale*—This scale would typify areas in close proximity to SO<sub>2</sub> point and area sources. Emissions from stationary point

and area sources, and non-road sources may, under certain plume conditions, result in high ground level concentrations at the microscale. The microscale typically represents an area impacted by the plume with dimensions extending up to approximately 100 meters.

(2) *Middle scale*—This scale generally represents air quality levels in areas up to several city blocks in size with dimensions on the order of approximately 100 meters to 500 meters. The middle scale may include locations of expected maximum short-term concentrations due to proximity to major SO<sub>2</sub> point, area, and/or non-road sources.

(3) *Neighborhood scale*—The neighborhood scale would characterize air quality conditions throughout some relatively uniform land use areas with dimensions in the 0.5 to 4.0 kilometer range. Emissions from stationary point and area sources may, under certain plume conditions, result in high SO<sub>2</sub> concentrations at the neighborhood scale. Where a neighborhood site is located away from immediate SO<sub>2</sub> sources, the site may be useful in representing typical air quality values for a larger residential area, and therefore suitable for population exposure and trends analyses.

(4) *Urban scale*—Measurements in this scale would be used to estimate concentrations over large portions of an urban area with dimensions from 4 to 50 kilometers. Such measurements would be useful for assessing trends in area-wide air quality, and hence, the effectiveness of large scale air pollution control strategies. Urban scale sites may also support other monitoring objectives of the SO<sub>2</sub> monitoring network such as identifying trends, and when monitors are sited upwind of local sources, background concentrations.

4.4.5 *NCore Monitoring.* (a) SO<sub>2</sub> measurements are included within the NCore multipollutant site requirements as described in paragraph (3)(b) of this appendix. NCore-based SO<sub>2</sub> measurements are primarily used to characterize SO<sub>2</sub> trends and assist in understanding SO<sub>2</sub> transport across representative areas in urban or rural locations and are also used for comparison with the SO<sub>2</sub> NAAQS. SO<sub>2</sub> monitors at NCore sites that exist in CBSAs with minimum monitoring requirements per section 4.4.2 above shall be allowed to count towards those minimum monitoring requirements.

\* \* \* \* \*

■ 25. Appendix G to Part 58 is amended as by revising Table 2 to read as follows:

**Appendix G to Part 58—Uniform Air Quality Index (AQI) and Daily Reporting**

\* \* \* \* \*

TABLE 2—BREAKPOINTS FOR THE AQI

These breakpoints							Equal these AQI's	
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hour	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hour <sup>1</sup>	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm) 1-hour	NO <sub>2</sub> (ppm) 1-hour	AQI	Category
0.000–0.059 ..		0.0–15.4	0–54	0.0–4.4	0–0.035	0–0.053	0–50	Good.
0.060–0.075 ..		15.5–40.4	55–154	4.5–9.4	0.036–0.075	0.054–0.100	51–100	Moderate.
0.076–0.095 ..	0.125–0.164	40.5–65.4	155–254	9.5–12.4	0.076–0.185	0.101–0.360	101–150	Unhealthy for Sen- sitive Groups.
0.096–0.115 ..	0.165–0.204	<sup>3</sup> 65.5–150.4	255–354	12.5–15.4	<sup>4</sup> 0.186–0.304	0.361–0.64	151–200	Unhealthy.
0.116–0.374 ..	0.205–0.404	<sup>3</sup> 150.5–250.4	355–424	15.5–30.4	<sup>4</sup> 0.305–0.604	0.65–1.24	201–300	Very Unhealthy.
( <sup>2</sup> ) .....	0.405–0.504	<sup>3</sup> 250.5–350.4	425–504	30.5–40.4	<sup>4</sup> 0.605–0.804	1.25–1.64	301–400	
( <sup>2</sup> ) .....	0.505–0.604	<sup>3</sup> 350.5–500.4	505–604	40.5–50.4	<sup>4</sup> 0.805–1.004	1.65–2.04	401–500	Hazardous.

<sup>1</sup> Areas are generally required to report the AQI based on 8-hour ozone values. However, there are a small number of areas where an AQI based on 1-hour ozone values would be more precautionary. In these cases, in addition to calculating the 8-hour ozone index value, the 1-hour ozone index value may be calculated, and the maximum of the two values reported.

<sup>2</sup> 8-hour O<sub>3</sub> values do not define higher AQI values (≥301). AQI values of 301 or greater are calculated with 1-hour O<sub>3</sub> concentrations.

<sup>3</sup> If a different SHL for PM<sub>2.5</sub> is promulgated, these numbers will change accordingly.

<sup>4</sup> 1-hr SO<sub>2</sub> values do not define higher AQI values (≥200). AQI values of 200 or greater are calculated with 24-hour SO<sub>2</sub> concentrations.

\* \* \* \* \*

[FR Doc. 2010-13947 Filed 6-21-10; 8:45 am]

BILLING CODE 6560-50-P

United States Court of Appeals

FOR THE DISTRICT OF COLUMBIA CIRCUIT

Argued September 26, 1997

Decided January 30, 1998

No. 96-1251

American Lung Association, et al.,

Petitioners

v.

Environmental Protection Agency and

Carol M. Browner, Administrator, United States

Environmental Protection Agency,

Respondents

Appalachian Power Company, et al.,

Intervenors

-----

Consolidated with

No. 96-1255

-----

On Petitions for Review of an Order of the

Environmental Protection Agency

-----

Robert E. Yuhnke argued the cause for petitioners. With him on the briefs were Christine L. Shaver and Howard I. Fox.

000361

VIA

Karen L. Egbert, Attorney, U.S. Department of Justice, argued the cause for respondents. With her on the brief were Lois J. Schiffer, Assistant Attorney General, and Michael L. Goo, Counsel, Environmental Protection Agency. Gerald K. Gleason, Counsel, entered an appearance.

Andrea Bear Field, Henry V. Nickel, Linda C. Trees, and James R. Bieke were on the brief for intervenor Appalachian Power Company, et al. Ross S. Antonson entered an appearance.

Before: Edwards, Chief Judge, Ginsburg and Tatel, Circuit Judges.

Opinion for the Court filed by Circuit Judge Tatel.

Tatel, Circuit Judge: On behalf of the nation's nearly nine million asthmatics, the American Lung Association and the Environmental Defense Fund challenge the Environmental Protection Agency's refusal to revise the primary national ambient air quality standards for sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>). Declining to promulgate a more stringent national standard, the EPA Administrator concluded that the substantial physical effects experienced by some asthmatics from exposure to short-term, high-level SO<sub>2</sub> bursts do not amount to a public health problem. Because the Administrator failed adequately to explain this conclusion, we remand for further elucidation.

## I

Driven by its "deep concern for protection of the health of the American people," Sen. Rep. No. 91-1196, at 1 (1970) ("Senate Report"), Congress enacted the Clean Air Act Amendments of 1970, Pub. L. No. 91-604, 84 Stat. 1676 (1970) (codified as amended at 42 U.S.C. ss 7401-7671q (1994)), mandating a "massive attack on air pollution," Senate Report at 1. As amended, the Clean Air Act erects a comprehensive system of national ambient air quality standards ("NAAQS")

to regulate health-threatening air pollutants. The statute defines primary NAAQS as "ambient air quality standards the attainment and maintenance of which in the judgment of the Administrator, based on such criteria and allowing an adequate margin of safety, are requisite to protect the public health." 42 U.S.C. s 7409(b)(1).

Once the EPA Administrator concludes that a pollutant "may reasonably be anticipated to endanger public health or welfare" and that it comes from "numerous or diverse mobile or stationary sources," id. s 7408(a)(1)(A)-(B), the Act requires the Administrator to produce "criteria," defined as the latest scientific data on "all identifiable effects on public health" caused by that pollutant. Id. s 7408(a)(2). Based on these comprehensive criteria and taking account of the "pre-ventative" and "precautionary" nature of the act, Lead Indus-

tries Ass'n, Inc. v. EPA, 647 F.2d 1130, 1155 (D.C. Cir. 1980), the Administrator must then decide what margin of safety will protect the public health from the pollutant's adverse effects--not just known adverse effects, but those of scientific uncertainty or that "research has not yet uncovered." Id. at 1153. Then, and without reference to cost or technological feasibility, the Administrator must promulgate national standards that limit emissions sufficiently to establish that margin of safety. See 42 U.S.C. s 7409(b)(1); American Petroleum Inst. v. Costle, 665 F.2d 1176, 1181-82 (D.C. Cir. 1981) (describing NAAQS promulgation procedure); Lead Industries, 647 F.2d at 1148-50 (in establishing NAAQS, Congress deliberately subordinated economic and technological feasibility concerns to the achievement of public health goals). States bear primary responsibility for attaining, maintaining, and enforcing these standards. See 42 U.S.C. s 7410.

In its effort to reduce air pollution, Congress defined public health broadly. NAAQS must protect not only average healthy individuals, but also "sensitive citizens"--children, for example, or people with asthma, emphysema, or other conditions rendering them particularly vulnerable to air pollution. Senate Report at 10; Lead Industries, 647 F.2d at 1152. If a pollutant adversely affects the health of these sensitive individuals, EPA must strengthen the entire national standard.

Lead Industries, 647 F.2d at 1153 (NAAQS "must be set at a level at which there is 'an absence of adverse effect' on [ ] sensitive individuals") (quoting Senate Report at 10).

#### Sulfur Dioxide and Asthmatics

A highly reactive colorless gas smelling like rotten eggs, sulfur dioxide derives primarily from fossil fuel combustion. Best known for causing "acid rain," at elevated concentrations in the ambient air, SO<sub>2</sub> also directly impairs human health. As the Administrator explains in the Final Decision on review here, at concentrations above 2.0 parts per million ("ppm"), SO<sub>2</sub> can affect healthy nonasthmatic individuals; below 2.0 ppm, it primarily affects people with asthma. National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides (Sulfur Dioxide)--Final Decision, 61 Fed. Reg. 25,566, 25,570 (1996).

Following the passage of the Clean Air Act, EPA promulgated the SO<sub>2</sub> NAAQS in effect today. The primary standards consist of a 24-hour standard (0.14 ppm averaged over 24 hours not to be exceeded more than once a year) and an annual standard (0.03 ppm annual arithmetic mean). Id. at 25,568. EPA also established a "secondary" three-hour standard (0.50 ppm averaged over three hours not to be exceeded more than once a year), designed to protect the "public welfare" against non-health-related effects such as visibility impairment or environmental degradation, see 42 U.S.C. s 7409(b)(2). Petitioners do not challenge these existing standards.

Approximately four percent of the nation's population suf-

000362

VTA.

fers from asthma. Characterized by bronchoconstriction--shortness of breath, coughing, wheezing, chest tightness, and sputum production--asthma is triggered by many different stimuli, including cold or dry air, exercise or pollen as well as airborne pollutants. The effects of bronchoconstriction can vary from short-term discomfort, such as an hour-long reaction with no lasting after-effects, to asthma attacks requiring medication or hospitalization. Although rare, death can result.

Sulfur dioxide induces bronchoconstriction in asthmatics, but only under certain conditions. To experience adverse effects from SO<sub>2</sub> concentrations below 1.0 ppm, asthmatics must be exposed for five minutes or longer while breathing quickly and heavily through both nose and mouth, the sort of breathing induced by light exercise, shoveling snow, climbing several flights of stairs, or jogging to catch a bus. At concentrations above 2.0 ppm, SO<sub>2</sub> causes adverse effects even if the exposure lasts less than five minutes or the asthmatic breathes regularly. See Second Addendum to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982): Assessment of Newly Available Health Effects Information (1986).

#### The Challenged Final Decision

This case concerns the effect on asthmatics of what are known as high-level SO<sub>2</sub> bursts, defined as emissions of 0.50 ppm or more lasting at least five minutes. Occurring sporadically and from specific sources, SO<sub>2</sub> bursts come primarily from power utilities; the rest come from nonutility sources such as industrial boilers, petroleum refineries, pulp and paper mills, sulfuric acid plants, and aluminum smelters.

Citing the health concerns of asthmatics and relying on a 1977 amendment to the Clean Air Act, in which Congress ordered the Agency to review and revise all criteria and NAAQS by 1980 and at five-year intervals thereafter, 42 U.S.C. s 7409(d), petitioners urged EPA to issue a new NAAQS limiting short-term SO<sub>2</sub> bursts. Not until 1996, after petitioners sued twice to compel a decision, see *Environmental Defense Fund v. Thomas*, 870 F.2d 892 (2d Cir. 1989); *American Lung Ass'n v. Browner*, Civil Action No. 92-5316 (E.D.N.Y. Nov. 12, 1992), and after two rounds of public notice and comment, did EPA issue its final decision regarding SO<sub>2</sub> NAAQS. See NAAQS for Sulfur Oxides (Sulfur Dioxide)--Reproposal, 59 Fed. Reg. 58,958 (1994); Proposed Decision Not To Revise the National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides (Sulfur Dioxide), 53 Fed. Reg. 14,926 (1988). Rejecting petitioners' arguments, EPA con-

cluded not only that the annual and 24-hour primary standards needed no revision, but also that an additional five-minute standard was unnecessary to protect asthmatics. See Final Decision at 25,575-76.

In arriving at her final decision, the Administrator reviewed a decade of data on the extent of high-level short-term SO<sub>2</sub> bursts and their effects on public health. See Review of the National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides: Assessment of Scientific and Technical Information: Supplement to the 1986 OAQPS Staff Paper Addendum (Sept. 1994); Supplement to the Second Addendum (1986) to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982): Assessment of New Findings on Sulfur Dioxide Acute Exposure Health Effects in Asthmatic Individuals (Aug. 1994). Based on clinical studies of mild to moderate asthmatics, she found that when such individuals breathe rapidly while exposed to SO<sub>2</sub> concentrations of 0.60 ppm for five minutes, "substantial percentages ( $\geq$  25 percent)" experience effects "distinctly exceeding ... [the] typical daily variation in lung function" that asthmatics routinely experience. Final Decision at 25,572. The severity of these atypical effects, she found, "is likely to be of sufficient concern to cause disruption of ongoing activities, use of bronchodilator medication, and/or possible seeking of medical attention." Id.

The scientific community disagreed about the medical significance of these effects and whether they should be considered "adverse." Some experts took the position that such symptoms usually have no lasting impact, amounting at worst to a brief period of reversible discomfort; others argued that even a one-hour disruption of activity can amount to a worrisome adverse health effect. The Administrator left this dispute unresolved. Instead, she discerned in the medical debate a consensus, which she adopted, that "repeated occurrences of such effects should be regarded as significant from a public health standpoint." Id. at 25,573 (emphasis added).

The Administrator then discussed the three exposure analyses on which the 1994 version of the proposed rule rested.

These studies estimated that from 180,000 to 395,000 "exposure events"--defined as a heavily breathing asthmatic exposed to an SO<sub>2</sub> burst--occur annually, affecting from 68,000 to 166,000 asthmatic individuals. Id. at 25,574. In view of the Administrator's previous finding, reiterated by agency counsel at oral argument, that at least 25 percent of asthmatics experience atypical effects from exposure events, these data suggest that as many as 41,500 ( $\geq$  25 percent of 166,000) asthmatics experience atypical effects from repeated SO<sub>2</sub> bursts each year. At the same time, the Administrator acknowledged that subsequent industry studies of four non-utility sources suggest that the 1994 studies may have overestimated exposure for certain SO<sub>2</sub> sources, id., meaning that the number of affected asthmatics could be lower. The Administrator did not resolve the conflict between the studies.

Armed with all these data, the Administrator concluded that "the likelihood that asthmatic individuals will be exposed ... is very low when viewed from a national perspective," that "5-minute peak SO<sub>2</sub> levels do not pose a broad public health problem when viewed from a national perspective,"

000363

v7A

and that "short-term peak concentrations of SO<sub>2</sub> do not constitute the type of ubiquitous public health problem for which establishing a NAAQS would be appropriate." *Id.* at 25,575. Describing SO<sub>2</sub> bursts as "localized, infrequent and site-specific," she concluded that a new national standard was unnecessary. *Id.* The Administrator nevertheless decided to encourage individual states to address short-term high-level SO<sub>2</sub> emissions, initiating a rulemaking to provide appropriate guidance. Proposed Implementation Requirements for Reduction of Sulfur Oxide (Sulfur Dioxide) Emissions, 62 Fed. Reg. 210 (Jan. 2, 1997) ("Proposed State Guidelines Rulemaking") (soliciting public comment on proposed guidelines for state monitoring and regulation of five-minute peaks of SO<sub>2</sub>).

Petitioners now challenge the Administrator's decision declining to promulgate a new NAAQS. They assert that by failing to establish a five-minute NAAQS capping SO<sub>2</sub> emissions at 0.60 ppm, EPA has violated its statutory responsibility to protect the public health. We review the Administrator's decision pursuant to 42 U.S.C. s 7607(d)(9)(A)-(C)

("[C]ourt may reverse any such [agency] action found to be ... arbitrary, capricious, an abuse of discretion, or otherwise not in accordance with law; ... [or] in excess of statutory ... authority, or limitations....").

## II

Petitioners challenge much of the data the Administrator relied on, as well as the conclusions she drew. Generally speaking, we will not second-guess EPA in its area of special expertise. See *Natural Resources Defense Council v. United States EPA*, 824 F.2d 1146, 1163 (D.C. Cir. 1987) (en banc); *American Petroleum Institute*, 665 F.2d at 1184. Applying this deferential standard of review, we accept the Administrator's analysis of the exposure studies in the record, as well as the implication of her analysis--that thousands of asthmatics can be expected to react atypically to SO<sub>2</sub> bursts each year.

Petitioners contend that the Administrator's analysis amounts to a conclusive finding that SO<sub>2</sub> bursts adversely affect asthmatics' health, thus triggering her duty to promulgate a new NAAQS. See *Lead Industries*, 647 F.2d at 1153. At oral argument, counsel for EPA vigorously disputed petitioners' contention that the Administrator "found" an adverse health effect. As we read the record, agency counsel appears to be correct: The Administrator did not decide whether asthmatic reaction to SO<sub>2</sub> bursts--"disruption of ongoing activities, use of bronchodilator medication, and/or possible seeking of medical attention"--amounts to an adverse health effect or merely, as some medical experts argued, run-of-the-mill asthma symptoms indistinguishable from bronchodilation due to cold air or exercise. Final Decision at 25,572-73. Skipping this disputed question, the Administrator concluded that, regardless of the impact of single occurrences, "repeated occurrences of such effects should be regarded as significant



from a public health standpoint." Id. at 25,573.

Disagreeing with this approach, petitioners argue that the Administrator had to answer the subsidiary "adverse effects" question, pointing to her warning to all states in the subse-

quent rulemaking that "[a]lthough these episodes are few, it is clear that 5-minute SO2 ambient concentration peaks pose a health threat to sensitive exposed populations," Proposed State Guidelines Rulemaking at 211. We need not decide that issue at this time, however, because we think the Administrator has failed to explain the answer she did give, i.e., that SO2 bursts do not amount to a "public health" problem within the meaning of the Act. The link between this conclusion and the factual record as interpreted by EPA--that "repeated" exposure is "significant" and that thousands of asthmatics are exposed more than once a year--is missing. Why is the fact that thousands of asthmatics can be expected to suffer atypical physical effects from repeated five-minute bursts of high-level sulfur dioxide not a public health problem? Why are from 180,000 to 395,000 annual "exposure events" (the range indicated by the 1994 studies) or some fewer number (as suggested by the industry studies) so "infrequent" as to warrant no regulatory action? Why are disruptions of ongoing activities, use of medication, and hospitalization not "adverse health effects" for asthmatics? Answers to these questions appear nowhere in the administrative record.

In her only statement resembling an explanation for her conclusion that peak SO2 bursts present no public health hazard, the Administrator characterizes the bursts as "localized, infrequent and site-specific." Final Decision at 25,575. But nothing in the Final Decision explains why "localized," "site-specific" or even "infrequent" events might nevertheless create a public health problem, particularly since, in some sense, all pollution is local and site-specific, whether spewing from the tailpipes of millions of cars or a few offending smoke stacks. From the record, we know that at least six communities experience "repeated high 5-minute peaks greater than 0.60 ppm SO2," id., and agency counsel told us at oral argument that these so-called "hot spots" are not the only places where repeated exposure occurs. Nowhere, however, does the Administrator explain why these data amount to no more than a "local" problem.

Without answers to these questions, the Administrator cannot fulfill her responsibility under the Clean Air Act to establish NAAQS "requisite to protect the public health," 42 U.S.C. s 7409(b)(1), nor can we review her decision. Judicial deference to decisions of administrative agencies like EPA rests on the fundamental premise that agencies engage in reasoned decision-making. See Vermont Yankee Nuclear Power Corp. v. Natural Resources Defense Council, 435 U.S. 519, 524-25, 544-45, 558 (1978); SEC v. Chenery Corp., 332 U.S. 194, 209 (1947) (agency's experience, appreciation of complexities and policies, and responsible treatment of the

000364  
v 7A

facts "justifies the use of the administrative process"). With its delicate balance of thorough record scrutiny and deference to agency expertise, judicial review can occur only when agencies explain their decisions with precision, for "[i]t will not do for a court to be compelled to guess at the theory underlying the agency's action...." SEC v. Chenery Corp., 332 U.S. at 196-97. Where, as here, Congress has delegated to an administrative agency the critical task of assessing the public health and the power to make decisions of national import in which individuals' lives and welfare hang in the balance, that agency has the heaviest of obligations to explain and expose every step of its reasoning. For these compelling reasons, we have always required the Administrator to "co-gently explain why [she] has exercised [her] discretion in a given manner." Motor Vehicle Mfrs. Ass'n v. State Farm Mut. Auto. Ins., 463 U.S. 29, 48 (1983).

In this case, the Administrator may well be within her authority to decide that 41,500 or some smaller number of exposed asthmatics do not amount to a public health problem warranting national protective regulation, or that three or six or twelve annual exposures present no cause for medical concern. But unless she describes the standard under which she has arrived at this conclusion, supported by a "[ ]plausible" explanation, *id.* at 43, we have no basis for exercising our responsibility to determine whether her decision is "arbitrary, capricious, an abuse of discretion, or otherwise not in accordance with law; ... [or] in excess of statutory ... authority, or limitations...." 42 U.S.C. s 7607(d)(9)(A)-(C).

Given the gaps in the Final Decision's reasoning, we must remand this case to permit the Administrator to explain her conclusions more fully. We therefore need not resolve the debate between the parties over whether the Clean Air Act authorizes the Administrator to decline to protect an identifiable group of asthmatics from a known adverse health effect. Although our cases make clear that the Administrator has broad discretion to establish an "adequate margin of safety" above and beyond what scientific certainty prescribes and to craft regulations that protect against unknown harms, see *Lead Industries*, 647 F.2d at 1153-55 (Administrator must "err on the side of caution" when establishing the margin of safety, even where the "medical significance [of the effects] is a matter of disagreement"), they do not necessarily establish the converse proposition--that the Administrator may decline to establish a margin of safety in the face of documented adverse health effects. Since in this case the Administrator has failed adequately to explain her conclusion that no public health threat exists, we can leave the issue of the scope of her authority for another day.

We remand this case to the agency for further proceedings consistent with this opinion.

So ordered.

**NORMATIVA de la COMUNIDAD EUROPEA**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en la Comunidad Europea:

- Directiva de la Comunidad Europea (Directiva 2001/81/CE).
- Directiva de la Comunidad Europea relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa (Directiva 2008/50/CE).

**DIRECTIVA 2001/81/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**

de 23 de octubre de 2001

**sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos**

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea, y en particular el apartado 1 de su artículo 175,

Vista la propuesta de la Comisión <sup>(1)</sup>,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social <sup>(2)</sup>,

Visto el dictamen del Comité de las Regiones <sup>(3)</sup>,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 251 del Tratado <sup>(4)</sup>, a la vista del texto conjunto aprobado por el Comité de Conciliación el 2 de agosto de 2001,

Considerando lo siguiente:

- (1) El planteamiento y la estrategia generales del Quinto programa acción en materia de medio ambiente, tal y como fue adoptado por el Consejo y por los Representantes de los Gobiernos de los Estados miembros reunidos en el seno del Consejo, en su Resolución de 1 de febrero de 1993, sobre un programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible <sup>(5)</sup>, establece como objetivo la no superación de las cargas y los niveles críticos de acidificación en la Comunidad. El programa exige que toda la población sea protegida de forma eficaz frente a los riesgos para la salud derivados de la contaminación atmosférica y que los niveles de contaminación permitidos tengan en cuenta la protección del medio ambiente. El programa exige también la imposición a nivel comunitario de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- (2) Los Estados miembros han firmado el Protocolo de Gotemburgo, de 1 de diciembre de 1999, al Convenio de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia para reducir la acidificación, la eutrofización del suelo y el ozono en la baja atmósfera.

- (3) La Decisión n° 2179/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de septiembre de 1998 relativa a la revisión del Programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible «Hacia un desarrollo sostenible» <sup>(6)</sup>, especificó que debía prestarse una atención especial al desarrollo y a la aplicación de una estrategia destinada a garantizar que no se superen las cargas críticas en relación con la exposición a los contaminantes acidificantes, eutrofizantes y fotoquímicos de la atmósfera.

- (4) La Directiva 92/72/CEE del Consejo, de 21 de septiembre de 1992, sobre la contaminación atmosférica por ozono <sup>(7)</sup> obliga a la Comisión a presentar al Consejo un informe sobre la evaluación de la contaminación fotoquímica en la Comunidad junto con las propuestas que la Comisión considere apropiadas para controlar la contaminación atmosférica por ozono en la baja atmósfera y, llegado el caso, para reducir las emisiones de precursores de esta sustancia.

- (5) Áreas considerables de la Comunidad están expuestas a unos niveles de depósitos de sustancias acidificantes y eutrofizantes tales que producen efectos nocivos sobre el medio ambiente. Los valores guía de la OMS para la protección de la salud humana y de la vegetación frente a la contaminación fotoquímica se superan ampliamente en todos los Estados miembros.

- (6) Deben eliminarse, por consiguiente, de manera gradual los casos de superación de las cargas críticas y respetarse los valores guía.

- (7) En la actualidad no es técnicamente factible lograr el objetivo a largo plazo de eliminar los efectos nocivos de la acidificación o reducir la exposición del hombre y el medio ambiente al ozono en la baja atmósfera a niveles conformes a los valores guía establecidos por la OMS. En lo que respecta a la acidificación y a la contaminación por ozono en la baja atmósfera, es necesario por tanto basar las medidas de reducción de dicha contaminación en el establecimiento de objetivos medioambientales intermedios.

- (8) Los objetivos medioambientales intermedios y las medidas necesarias para alcanzarlos deben tener en cuenta su viabilidad técnica y los costes y beneficios asociados a los mismos. Dichas medidas deben garantizar que cualquier posible intervención sea rentable para el conjunto de la Comunidad y deben tener en cuenta la necesidad de evitar costes excesivos para cada uno de los Estados miembros.

<sup>(1)</sup> DO C 56 E de 29.2.2000, p. 34.

<sup>(2)</sup> DO C 51 de 23.2.2000, p. 11.

<sup>(3)</sup> DO C 317 de 6.11.2000, p. 35.

<sup>(4)</sup> Dictamen del Parlamento Europeo de 15 de marzo de 2000 (DO C 219 de 30.7.1999, p. 175), Posición Común del Consejo de 7 de noviembre de 2000 (DO C 375 de 28.12.2000, p. 12) y Decisión del Parlamento Europeo de 14 de marzo de 2001 (no publicada aún en el Diario Oficial). Decisión del Parlamento Europeo de 20 de septiembre de 2001 y Decisión del Consejo de 27 de septiembre de 2001.

<sup>(5)</sup> DO C 138 de 17.5.1993, p. 1.

<sup>(6)</sup> DO L 257 de 10.10.1998, p. 1.

<sup>(7)</sup> DO L 297 de 13.10.1992, p. 1.

- (9) La contaminación transfronteriza contribuye a la acidificación, la eutrofización del suelo y la formación de ozono en la baja atmósfera, cuya reducción exige la intervención coordinada de la Comunidad.
- (10) La reducción de emisiones de los contaminantes que causan la acidificación y la exposición al ozono en la baja atmósfera contribuirá también a reducir la eutrofización del suelo.
- (11) Una forma eficaz de cumplir los objetivos medioambientales intermedios es establecer un límite nacional para cada Estado miembro en relación con las emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco. Dichos techos de emisión otorgarán a la Comunidad y a sus Estados miembros una cierta flexibilidad para determinar la forma de cumplirlos.
- (12) Los Estados miembros deben responsabilizarse de la aplicación de las medidas necesarias para cumplir los techos nacionales de emisión. Será necesario evaluar los progresos realizados para el cumplimiento de los techos de emisión. Deben elaborarse, por tanto, programas nacionales de reducción de las emisiones que se presentarán a la Comisión y que deberán incluir información sobre las medidas adoptadas o previstas para cumplir los techos de emisión.
- (13) De conformidad con el principio de subsidiariedad mencionado en el artículo 5 del Tratado y teniendo en cuenta, en particular, el principio de cautela, los objetivos de la presente Directiva, a saber, la limitación de las emisiones de contaminantes acidificantes y eutrofizantes y de precursores del ozono, no pueden ser alcanzados de manera suficiente por los Estados miembros dada la naturaleza transfronteriza de la contaminación y por consiguiente pueden lograrse mejor a nivel comunitario; de conformidad con el principio de proporcionalidad la presente Directiva no excede de lo necesario para alcanzar dicha finalidad.
- (14) Es necesaria una revisión oportuna del progreso realizado por los Estados miembros para alcanzar los techos de emisión, así como una revisión de hasta qué punto pueden alcanzarse, con la aplicación de techos, los objetivos medioambientales intermedios en el conjunto de la Comunidad. Dicha revisión debe tener en cuenta, asimismo, el progreso científico y técnico y la evolución de la legislación comunitaria y de las reducciones de las emisiones fuera de la Comunidad, prestando especial atención a los avances registrados, entre otros, por los países candidatos a la adhesión. Al efectuar esa revisión, la Comisión debe examinar en mayor profundidad los costes y los beneficios que llevan aparejados los techos de emisión, incluida su rentabilidad, sus costes y beneficios marginales y sus repercusiones socioeconómicas y toda repercusión en la competitividad. Esa revisión también debe tener en cuenta las limitaciones impuestas al ámbito de aplicación de la presente Directiva.
- (15) La Comisión debe a tal efecto elaborar un informe al Parlamento Europeo y al Consejo y, si lo considera necesario, proponer las modificaciones apropiadas de la presente Directiva teniendo en cuenta los efectos de cualquier norma comunitaria pertinente, por ejemplo, sobre el establecimiento de límites de emisión y normas de producto para las fuentes de emisión de que se trate, y de las normas internacionales sobre las emisiones de los buques y las aeronaves.
- (16) El transporte marítimo contribuye de manera significativa a las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y también a las concentraciones y precipitaciones de contaminantes de la atmósfera en la Comunidad y por tanto es necesario reducir estas emisiones. El apartado 3 del artículo 7 de la Directiva 1999/32/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE <sup>(1)</sup>, establece que la Comisión estudiará qué medidas deben adoptarse para reducir la contribución a la acidificación de los combustibles para uso marítimo distintos de los especificados en el apartado 3 del artículo 2 de la citada Directiva.
- (17) Los Estados miembros deben tratar de ratificar el Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL) lo antes posible.
- (18) Debido a la naturaleza transfronteriza de la contaminación por acidificación y ozono, la Comisión debe continuar examinando la necesidad de desarrollar medidas comunitarias armonizadas, sin perjuicio del artículo 18 de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación <sup>(2)</sup>, con el fin de evitar la distorsión de competencia, y teniendo en cuenta la relación coste-beneficio de la acción.
- (19) Las disposiciones de la presente Directiva deben aplicarse sin perjuicio de la legislación comunitaria relativa a las emisiones de estos contaminantes a partir de fuentes específicas y de las disposiciones de la Directiva 96/61/CE, en relación con los valores límite de emisión y el uso de las mejores técnicas disponibles.
- (20) Para controlar el progreso hacia el cumplimiento de los techos de emisión, son necesarios inventarios; éstos deben calcularse de acuerdo con una metodología convenida internacionalmente y remitirse periódicamente a la Comisión y a la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA).
- (21) Los Estados miembros deben establecer el régimen de sanciones aplicable a las infracciones de las disposiciones de la presente Directiva y garantizar su aplicación. Las sanciones deben ser efectivas, proporcionadas y disuasorias.

<sup>(1)</sup> DO L 121 de 11.5.1999, p. 13.

<sup>(2)</sup> DO L 257 de 10.10.1996, p. 26.

- (22) Las medidas necesarias para la ejecución de la presente Directiva deben aprobarse con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión <sup>(1)</sup>.
- (23) La Comisión y los Estados miembros deben cooperar a escala internacional con vistas a alcanzar los objetivos de la presente Directiva,

- b) «AOT 60», la suma de la diferencia entre las concentraciones horarias de ozono en la baja atmósfera superiores a  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (= 60 partes por mil millones) y  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  acumuladas a lo largo del año;
- c) «carga crítica», una estimación cuantitativa de una exposición a uno o varios contaminantes por debajo de la cual, según los conocimientos actuales, no se producen efectos nocivos importantes sobre elementos sensibles especificados del medio ambiente;
- d) «nivel crítico», la concentración de contaminantes en la atmósfera por encima de la cual, según los conocimientos actuales, pueden producirse efectos nocivos directos sobre receptores tales como los seres humanos, las plantas, los ecosistemas o los materiales;
- e) «emisión», la liberación de una sustancia desde un foco o una fuente difusa a la atmósfera;
- f) «cuadrícula», un cuadrado de 150 km de lado, que es la resolución utilizada para hacer el mapa de las cargas críticas a escala europea, y también para controlar las emisiones y depósitos de contaminantes atmosféricos en virtud del Programa concertado de vigilancia continua y de evaluación de la transmisión a larga distancia de los contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP);
- g) «ciclo de aterrizaje y despegue», un ciclo de la duración siguiente en cada fase de funcionamiento: aproximación, 4,0 minutos; rodaje/marcha lenta, 26,0 minutos; despegue, 0,7 minutos; ascenso, 2,2 minutos;
- h) «límite nacional de emisión», la cantidad máxima de una sustancia expresada en kilotoneladas que puede emitir un Estado miembro en un año civil;
- i) «óxidos de nitrógeno» y «NO<sub>x</sub>», el óxido y el dióxido de nitrógeno, expresados como dióxido de nitrógeno;
- j) «ozono en la baja atmósfera», el ozono en la parte más baja de la troposfera;
- k) «compuestos orgánicos volátiles» y «COV», todos los compuestos orgánicos que sean resultado de actividades humanas, distintos del metano, que puedan producir oxidantes fotoquímicos por reacción con óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar.

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

#### Artículo 1

##### Objetivo

El objetivo de la presente Directiva es limitar las emisiones de contaminantes acidificantes y eutrofizantes y de precursores de ozono para reforzar la protección en la Comunidad del medio ambiente y de la salud humana frente a los riesgos de los efectos nocivos de la acidificación, la eutrofización del suelo y el ozono en la baja atmósfera, y avanzar hacia el objetivo a largo plazo de no superar las cargas y los niveles críticos y de proteger de forma eficaz a toda la población frente a los riesgos conocidos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica mediante la fijación de techos nacionales de emisión, tomando como referencia los años 2010 y 2020, y procediendo a revisiones sucesivas, como se establece en los artículos 4 y 10.

#### Artículo 2

##### Ámbito de aplicación

La presente Directiva se aplicará a las emisiones de todas las fuentes de los contaminantes a que se refiere el artículo 4 que sean resultado de actividades humanas emitidas en el territorio de los Estados miembros y de sus zonas económicas exclusivas.

La presente Directiva no se aplicará a:

- las emisiones del tráfico marítimo internacional;
- las emisiones de las aeronaves fuera del ciclo de aterrizaje y despegue;
- en lo que respecta a España, las emisiones en las Islas Canarias;
- en lo que respecta a Francia, las emisiones en los departamentos de ultramar;
- en lo que respecta a Portugal, las emisiones en Madeira y Azores.

#### Artículo 3

##### Definiciones

A los efectos de la presente Directiva se entenderá por:

- «AOT 40», la suma de la diferencia entre las concentraciones horarias de ozono en la baja atmósfera superiores a  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (=40 partes por mil millones) y  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante las horas de luz natural acumuladas de mayo a julio cada año;

#### Artículo 4

##### Techos nacionales de emisión

- A más tardar en el año 2010, los Estados miembros limitarán sus emisiones nacionales anuales de los contaminantes dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) a cantidades no superiores a los techos de emisión establecidos en el Anexo I, teniendo en cuenta toda modificación introducida mediante medidas comunitarias adoptadas a raíz de los informes previstos en el artículo 9.

<sup>(1)</sup> DO L 184 de 17.7.1999, p. 23.

2. Los Estados miembros garantizarán que los techos anuales de emisión indicados en el Anexo I no se superen a partir de 2010.

#### Artículo 5

##### Objetivos medioambientales intermedios

Los techos nacionales de emisión establecidos en el Anexo I tienen la finalidad de que, para 2010, se cumplan en general los objetivos medioambientales intermedios siguientes para la Comunidad en su conjunto:

##### a) Acidificación

Las superficies en las que se superen las cargas críticas deberán reducirse en al menos un 50 % (en cada cuadrícula) en comparación con la situación en 1990.

##### b) Protección de la salud contra la exposición al ozono en la baja atmósfera

La carga de ozono en la baja atmósfera superior al nivel crítico establecido para la protección de la salud humana (AOT60 = 0) deberá reducirse en dos tercios en todas las cuadrículas en comparación con la situación de 1990. Además, la carga de ozono en la baja atmósfera no deberá superar el límite absoluto de 2,9 ppm.h en ninguna cuadrícula.

##### c) Protección de la vegetación contra la exposición al ozono en la baja atmósfera

La carga de ozono en la baja atmósfera superior al nivel crítico para los cultivos y la vegetación seminatural (AOT40 = 3 ppm.h) deberá reducirse en un tercio en todas las cuadrículas en comparación con la situación de 1990. Además, la carga de ozono en la baja atmósfera no deberá superar el límite absoluto de 10 ppm.h por encima del nivel crítico de 3 ppm.h en ninguna cuadrícula.

#### Artículo 6

##### Programas nacionales

1. A más tardar el 1 de octubre de 2002, los Estados miembros elaborarán programas de reducción progresiva de las emisiones nacionales de los contaminantes mencionados en el artículo 4 con objeto de que, a más tardar en 2010, se cumplan, como mínimo, los techos nacionales de emisión establecidos en el Anexo I.

2. Los programas nacionales incluirán información sobre las políticas y medidas adoptadas o previstas, así como estimaciones cuantificadas del efecto de esas políticas y medidas sobre las emisiones de contaminantes en 2010. Asimismo, indicarán los cambios significativos previstos en la distribución geográfica de las emisiones nacionales.

3. Los Estados miembros actualizarán y revisarán los programas nacionales, en la medida que resulte necesario, a más tardar el 1 de octubre de 2006.

4. Los Estados miembros pondrán a disposición del público y de las organizaciones interesadas, tales como las organizaciones ecologistas, los programas elaborados de acuerdo con los apartados 1, 2 y 3. La información que se ponga a disposición del público y de las organizaciones con arreglo a este apartado será clara, comprensible y fácilmente accesible.

#### Artículo 7

##### Inventarios y previsiones de emisiones

1. Los Estados miembros prepararán y actualizarán anualmente inventarios nacionales de emisiones y las previsiones correspondientes para 2010 en relación con los contaminantes enumerados en el artículo 4.

2. Los Estados miembros elaborarán sus inventarios y previsiones de emisiones con arreglo a las metodologías especificadas en el Anexo III.

3. La Comisión establecerá, con la ayuda de la AEMA, en cooperación con los Estados miembros y atendiendo a la información facilitada por los mismos, inventarios y previsiones de los contaminantes mencionados en el artículo 4. Los inventarios y las previsiones se pondrán a disposición del público.

4. Toda actualización de las metodologías que se deban utilizar de conformidad con el Anexo III se realizará de conformidad con el procedimiento establecido en el apartado 2 del artículo 13.

#### Artículo 8

##### Informes de los Estados miembros

1. A más tardar el 31 de diciembre de cada año, los Estados miembros transmitirán a la Comisión y a la AEMA sus inventarios nacionales de emisiones y sus previsiones de emisiones para 2010 elaborados de acuerdo con el artículo 7. Los Estados miembros transmitirán sus inventarios de emisiones definitivos correspondientes al penúltimo año respecto del año en curso, así como los inventarios de emisiones provisionales correspondientes al año anterior al año en curso. Las previsiones de emisiones incluirán información para la comprensión cuantitativa de los principales supuestos socioeconómicos utilizados en su elaboración.

2. A más tardar el 31 de diciembre de 2002, los Estados miembros informarán a la Comisión de los programas elaborados con arreglo a los apartados 1 y 2 del artículo 6.

A más tardar el 31 de diciembre de 2006, los Estados miembros informarán a la Comisión de los programas actualizados elaborados de conformidad con el apartado 3 del artículo 6.

3. La Comisión remitirá los programas nacionales a los demás Estados miembros en el plazo de un mes desde su recepción.

4. La Comisión establecerá las disposiciones necesarias para garantizar la coherencia y la transparencia en la información sobre los programas nacionales con arreglo al procedimiento establecido en el apartado 2 del artículo 13.

#### Artículo 9

##### Informes de la Comisión

1. En 2004 y 2008, la Comisión informará al Parlamento Europeo y al Consejo sobre el grado de cumplimiento de los techos nacionales de emisión establecidos en el Anexo I, sobre la probabilidad de que los objetivos medioambientales intermedios establecidos en el artículo 5 vayan a alcanzarse para 2010 y sobre el grado de probabilidad de cumplimiento para 2020 de los objetivos a largo plazo establecidos en el artículo 1. Estos informes contendrán una evaluación económica de, entre otros aspectos, los beneficios y la relación coste-eficacia, los costes y beneficios marginales y las repercusiones socioeconómicas de la aplicación de los techos nacionales de emisión en Estados miembros y sectores concretos. Incluirán asimismo un reexamen de las limitaciones del ámbito de aplicación de la presente Directiva, definido en el artículo 2, y evaluarán hasta qué punto podría resultar necesario introducir más reducciones de las emisiones para cumplir los objetivos medioambientales intermedios fijados en el artículo 5. Tendrán en cuenta los informes presentados por los Estados miembros con arreglo a los apartados 1 y 2 del artículo 8, así como, entre otros, los siguientes elementos:

- a) toda nueva legislación comunitaria que se pueda haber adoptado por la que se impongan límites de emisiones y normas de producto para las fuentes de emisión de que se trate;
- b) la evolución de las mejores técnicas disponibles en el marco del intercambio de información previsto en el artículo 16 de la Directiva 96/61/CE;
- c) los objetivos de reducción de emisiones para 2008 de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno de las grandes instalaciones de combustión existentes, comunicados por los Estados miembros de conformidad con la Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión <sup>(1)</sup>;
- d) las reducciones de emisiones y los compromisos contraídos al respecto por terceros países, haciendo especial hincapié en las medidas que deben tomar los países candidatos y la posibilidad de nuevas reducciones de emisiones en regiones vecinas de la Comunidad;
- e) toda nueva legislación comunitaria y los reglamentos internacionales sobre las emisiones de los buques y las aeronaves;
- f) el desarrollo de los transportes y toda nueva medida para controlar las emisiones procedentes de los transportes;

- g) la evolución de la agricultura, las nuevas previsiones relativas a la cabaña pecuaria y las mejoras de los métodos de reducción de emisiones en el sector agrícola;
- h) todo cambio importante en el mercado de suministro energético de los Estados miembros y las nuevas previsiones derivadas de las medidas tomadas por los Estados miembros para cumplir con sus compromisos internacionales en relación con el cambio climático;
- i) la evaluación de la superación actual y prevista de las cargas críticas y los valores guía de la OMS en lo que respecta al ozono en la baja atmósfera;
- j) la posibilidad de determinar un objetivo intermedio propuesto para reducir la eutrofización del suelo;
- k) los nuevos datos científicos y técnicos, incluida una evaluación de las imprecisiones de:
  - i) los inventarios nacionales de emisiones;
  - ii) los datos de entrada de referencia;
  - iii) el conocimiento del transporte y el depósito transfronterizos de agentes contaminantes;
  - iv) las cargas y los niveles críticos;
  - v) el modelo aplicado;

y una evaluación de las imprecisiones resultantes en el cálculo de los techos nacionales de emisión necesarios para cumplir los objetivos medioambientales intermedios mencionados en el artículo 5;

- l) si es necesario evitar costes excesivos para cualquier Estado miembro concreto;
- m) una comparación de los cálculos del modelo con los datos disponibles sobre la acidificación, la eutrofización y el ozono en la baja atmósfera con el objetivo de mejorar los modelos;
- n) la posible utilización, cuando proceda, de los instrumentos económicos pertinentes.

2. En 2012, la Comisión presentará un informe al Parlamento Europeo y al Consejo sobre el cumplimiento de los techos que figuran en el Anexo I, sobre el grado de cumplimiento de los objetivos medioambientales intermedios que figuran en el artículo 5 y sobre los objetivos a largo plazo establecidos en el artículo 1. Este informe tendrá en cuenta los presentados por los Estados miembros con arreglo a los apartados 1 y 2 del artículo 8, así como los extremos enumerados en las letras a) a n) del apartado 1 del presente artículo.

#### Artículo 10

##### Revisión

1. Los informes mencionados en el artículo 9 tendrán en cuenta los factores enumerados en el apartado 1 de dicho artículo. A la vista de dichos factores, de los avances en el logro de los techos de emisiones para el año 2010 y del progreso científico y técnico, así como de la situación en materia de avances en el cumplimiento de los objetivos intermedios de

<sup>(1)</sup> Véase la página 1 del presente Diario Oficial.



esta Directiva y de los objetivos a largo plazo de no superar las cargas y los niveles críticos y las directrices sobre calidad del aire de la OMS en relación con el ozono, la Comisión llevará a cabo una revisión de la presente Directiva al preparar cada informe.

2. En la revisión que se realizará en 2004 se llevará a cabo una evaluación de los techos de emisión indicativos para toda la Comunidad establecidos en el Anexo II. La evaluación de estos techos indicativos será un factor que se habrá de tener en cuenta al analizar posteriores acciones económicamente eficaces que se podrían adoptar con objeto de reducir las emisiones de todos los contaminantes de que se trate y a fin de alcanzar los objetivos medioambientales intermedios establecidos en el artículo 5 para toda la Comunidad para 2010.

3. Todas las revisiones incluirán nuevas investigaciones de la estimación de costes y beneficios de los techos nacionales de emisión, computadas conforme a los modelos más actuales y haciendo uso de los mejores datos disponibles para alcanzar la menor imprecisión posible y teniendo también en cuenta los progresos en la ampliación de la Unión Europea, y de los méritos de metodologías alternativas, a la luz de los factores enumerados en el artículo 9.

4. Sin perjuicio del artículo 18 de la Directiva 96/61/CE, a fin de evitar el falseamiento de la competencia y teniendo en cuenta el equilibrio entre los beneficios y los costes de la actuación, la Comisión estudiará además si es necesario adoptar medidas comunitarias armonizadas para los sectores económicos y productos que más contribuyen a la acidificación, la eutrofización y la formación de ozono en la baja atmósfera.

5. Los informes mencionados en el artículo 9 irán acompañados, en su caso, de propuestas de:

- a) modificación de los techos nacionales establecidos en el Anexo I, con objeto de cumplir los objetivos medioambientales intermedios del artículo 5, y/o de modificaciones de dichos objetivos medioambientales intermedios,
- b) posibles reducciones adicionales de las emisiones con objeto de cumplir los objetivos a largo plazo de esta Directiva preferiblemente para 2020,
- c) medidas para asegurar el cumplimiento de los techos.

#### Artículo 11

##### Cooperación con terceros países

Para fomentar el logro del objetivo establecido en su artículo 1, la Comisión y los Estados miembros cooperarán, según convenga y sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 300 del Tratado, de forma bilateral y multilateral con terceros países y con las organizaciones internacionales pertinentes, como por ejemplo la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU), la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización de Aviación Civil Internacional

(OACI), en ámbitos tales como el intercambio de información o la investigación y el desarrollo científico y técnico, con el fin de sentar mejores bases para facilitar la reducción de las emisiones.

#### Artículo 12

##### Informes relativos a las emisiones de buques y aeronaves

1. Para finales de 2002, la Comisión informará al Parlamento Europeo y al Consejo sobre el grado en que las emisiones del tránsito marítimo internacional contribuyen a la acidificación, eutrofización y formación de ozono en la baja atmósfera en la Comunidad.

2. Para finales de 2004, la Comisión informará al Parlamento Europeo y al Consejo sobre el grado en que las emisiones procedentes de aviones fuera del ciclo de aterrizaje y despegue contribuyen a la acidificación, eutrofización y formación de ozono en la baja atmósfera en la Comunidad.

3. Cada informe especificará un programa de acciones que se puedan adoptar en el ámbito internacional y de la CE como medios adecuados para reducir las emisiones del sector de que se trate, como base para un examen posterior por el Parlamento Europeo y el Consejo.

#### Artículo 13

##### Comité

1. La Comisión estará asistida por el Comité creado en virtud del artículo 12 de la Directiva 96/62/CE, denominado en lo sucesivo «Comité».

2. En los casos en que se haga referencia al presente apartado, serán de aplicación los artículos 4 y 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8.

El plazo contemplado en el apartado 3 del artículo 4 de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses.

3. El Comité aprobará su reglamento interno.

#### Artículo 14

##### Sanciones

Los Estados miembros determinarán el régimen de sanciones aplicable a las infracciones de las disposiciones nacionales adoptadas en aplicación de la presente Directiva. Las sanciones deberán ser efectivas, proporcionadas y disuasorias.

#### Artículo 15

##### Transposición

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo dispuesto en la presente Directiva antes del 27 de noviembre de 2002. Informarán inmediatamente de ello a la Comisión.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, éstas harán referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las principales disposiciones de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

*Artículo 16*

**Entrada en vigor**

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

*Artículo 17*

**Destinatarios**

Los destinatarios de la presente Directiva son los Estados miembros.

Hecho en Luxemburgo, el 23 de octubre de 2001.

*Por el Parlamento Europeo*

*La Presidenta*

N. FONTAINE

*Por el Consejo*

*El Presidente*

A. NEYTS-UYTTEBROECK

## ANEXO I

Techos nacionales de emisión de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV y NH<sub>3</sub> previstos <sup>(1)</sup>

Pais	SO <sub>2</sub> (Kilotoneladas)	NO <sub>x</sub> (Kilotoneladas)	COV (Kilotoneladas)	NH <sub>3</sub> (Kilotoneladas)
Austria	39	103	159	66
Bélgica	99	176	139	74
Dinamarca	55	127	85	69
Finlandia	110	170	130	31
Francia	375	810	1 050	780
Alemania	520	1 051	995	550
Grecia	523	344	261	73
Irlanda	42	65	55	116
Italia	475	990	1 159	419
Luxemburgo	4	11	9	7
Países Bajos	50	260	185	128
Portugal	160	250	180	90
España	746	847	662	353
Suecia	67	148	241	57
Reino Unido	585	1 167	1 200	297
<b>CE-15</b>	<b>3 850</b>	<b>6 519</b>	<b>6 510</b>	<b>3 110</b>

<sup>(1)</sup> El objetivo de estos techos nacionales de emisión es cumplir en términos generales los objetivos medioambientales intermedios establecidos en el artículo 5. Con el cumplimiento de estos objetivos se espera reducir la eutrofización del suelo hasta alcanzar un nivel en que la superficie comunitaria en la que se precipite nitrógeno nutriente en cantidades superiores a las cargas críticas se reduzca en cerca de un 30 % en comparación con la situación de 1990.

## ANEXO II

**Techos de emisión para SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y VOC**

	SO <sub>2</sub> (Kilotoneladas)	NO <sub>x</sub> (Kilotoneladas)	VOC (Kilotoneladas)
EG 15	3 634	5 923	5 581

Estos techos de emisión se establecen con objeto de alcanzar los objetivos medioambientales intermedios establecidos en el artículo 5 para toda la Comunidad para 2010.

## ANEXO III

**Metodologías para la elaboración de inventarios y previsiones de emisiones**

Los Estados miembros elaborarán sus inventarios y previsiones de emisiones con arreglo a las metodologías acordadas en el Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia. Deberán seguir para ello las directrices de la guía común EMEP/CORINAIR (\*).

---

(\*) Inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea del Medio Ambiente.

## I

(Actos adoptados en aplicación de los Tratados CE/Euratom cuya publicación es obligatoria)

## DIRECTIVAS

## DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 21 de mayo de 2008

relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, su artículo 175,

Vista la propuesta de la Comisión,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social Europeo <sup>(1)</sup>,

Visto el dictamen del Comité de las Regiones <sup>(2)</sup>,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 251 del Tratado <sup>(3)</sup>,

Considerando lo siguiente:

(1) El sexto programa de acción comunitario en materia de medio ambiente aprobado mediante la Decisión n° 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de julio de 2002 <sup>(4)</sup>, establece la necesidad de reducir los niveles de contaminación que limiten al mínimo los efectos perjudiciales para la salud humana, prestando especial atención a las poblaciones más vulnerables y al medio ambiente en su conjunto, de mejorar el control y la evaluación de la calidad del aire ambiente, incluido el depósito de contaminantes, y de proporcionar información a los ciudadanos.

<sup>(1)</sup> DO C 195 de 18.8.2006, p. 84.

<sup>(2)</sup> DO C 206 de 29.8.2006, p. 1.

<sup>(3)</sup> Dictamen del Parlamento Europeo de 26 de septiembre de 2006 (DO C 306 E de 15.12.2006, p. 102), Posición Común del Consejo de 25 de junio de 2007 (DO C 236 E de 6.11.2007, p. 1) y Posición del Parlamento Europeo de 11 de diciembre de 2007. Decisión del Consejo de 14 de abril de 2008.

<sup>(4)</sup> DO L 242 de 10.9.2002, p. 1.

(2) Con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente en general, es particularmente importante combatir las emisiones de contaminantes en la fuente y determinar y aplicar medidas de reducción de emisiones más eficaces a nivel local, nacional y comunitario. En este sentido es preciso evitar, prevenir o reducir las emisiones de contaminantes de la atmósfera nocivos, y fijar los objetivos oportunos aplicables al aire ambiente, teniendo en cuenta las normas, las directrices y los programas correspondientes de la Organización Mundial de la Salud.

(3) La Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente <sup>(5)</sup>, la Directiva 1999/30/CE del Consejo, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente <sup>(6)</sup>, la Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente <sup>(7)</sup>, la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente <sup>(8)</sup> y la Decisión 97/101/CE del Consejo, de 27 de enero de 1997, por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados miembros <sup>(9)</sup> han de ser objeto de una profunda revisión para incorporar los últimos avances sanitarios y científicos y la experiencia de los Estados miembros. Por motivos de claridad, simplificación y eficacia administrativa, procede sustituir esos cinco actos por una única Directiva y si fuera conveniente, por medidas de ejecución.

<sup>(5)</sup> DO L 296 de 21.11.1996, p. 55. Directiva modificada por el Reglamento (CE) n° 1882/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 284 de 31.10.2003, p. 1).

<sup>(6)</sup> DO L 163 de 29.6.1999, p. 41. Directiva modificada por la Decisión 2001/744/CE de la Comisión (DO L 278 de 23.10.2001, p. 35).

<sup>(7)</sup> DO L 313 de 13.12.2000, p. 12.

<sup>(8)</sup> DO L 67 de 9.3.2002, p. 14.

<sup>(9)</sup> DO L 35 de 5.2.1997, p. 14. Decisión modificada por la Decisión 2001/752/CE de la Comisión (DO L 282 de 26.10.2001, p. 69).

- (4) La Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente <sup>(1)</sup> podrá consolidarse con la presente Directiva una vez se haya adquirido la experiencia suficiente en cuanto a su aplicación.
- (5) La evaluación de la calidad del aire ambiente debe efectuarse con un enfoque común basado en criterios de evaluación comunes. Esa evaluación debe tener en cuenta el tamaño de las poblaciones y los ecosistemas expuestos a la contaminación atmosférica. Procede por lo tanto clasificar el territorio de los Estados miembros por zonas o aglomeraciones que reflejen la densidad de población.
- (6) Cuando sea posible, deben aplicarse técnicas de modelización que permitan interpretar los datos puntuales en función de la distribución geográfica de la concentración, lo que podría servir de base para calcular el grado de exposición colectiva de la población residente en la zona.
- (7) Para asegurar que la información recabada sobre la contaminación atmosférica es suficientemente representativa y comparable en todo el territorio de la Comunidad, es importante utilizar, para la evaluación de la calidad del aire ambiente, técnicas de medición normalizadas y criterios comunes en cuanto al número y la ubicación de las estaciones de medición. Pueden asimismo emplearse, para la evaluación de la calidad del aire ambiente, técnicas distintas de las mediciones, razón por la que es preciso definir los criterios para el uso de esas técnicas y determinar el grado de exactitud que se exige de las mismas.
- (8) Es preciso realizar mediciones detalladas de las partículas finas en ubicaciones de fondo rurales con el fin de comprender mejor las repercusiones de este contaminante y de desarrollar las políticas apropiadas. Esas mediciones deben ser coherentes con las del programa de cooperación para la vigilancia continua y la evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP) establecido en conformidad con el Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia aprobado por la Decisión 81/462/CEE del Consejo de 11 de junio de 1981 <sup>(2)</sup>.
- (9) La calidad del aire debe mantenerse cuando ya sea buena, o mejorarse. Cuando los objetivos para la calidad del aire ambiente establecidos en la presente Directiva no se cumplan, los Estados miembros deben adoptar medidas para respetar los valores límite y los niveles críticos y, si fuera posible, para lograr los valores objetivo y los objetivos a largo plazo.
- (10) Los riesgos que supone la contaminación atmosférica para la vegetación y los ecosistemas naturales son muy importantes en lugares alejados de las zonas urbanas. Por consiguiente, la evaluación de esos riesgos y el cumplimiento de los niveles críticos para la protección de la vegetación deben centrarse en los lugares alejados de las zonas edificadas.
- (11) Las partículas finas (PM<sub>2,5</sub>) tienen importantes repercusiones negativas para la salud humana. Además, aún no se ha fijado un umbral por debajo del cual las PM<sub>2,5</sub> resulten inofensivas. De tal manera, este contaminante no debe regularse del mismo modo que otros contaminantes atmosféricos. Debe tenderse a una reducción general de las concentraciones en el medio urbano para garantizar que amplios sectores de la población puedan disfrutar de una mejor calidad del aire. No obstante, con el fin de asegurar un grado mínimo de protección de la salud en todas las zonas, este enfoque debe combinarse con un valor límite, que en una primera etapa debe ir precedido de un valor objetivo.
- (12) Los valores objetivo y los objetivos a largo plazo existentes, destinados a garantizar una protección efectiva contra los efectos nocivos para la salud humana, la vegetación y los ecosistemas de la exposición al ozono, deben mantenerse inalterados. Es preciso fijar un umbral de alerta y un umbral de información para el ozono que permitan proteger, respectivamente, a la población en general y a los sectores más vulnerables de la misma de la exposición de breve duración a elevadas concentraciones de ozono. Estos umbrales deben desencadenar la divulgación de información a los ciudadanos acerca de los riesgos derivados de la exposición y la aplicación, si fuera conveniente, de medidas a corto plazo para reducir los niveles de ozono cuando se supere el umbral de alerta.
- (13) El ozono es un contaminante transfronterizo que se forma en la atmósfera a partir de la emisión de contaminantes primarios, regulados por la Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos <sup>(3)</sup>. El progreso en la consecución de los objetivos de calidad del aire y de los objetivos a largo plazo relativos al ozono dispuestos en la presente Directiva debe guiarse por los objetivos actuales o revisados y los techos de emisiones establecidos en la Directiva 2001/81/CE y, si fuera adecuado, por la aplicación de los planes para la calidad del aire ambiente previstos en la presente Directiva.
- (14) Las mediciones fijas deben ser obligatorias en las zonas y aglomeraciones donde se rebasen los objetivos a largo plazo para el ozono o los umbrales de evaluación para otros contaminantes. La información de las mediciones fijas podrá ir acompañada de técnicas de modelización y/o de mediciones indicativas que permitan interpretar los datos puntuales en función de la distribución geográfica de las concentraciones. También debe autorizarse el uso de técnicas de evaluación suplementarias con la finalidad de reducir el número mínimo requerido de puntos de muestreo fijos.
- (15) Las contribuciones de fuentes naturales pueden evaluarse pero no controlarse. Por consiguiente, cuando las contribuciones naturales a los contaminantes del aire ambiente puedan determinarse con la certeza suficiente, y cuando las superaciones sean debidas en todo o en parte a esas contribuciones naturales se podrán sustraer, en las condiciones establecidas en la presente Directiva, al evaluar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire. Las superaciones de los valores límite de las partículas PM<sub>10</sub> debido al vertido invernal de arena o de sal en las carreteras también podrá sustraerse al evaluar el cumplimiento de los valores límite de calidad de aire, siempre que se adopten las medidas adecuadas para reducir esas concentraciones.

<sup>(1)</sup> DO L 23 de 26.1.2005, p. 3.

<sup>(2)</sup> DO L 171 de 27.6.1981, p. 11.

<sup>(3)</sup> DO L 309 de 27.11.2001, p. 22. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2006/105/CE del Consejo (DO L 363 de 20.12.2006, p. 368).

- (16) En el caso de las zonas y aglomeraciones que presentan condiciones particularmente difíciles, el plazo necesario para el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire podrá prorrogarse cuando, a pesar de la aplicación de las medidas adecuadas de reducción de la contaminación, persistan graves problemas de cumplimiento de las normas en zonas y aglomeraciones específicas. Toda prórroga concedida a una zona o aglomeración determinada debe ir acompañada de un plan detallado, que será evaluado por la Comisión, dirigido a lograr el cumplimiento de los valores establecidos en el nuevo plazo fijado. La disponibilidad de las medidas comunitarias necesarias que reflejen el nivel de ambición elegido en la estrategia temática sobre la contaminación atmosférica de reducción de las emisiones en la fuente será importante para lograr una reducción efectiva de las emisiones en el plazo establecido en la presente Directiva para respetar los valores límite, y debe tenerse presente a la hora de evaluar las solicitudes de prórroga de los plazos de cumplimiento.
- (17) Las medidas comunitarias necesarias para reducir las emisiones en la fuente, en particular las medidas destinadas a mejorar la eficacia de la legislación comunitaria en materia de emisiones industriales, a limitar las emisiones de escape de los motores instalados en vehículos pesados, a reducir en mayor medida las emisiones de los Estados miembros, autorizadas a escala nacional, de contaminantes clave y las emisiones asociadas al reaprovisionamiento de los automóviles de gasolina en las estaciones de servicio, así como a abordar el contenido de azufre de los combustibles, incluidos los combustibles para uso marítimo, deben ser examinadas debidamente de forma prioritaria por todas las instituciones afectadas.
- (18) Deben elaborarse planes de calidad del aire para las zonas y aglomeraciones donde las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente rebasen los valores objetivo o los valores límite de calidad del aire correspondientes, más los márgenes de tolerancia temporales, cuando sean aplicables. Los contaminantes atmosféricos proceden de múltiples fuentes y actividades. Para asegurar la coherencia entre las distintas políticas, esos planes deben, cuando sean viables, ser coherentes e integrarse en los planes y programas elaborados en virtud de la Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión<sup>(1)</sup>, de la Directiva 2001/81/CE y de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental<sup>(2)</sup>. También deben tenerse plenamente en cuenta los objetivos de calidad del aire ambiente contemplados en la presente Directiva cuando se concedan permisos para actividades industriales en virtud de la Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación<sup>(3)</sup>.
- (19) Deben elaborarse planes de acción que indiquen las medidas que han de adoptarse a corto plazo cuando exista el riesgo de superaciones de uno o varios umbrales de alerta, con el fin de reducir ese riesgo y limitar su duración.
- Cuando el riesgo se refiere a uno o varios valores límites o valores objetivo, los Estados miembros podrán, en su caso, elaborar planes de acción a corto plazo. Por lo que respecta al ozono, esos planes de acción a corto plazo deben tener en cuenta lo dispuesto en la Decisión 2004/279/CE de la Comisión, de 19 de marzo de 2004, relativa a las directrices de aplicación de la Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al ozono en el aire ambiente<sup>(4)</sup>.
- (20) Los Estados miembros deben consultarse mutuamente cuando, a consecuencia de una contaminación significativa procedente de otro Estado miembro, el nivel de contaminante supere o amenace con superar los objetivos de calidad del aire, más el margen de tolerancia, cuando este sea aplicable, o, cuando así proceda, el umbral de alerta. La naturaleza transfronteriza de determinados contaminantes, como el ozono y las partículas, puede requerir la coordinación entre Estados miembros vecinos para la elaboración y ejecución de planes de calidad del aire y de planes de acción a corto plazo y para la información al público. Cuando proceda, los Estados miembros deben cooperar con terceros países y, sobre todo, facilitar la implicación temprana de los países candidatos a la adhesión.
- (21) Es necesario que los Estados miembros y la Comisión recaben, intercambien y divulguen información sobre la calidad del aire para comprender mejor las repercusiones de la contaminación atmosférica y elaborar las políticas apropiadas. Es preciso asimismo mantener a disposición del público información actualizada acerca de las concentraciones en el aire ambiente de todos los contaminantes regulados.
- (22) Con el fin de facilitar el tratamiento y la comparación de la información sobre calidad del aire, los datos deben facilitarse a la Comisión en formato estándar.
- (23) Es preciso adaptar los procedimientos de suministro de datos, evaluación y comunicación de información sobre calidad del aire para hacer que los medios electrónicos e Internet se utilicen como instrumentos principales de información y ello de forma que dichos procedimientos sean compatibles con la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (Inspire)<sup>(5)</sup>.
- (24) Procede contemplar la posibilidad de adaptar los criterios y las técnicas empleados para la evaluación de la calidad del aire ambiente en función de los avances técnicos y científicos y de adaptar además la información que se ha de facilitar.
- (25) Dado que los objetivos de la presente Directiva no pueden ser alcanzados de manera suficiente por los Estados miembros y, por consiguiente, debido a la naturaleza transfronteriza de los contaminantes atmosféricos, pueden lograrse mejor a nivel comunitario, la Comunidad puede adoptar medidas, de acuerdo con el principio de subsidiariedad consagrado en el artículo 5 del Tratado. De conformidad con el principio de proporcionalidad enunciado en dicho artículo, la presente Directiva no excede de lo necesario para alcanzar dichos objetivos.

(1) DO L 309 de 27.11.2001, p. 1. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2006/105/CE del Consejo.

(2) DO L 189 de 18.7.2002, p. 12.

(3) DO L 24 de 29.1.2008, p. 8.

(4) DO L 87 de 25.3.2004, p. 50.

(5) DO L 108 de 25.4.2007, p. 1.

- (26) Los Estados miembros deben fijar el régimen de sanciones aplicables en caso de infracción de lo dispuesto en la presente Directiva y asegurarse de su ejecución. Las sanciones deben ser eficaces, proporcionadas y disuasorias.
- (27) Algunas disposiciones de los actos derogados por la presente Directiva deben permanecer en vigor para garantizar el mantenimiento de los valores límite de dióxido de nitrógeno en la atmósfera hasta su sustitución el 1 de enero de 2010, el mantenimiento de sistemas de información de datos sobre calidad del aire hasta que se adopten las nuevas medidas de aplicación, y el mantenimiento de las obligaciones sobre evaluación preliminar de la calidad del aire exigidas por la Directiva 2004/107/CE.
- (28) La obligación de incorporar la presente Directiva al Derecho interno debe limitarse a aquellas disposiciones que suponen un cambio sustancial con respecto a las Directivas anteriores.
- (29) De conformidad con el punto 34 del Acuerdo interinstitucional «Legislar mejor» <sup>(1)</sup>, se alienta a los Estados miembros a establecer, en su propio interés y en el de la Comunidad, sus propios cuadros, que muestren, en la medida de lo posible, la concordancia entre la presente Directiva y las medidas de transposición, y a hacerlos públicos.
- (30) La presente Directiva respeta los derechos fundamentales y observa los principios reconocidos, en particular, por la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea. En particular, la presente Directiva trata de fomentar la integración en las políticas de la Unión de un alto nivel de protección del medio ambiente y la mejora de su calidad con arreglo al principio de desarrollo sostenible, según dispone el artículo 37 de la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea.
- (31) Las disposiciones necesarias para la ejecución de la presente Directiva deben aprobarse con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión <sup>(2)</sup>.
- (32) Conviene conferir competencias a la Comisión para que modifique los anexos I a VI, VIII a X y XV. Dado que estas medidas son de alcance general y están destinadas a modificar elementos no esenciales de la presente Directiva, deben adoptarse con arreglo al procedimiento de reglamentación con control previsto en el artículo 5 bis de la Decisión 1999/468/CE.
- (33) La cláusula de incorporación requiere que los Estados miembros garanticen la realización con tiempo de las mediciones de concentración necesarias en zona urbana para calcular el indicador medio de exposición, con vistas a garantizar que se respetan las exigencias relativas a la evaluación del objetivo nacional de reducción de la exposición y el cálculo del indicador medio de exposición.

<sup>(1)</sup> DO C 321 de 31.12.2003, p. 1.

<sup>(2)</sup> DO L 184 de 17.7.1999, p. 23. Decisión modificada por la Decisión 2000/512/CE (DO L 200 de 22.7.2006, p. 11).

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

#### CAPÍTULO I

#### DISPOSICIONES GENERALES

##### Artículo 1

##### Objeto

La presente Directiva establece medidas destinadas a:

- 1) definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto;
- 2) evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros basándose en métodos y criterios comunes;
- 3) obtener información sobre la calidad del aire ambiente con el fin de ayudar a combatir la contaminación atmosférica y otros perjuicios y controlar la evolución a largo plazo y las mejoras resultantes de las medidas nacionales y comunitarias;
- 4) asegurar que esa información sobre calidad del aire ambiente se halla a disposición de los ciudadanos;
- 5) mantener la calidad del aire, cuando sea buena, y mejorarla en los demás casos;
- 6) fomentar el incremento de la cooperación entre los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica.

##### Artículo 2

##### Definiciones

A efectos de la presente Directiva se entenderá por:

- 1) «aire ambiente»: el aire exterior de la troposfera, con exclusión de los lugares de trabajo definidos en la Directiva 89/654/CEE <sup>(3)</sup>, cuando se apliquen las disposiciones sobre salud y seguridad en el trabajo, a los que el público no tiene acceso habitualmente;
- 2) «contaminante»: toda sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto;
- 3) «nivel»: concentración de un contaminante en el aire ambiente o su depósito en superficies en un momento determinado;

<sup>(3)</sup> Directiva 89/654/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo (DO L 393 de 30.12.1989, p. 1). Directiva modificada por la Directiva 2007/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 165 de 27.6.2007, p. 21).



- 4) «evaluación»: cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar los niveles;
- 5) «valor límite»: nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado;
- 6) «nivel crítico»: nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos por encima del cual pueden producirse efectos nocivos para algunos receptores como las plantas, los árboles o los ecosistemas naturales, pero no para el hombre;
- 7) «margen de tolerancia»: porcentaje del valor límite en que puede superarse ese valor en las condiciones establecidas por la presente Directiva;
- 8) «planes de calidad del aire»: planes que contienen medidas para alcanzar los valores límite o los valores objetivo;
- 9) «valor objetivo»: valor fijado con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse, en la medida de lo posible, en un período determinado;
- 10) «umbral de alerta»: nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población y que requiere la adopción de medidas inmediatas por parte de los Estados miembros;
- 11) «umbral de información»: nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud de los sectores especialmente vulnerables de la población y que requiere el suministro de información inmediata y apropiada;
- 12) «umbral superior de evaluación»: nivel por debajo del cual puede utilizarse una combinación de mediciones fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas para evaluar la calidad del aire ambiente;
- 13) «umbral inferior de evaluación»: nivel por debajo del cual bastan las técnicas de modelización o de estimación objetiva para evaluar la calidad del aire ambiente;
- 14) «objetivo a largo plazo»: nivel que debe alcanzarse a largo plazo, excepto cuando no pueda conseguirse mediante medidas proporcionadas, con el objetivo de proteger eficazmente la salud humana y el medio ambiente;
- 15) «aportaciones procedentes de fuentes naturales»: emisiones de agentes contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, o incendios de zonas silvestres, fuertes vientos, aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas;
- 16) «zona»: parte del territorio de un Estado miembro delimitada por este a efectos de evaluación y gestión de la calidad del aire;
- 17) «aglomeración»: conurbación de población superior a 250 000 habitantes o, cuando tenga una población igual o inferior a 250 000 habitantes, con una densidad de población por km<sup>2</sup> que habrán de determinar los Estados miembros;
- 18) «PM<sub>10</sub>»: partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM<sub>10</sub> de la norma EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50 %;
- 19) «PM<sub>2,5</sub>»: partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM<sub>2,5</sub> de la norma EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2,5 µm con una eficiencia de corte del 50 %;
- 20) «indicador medio de exposición»: nivel medio, determinado a partir de las mediciones efectuadas en ubicaciones de fondo urbano de todo el territorio de un Estado miembro, que refleja la exposición de la población; se emplea para calcular el objetivo nacional de reducción de la exposición y la obligación en materia de concentración de la exposición;
- 21) «obligación en materia de concentración de la exposición»: nivel fijado sobre la base del indicador medio de exposición, con el fin de reducir los efectos nocivos para la salud humana, que debe alcanzarse en un período determinado;
- 22) «objetivo nacional de reducción de la exposición»: porcentaje de reducción del indicador medio de exposición de la población de un Estado miembro establecido para el año de referencia con el fin de reducir los efectos nocivos para la salud humana, que debe alcanzarse, en la medida de lo posible, en un período determinado;
- 23) «ubicaciones de fondo urbano»: lugares situados en zonas urbanas cuyos niveles sean representativos de la exposición de la población urbana en general;
- 24) «óxidos de nitrógeno»: suma en partes por mil millones en volumen de monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) y dióxido de nitrógeno, expresada en unidades de concentración másica de dióxido de nitrógeno (µg/m<sup>3</sup>);
- 25) «mediciones fijas»: mediciones efectuadas en emplazamientos fijos, bien de forma continua, bien mediante un muestreo aleatorio, con el propósito de determinar los niveles de conformidad con los objetivos de calidad de los datos;
- 26) «mediciones indicativas»: mediciones que cumplen objetivos de calidad de los datos menos estrictos que los exigidos para las mediciones fijas;

- 27) «compuestos orgánicos volátiles» (COV): compuestos orgánicos de fuentes antropogénicas y biogénicas, con excepción del metano, capaces de producir oxidantes fotoquímicos por reacción con los óxidos de nitrógeno bajo el efecto de la luz solar;
- 28) «sustancias precursoras del ozono»: sustancias que contribuyen a la formación de ozono en la baja atmósfera, algunas de las cuales se enumeran en el anexo X.

### Artículo 3

#### Responsabilidades

Los Estados miembros designarán, a los niveles apropiados, las autoridades y los organismos competentes responsables de las tareas siguientes:

- evaluación de la calidad del aire ambiente;
- aprobación de los sistemas de medición (métodos, equipo, redes y laboratorios);
- garantía de la exactitud de las mediciones;
- análisis de los métodos de evaluación;
- actividades de coordinación en su territorio cuando la Comisión organice programas comunitarios de garantía de la calidad;
- cooperación con los demás Estados miembros y la Comisión.

Cuando proceda, las autoridades y los organismos competentes deberán ajustarse a lo dispuesto en la sección C del anexo I.

### Artículo 4

#### Designación de zonas y aglomeraciones

Los Estados miembros designarán zonas y aglomeraciones en todo su territorio. En todas esas zonas y aglomeraciones deberán llevarse a cabo actividades de evaluación y gestión de la calidad del aire.

## CAPÍTULO II

### EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

#### SECCIÓN I

#### *Evaluación de la calidad del aire ambiente con relación al dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas, el plomo, el benceno y el monóxido de carbono*

### Artículo 5

#### Sistema de evaluación

1. Los umbrales superior e inferior de evaluación especificados en la sección A del anexo II se aplicarán al dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ ), el plomo, el benceno y el monóxido de carbono.

Cada zona o aglomeración se clasificará en relación con esos umbrales de evaluación.

2. La clasificación mencionada en el apartado 1 se revisará al menos cada cinco años con arreglo al procedimiento establecido en la sección B del anexo II.

No obstante, las clasificaciones se revisarán con mayor frecuencia en caso de que se produzcan cambios significativos en actividades que incidan en las concentraciones ambientales de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, o, cuando así proceda, de óxidos de nitrógeno, partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ ), plomo, benceno o monóxido de carbono.

### Artículo 6

#### Criterios de evaluación

1. Los Estados miembros evaluarán la calidad del aire ambiente en relación con los contaminantes que se indican en el artículo 5 en todas sus zonas y aglomeraciones, de conformidad con los criterios fijados en los apartados 2, 3 y 4 del presente artículo y de acuerdo con los criterios establecidos en el anexo III.

2. En todas las zonas y aglomeraciones donde el nivel de contaminantes a que se refiere el apartado 1 rebasa el umbral superior de evaluación establecido para esos contaminantes, la evaluación de la calidad del aire ambiente se efectuará mediante mediciones fijas. Esas mediciones fijas podrán complementarse con técnicas de modelización y/o mediciones indicativas con el fin de aportar información adecuada sobre la distribución espacial de la calidad del aire ambiente.

3. En todas las zonas y aglomeraciones donde el nivel de contaminantes a que se refiere el apartado 1 se halle por debajo del umbral superior de evaluación establecido para esos contaminantes, la evaluación de la calidad del medio ambiente podrá efectuarse mediante una combinación de mediciones fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas.

4. En todas las zonas y aglomeraciones donde el nivel de contaminantes a que se refiere el apartado 1 se halle por debajo del umbral inferior de evaluación establecido para esos contaminantes, será suficiente con utilizar técnicas de modelización o de estimación objetiva, o ambas, para la evaluación de la calidad del aire ambiente.

5. Además de las evaluaciones indicadas en los apartados 2, 3 y 4, se realizarán mediciones en ubicaciones rurales de fondo alejadas de las grandes fuentes de contaminación atmosférica con el objetivo de facilitar, como mínimo, información acerca de la concentración másica total y la especiación química de las concentraciones de partículas finas ( $PM_{2,5}$ ), en medias anuales, y empleando los criterios siguientes:

- se instalará un punto de muestreo cada 100 000 km<sup>2</sup>;
- cada uno de los Estados miembros establecerá al menos una estación de medición o podrá acordar con los Estados limítrofes el establecimiento de una o varias estaciones de medición comunes que abarquen las zonas colindantes relevantes con el fin de conseguir la resolución espacial necesaria;

- c) cuando proceda, las actividades de vigilancia deberán coordinarse con la estrategia de vigilancia continuada y medición del programa de cooperación para la vigilancia continua y la evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP);
- d) las secciones A y C del anexo I se aplicarán en relación con los objetivos de calidad de los datos para las mediciones de la concentración másica de las partículas y el anexo IV se aplicará en su integridad.

Los Estados miembros notificarán a la Comisión los métodos de medición empleados para determinar la composición química de las partículas finas (PM<sub>2,5</sub>).

#### Artículo 7

##### Puntos de muestreo

1. La ubicación de los puntos de muestreo para la medición del dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), el plomo, el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente se determinarán empleando los criterios recogidos en el anexo III.
2. En las zonas o aglomeraciones donde las mediciones fijas constituyan la única fuente de información para la evaluación de la calidad del aire, el número de puntos de muestreo para cada uno de los contaminantes no podrá ser inferior al número mínimo de puntos de muestreo indicado en la sección A del anexo V.
3. Para las zonas o aglomeraciones donde la información procedente de los puntos de muestreo de mediciones fijas se complementa con información obtenida mediante técnicas de modelización y/o mediciones indicativas, el número total de puntos de muestreo especificado en la sección A del anexo V podrá reducirse hasta en un 50 %, siempre y cuando se cumplan las condiciones siguientes:
  - a) los métodos suplementarios aporten información suficiente para la evaluación de la calidad del aire en lo que respecta a los valores límite o los umbrales de alerta, así como información adecuada para el público;
  - b) el número de puntos de muestreo que vaya a instalarse y la resolución espacial de otras técnicas resulten suficientes para determinar la concentración del contaminante de que se trate conforme a los objetivos de calidad de los datos especificados en la sección A del anexo I y posibiliten que los resultados de la evaluación se ajusten a los criterios especificados en la sección B del anexo I.

Los resultados de la modelización y/o la medición indicativa se tendrán en cuenta para la evaluación de la calidad del aire en relación con los valores límite.

4. La Comisión supervisará la aplicación en los Estados miembros de los criterios para la selección de puntos de muestreo, con objeto de facilitar la aplicación armonizada de esos criterios en toda la Unión Europea.

#### Artículo 8

##### Métodos de medición de referencia

1. Los Estados miembros aplicarán los métodos de medición de referencia y los criterios especificados en la sección A y en la sección C del anexo VI.

2. Podrán utilizarse otros métodos de medición en las condiciones que se exponen en la sección B del anexo VI.

#### SECCIÓN 2

##### Evaluación de la calidad del aire ambiente con relación al ozono

#### Artículo 9

##### Criterios de evaluación

1. Cuando en una zona o aglomeración las concentraciones de ozono hubieran superado los objetivos a largo plazo especificados en la sección C del anexo VII en cualquiera de los cinco años de medición anteriores, deberán tomarse mediciones fijas.
2. Cuando los datos de que se disponga se refieran a un período inferior a cinco años, los Estados miembros podrán, con el fin de determinar si se han rebasado los objetivos a largo plazo indicados en el apartado 1 durante esos cinco años, combinar los resultados de las campañas de medición de corta duración correspondientes a los períodos y lugares en los que sea probable que los niveles sean los más elevados con los resultados obtenidos de los inventarios de emisiones y la modelización.

#### Artículo 10

##### Puntos de muestreo

1. La ubicación de los puntos de muestreo para la medición del ozono se determinará empleando los criterios fijados en el anexo VIII.
2. En las zonas o aglomeraciones donde las mediciones sean la única fuente de información para evaluar la calidad del aire, el número de puntos de muestreo para las mediciones fijas de ozono no podrá ser inferior al número mínimo de puntos de muestreo especificado en la sección A del anexo IX.
3. En las zonas y aglomeraciones donde la información procedente de los puntos de muestreo para mediciones fijas se complementa con información procedente de modelizaciones y/o mediciones indicativas, el número de puntos de muestreo indicado en la sección A del anexo IX podrá reducirse siempre y cuando se cumplan las condiciones siguientes:
  - a) los métodos suplementarios generen información suficiente para la evaluación de la calidad del aire en lo que respecta a los valores objetivo, los objetivos a largo plazo y los umbrales de información y de alerta;
  - b) el número de puntos de muestreo que vaya a instalarse y la resolución espacial de otras técnicas sean suficientes para determinar la concentración de ozono conforme a los objetivos de calidad de los datos especificados en la sección A del anexo I y posibiliten que los resultados de la evaluación cumplan los criterios especificados en la sección B del anexo I;
  - c) el número de puntos de muestreo de cada zona o aglomeración sea de al menos un punto de muestreo por cada dos millones de habitantes o un punto de muestreo por cada 50 000 km<sup>2</sup>, si este último criterio da lugar a un número superior de puntos de muestreo, sin que pueda existir menos de un punto de muestreo por cada zona o aglomeración;

- d) se mida el dióxido de nitrógeno en todos los puntos de muestreo restantes, excepto en las estaciones de fondo rural contempladas en la sección A del anexo VIII.

Los resultados de la modelización y/o las mediciones indicativas se tendrán en cuenta para la evaluación de la calidad del aire en relación con los valores objetivo.

4. El dióxido de nitrógeno se medirá como mínimo en un 50 % de los puntos de muestreo de ozono que se requieren en la sección A del anexo IX. Esa medición será continua salvo en las estaciones de fondo rural contempladas en la sección A del anexo VIII, donde puede usarse otros métodos de medición.

5. En las zonas y aglomeraciones donde, durante cada uno de los cinco años de medición anteriores, las concentraciones se sitúen por debajo de los objetivos a largo plazo, el número de puntos de muestreo para mediciones fijas se determinará de conformidad con la sección B del anexo IX.

6. Cada Estado miembro se asegurará de que se instala y pone en funcionamiento en su territorio al menos un punto de muestreo que suministre datos sobre las concentraciones de las sustancias precursoras del ozono indicadas en el anexo X. Cada Estado miembro escogerá el número y la ubicación de las estaciones de medición de las sustancias precursoras del ozono teniendo en cuenta los objetivos y los métodos fijados en el anexo X.

#### Artículo 11

##### Métodos de medición de referencia

- Los Estados miembros aplicarán el método de referencia de medición del ozono establecido en el punto 8 de la sección A del anexo VI. Podrán emplearse otros métodos de medición en las condiciones señaladas en la sección B del anexo VI.
- Los Estados miembros comunicarán a la Comisión los métodos que utilizan para el muestreo y la medición de COV de entre los que figuran en la lista del anexo X.

#### CAPÍTULO III

##### GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

#### Artículo 12

##### Requisitos aplicables cuando los niveles son inferiores a los valores límite

En las zonas y aglomeraciones donde los niveles de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente se sitúen por debajo de los valores límite respectivos que se especifican en los anexos XI y XIV, los Estados miembros mantendrán los niveles de dichos contaminantes por debajo de los valores límite y se esforzarán por preservar la mejor calidad del aire ambiente posible, compatible con el desarrollo sostenible.

#### Artículo 13

##### Valores límite y umbrales de alerta para la protección de la salud humana

- Los Estados miembros se asegurarán de que, en todas sus zonas y aglomeraciones, los niveles de dióxido de azufre,  $PM_{10}$ ,

plomo y monóxido de carbono en el aire ambiente no superen los valores límite establecidos en el anexo XI.

Los valores límite de dióxido de nitrógeno y benceno especificados en el anexo XI no podrán superarse a partir de las fechas especificadas en dicho anexo.

El cumplimiento de estos requisitos se evaluará de conformidad con lo dispuesto en el anexo III.

Los márgenes de tolerancia fijados en el anexo XI se aplicarán conforme a lo dispuesto en el artículo 22, apartado 3 y en el artículo 23, apartado 1.

- Los umbrales de alerta para las concentraciones de dióxido de azufre y de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente serán los que se establecen en la sección A del anexo XII.

#### Artículo 14

##### Niveles críticos

- Los Estados miembros garantizarán el cumplimiento de los niveles críticos especificados en el anexo XIII y evaluados conforme a lo dispuesto en la sección A del anexo III.

- Cuando las mediciones fijas sean la única fuente de información para la evaluación de la calidad del aire, el número de puntos de muestreo no será inferior al número mínimo especificado en la sección C del anexo V. Cuando esa información se complemente con la procedente de mediciones indicativas o modelizaciones, el número mínimo de puntos de muestreo podrá reducirse hasta en un 50 %, siempre que las estimaciones de las concentraciones del contaminante en cuestión puedan determinarse conforme a los objetivos de calidad de los datos indicados en la sección A del anexo I.

#### Artículo 15

##### Objetivo nacional de reducción de la exposición a las $PM_{2,5}$ para la protección de la salud humana

- Los Estados miembros tomarán todas las medidas necesarias que no conlleven gastos desproporcionados para reducir la exposición a las  $PM_{2,5}$  con el fin de alcanzar el objetivo nacional de reducción de la exposición fijado en la sección B del anexo XIV a más tardar en el año señalado en dicho anexo.

- Los Estados miembros garantizarán que el indicador medio de exposición para el año 2015, establecido de conformidad con la sección A del anexo XIV, no supere la obligación en materia de concentración de la exposición establecida en la sección C de dicho anexo.

- El indicador medio de exposición a las  $PM_{2,5}$  se evaluará conforme a lo establecido en la sección A del anexo XIV.

- Conforme al anexo III, los Estados miembros se asegurarán de que la distribución y el número de puntos de muestreo que sirvan de base para el indicador medio de exposición a las  $PM_{2,5}$  refleja adecuadamente la exposición de la población en general. El número de puntos de muestreo no deberá ser inferior al determinado en aplicación de la sección B del anexo V.

*Artículo 16***Valor objetivo y valor límite de las PM<sub>2,5</sub> para la protección de la salud humana**

1. Los Estados miembros tomarán todas las medidas necesarias que no conlleven gastos desproporcionados para asegurarse de que las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en el aire ambiente no superen el valor objetivo fijado en la sección D del anexo XIV a partir de la fecha señalada en dicho anexo.
2. Los Estados miembros velarán por que las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en el aire ambiente no superen el valor límite establecido en la sección E del anexo XIV en ninguna de sus zonas y aglomeraciones a partir de la fecha especificada en dicho anexo. El cumplimiento de este requisito se evaluará de conformidad con lo dispuesto en el anexo III.
3. El margen de tolerancia establecido en la sección E del anexo XIV se aplicará conforme a lo dispuesto en el artículo 23, apartado 1.

*Artículo 17***Requisitos aplicables a las zonas y aglomeraciones donde las concentraciones de ozono superen los valores objetivo y los objetivos a largo plazo**

1. Los Estados miembros tomarán todas las medidas necesarias que no conlleven costes desproporcionados para asegurarse de que se alcanzan los valores objetivo y los objetivos a largo plazo.
2. En las zonas y aglomeraciones donde se supere algún valor objetivo, los Estados miembros se asegurarán de que se aplica el programa elaborado de conformidad con el artículo 6 de la Directiva 2001/81/CE y, si procede, un plan de calidad del aire con el fin de respetar esos valores objetivo, salvo cuando no pueda conseguirse mediante medidas que no conlleven costes desproporcionados, a partir de la fecha especificada en la sección B del anexo VII de la presente Directiva.
3. En las zonas y aglomeraciones donde los niveles de ozono en el aire ambiente sean superiores a los objetivos a largo plazo pero inferiores o iguales a los valores objetivo, los Estados miembros elaborarán y aplicarán medidas eficaces en relación con su coste destinadas a la consecución de los objetivos a largo plazo. Esas medidas deberán ser acordes, como mínimo, con todos los planes de calidad del aire y con el programa a que se refiere el apartado 2.

*Artículo 18***Requisitos aplicables a las zonas y aglomeraciones donde las concentraciones de ozono cumplan los objetivos a largo plazo**

En las zonas y aglomeraciones donde los niveles de ozono cumplan los objetivos a largo plazo, los Estados miembros deberán, en la medida en que lo permitan factores como la naturaleza transfronteriza de la contaminación por ozono y las condiciones meteorológicas, mantener esos niveles por debajo de los objetivos a largo plazo y preservar, a través de medidas proporcionadas, la mejor calidad del aire ambiente compatible con un desarrollo sostenible y un nivel elevado de protección del medio ambiente y la salud humana.

*Artículo 19***Medidas necesarias en caso de superación de los umbrales de información o de alerta**

Cuando se supere el umbral de información indicado en el anexo XII o cualquiera de los umbrales de alerta establecidos en ese mismo anexo, los Estados miembros adoptarán todas las medidas necesarias para informar al público por radio, televisión, prensa o Internet.

Asimismo, los Estados miembros facilitarán a la Comisión, con carácter provisional, información sobre los niveles registrados y sobre la duración de los períodos durante los que se hayan superado los umbrales de alerta o de información.

*Artículo 20***Aportaciones procedentes de fuentes naturales**

1. Los Estados miembros transmitirán a la Comisión las listas, correspondientes a un año determinado, de zonas y aglomeraciones en las que las superaciones de los valores límite de un contaminante sean atribuibles a fuentes naturales. Los Estados miembros facilitarán información acerca de las concentraciones y las fuentes y las pruebas que demuestren que dichas superaciones son atribuibles a fuentes naturales.
2. Cuando la Comisión haya sido informada de la existencia de una superación atribuible a fuentes naturales con arreglo al apartado 1, dicha superación no se considerará tal a efectos de lo dispuesto en la presente Directiva.
3. La Comisión publicará a más tardar el 11 de junio de 2010 unas directrices para la demostración y sustracción de las superaciones atribuibles a fuentes naturales.

*Artículo 21***Superaciones atribuibles al uso de sal o arena en las carreteras durante el invierno**

1. Los Estados miembros podrán designar zonas o aglomeraciones dentro de las cuales se superen los valores límite de PM<sub>10</sub> en el aire ambiente procedentes de la resuspensión de partículas provocada por el uso de sal o arena en las carreteras durante el invierno.
2. Los Estados miembros enviarán a la Comisión las listas de esas zonas o aglomeraciones junto con información sobre las concentraciones y las fuentes de PM<sub>10</sub> en las mismas.
3. Cuando informen a la Comisión de conformidad con el artículo 27, los Estados miembros aportarán las pruebas necesarias para demostrar que dichas superaciones se deben a las partículas en resuspensión y que se han adoptado las medidas adecuadas para reducir esas concentraciones.
4. No obstante lo dispuesto en el artículo 20, en el caso de las zonas o aglomeraciones a que se refiere el apartado 1 del presente artículo, los Estados miembros solo deberán elaborar el plan de calidad del aire previsto en el artículo 23 en la medida en que las superaciones sean atribuibles a fuentes de PM<sub>10</sub> distintas del uso de sal o arena en las carreteras durante el invierno.

5. La Comisión publicará unas directrices para la determinación de las aportaciones procedentes de la resuspensión de partículas provocada por el uso de sal o arena en las carreteras durante el invierno, a más tardar el 11 de junio de 2010.

#### Artículo 22

##### **Prórroga de los plazos de cumplimiento y exención de la obligación de aplicar ciertos valores límite**

1. Cuando, en una zona o aglomeración determinada, no puedan respetarse los valores límite de dióxido de nitrógeno o benceno en los plazos fijados en el anexo XI, el Estado miembro podrá prorrogar esos plazos por un máximo de cinco años para esa zona o aglomeración concreta, con la condición de que se haya establecido un plan de calidad del aire de conformidad con el artículo 23 para la zona o aglomeración a la que vaya a aplicarse la prórroga; dicho plan de calidad del aire irá acompañado de la información indicada en la sección B del anexo XV en relación con los contaminantes de que se trate y demostrará que van a respetarse los valores límite antes del final de la prórroga.

2. Cuando, en una zona o aglomeración determinada, no puedan respetarse los valores límite de  $PM_{10}$  especificados en el anexo XI debido a las características de dispersión propias de esos lugares, las condiciones climáticas adversas o las contribuciones transfronterizas, el Estado miembro quedará exento de aplicar esos valores límite hasta el 11 de junio de 2011 como máximo, siempre que se cumplan las condiciones recogidas en el apartado 1 y que el Estado miembro demuestre que se han adoptado todas las medidas adecuadas, a escala nacional, regional y local, para respetar los plazos.

3. Cuando un Estado miembro aplique lo dispuesto en los apartados 1 o 2, se asegurará de que la superación del valor límite de cada contaminante no supera el margen máximo de tolerancia especificado para cada uno de los contaminantes en el anexo XI.

4. Los Estados miembros notificarán a la Comisión los supuestos en los que, a su juicio, sean de aplicación los apartados 1 y 2, y le transmitirán el plan de calidad del aire mencionado en el apartado 1 junto con toda la información necesaria para que la Comisión examine si se cumplen o no las condiciones pertinentes. Al proceder a su evaluación, la Comisión tendrá en cuenta los efectos estimados sobre la calidad del aire ambiente en los Estados miembros, en la actualidad y en el futuro, de las medidas adoptadas por los Estados miembros, así como los efectos estimados sobre la calidad del aire ambiente de las medidas comunitarias actuales y de las medidas comunitarias que la Comisión tenga intención de proponer.

Si la Comisión no plantea ninguna objeción en los nueve meses siguientes a la recepción de esa notificación, las condiciones pertinentes para la aplicación de los apartados 1 o apartado 2 se considerarán cumplidas.

Si se plantearen objeciones, la Comisión podrá requerir a los Estados miembros que adapten sus planes de calidad del aire o que presenten otros nuevos.

#### CAPÍTULO IV

##### PLANES

#### Artículo 23

##### **Planes de calidad del aire**

1. Cuando, en determinadas zonas o aglomeraciones, los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier valor límite o valor objetivo, así como el margen de tolerancia correspondiente a cada caso, los Estados miembros se asegurarán de que se elaboran planes de calidad del aire para esas zonas y aglomeraciones con el fin de conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente especificado en los anexos XI y XIV.

En caso de superarse los valores límite para los que ya ha vencido el plazo de cumplimiento, los planes de calidad del aire establecerán medidas adecuadas, de modo que el período de superación sea lo más breve posible. Los planes de calidad del aire podrán incluir además medidas específicas destinadas a proteger a los sectores vulnerables de la población, incluidos los niños.

Esos planes de calidad del aire contendrán al menos la información indicada en la sección A del anexo XV y podrán incluir medidas adoptadas de conformidad con el artículo 24. Esos planes serán transmitidos a la Comisión sin demora y, en cualquier caso, antes de que transcurran dos años desde el final del año en que se observó la primera superación.

Cuando deban elaborarse o ejecutarse planes de calidad del aire respecto de diversos contaminantes, los Estados miembros elaborarán y ejecutarán, cuando así proceda, planes integrados que abarquen todos los contaminantes en cuestión.

2. En la medida de lo posible, los Estados miembros asegurarán la coherencia con los demás planes exigidos por la Directiva 2001/80/CE, la Directiva 2001/81/CE o la Directiva 2002/49/CE para alcanzar los objetivos medioambientales correspondientes.

#### Artículo 24

##### **Planes de acción a corto plazo**

1. Cuando, en una zona o una aglomeración determinada, exista el riesgo de que el nivel de contaminantes supere uno o más de los umbrales de alerta especificados en el anexo XII, los Estados miembros elaborarán planes de acción que indicarán las medidas que deben adoptarse a corto plazo para reducir el riesgo de superación o la duración de la misma. Cuando dicho riesgo se refiera a uno o varios valores límite o valores objetivo especificados en los anexos VII, XI y XIV, los Estados miembros podrán elaborar, cuando así proceda, esos planes de acción a corto plazo.

No obstante, cuando exista un riesgo de superación del umbral de alerta del ozono indicado en la sección B del anexo XII, los Estados miembros solo elaborarán esos planes de acción a corto plazo cuando consideren que hay una posibilidad significativa de reducción del riesgo o de la duración o gravedad de la situación, habida cuenta de las condiciones geográficas, meteorológicas y económicas nacionales. Al elaborar ese plan de acción a corto plazo, los Estados miembros deberán tener en cuenta la Decisión 2004/279/CE.

2. Los planes de acción a corto plazo indicados en el apartado 1 podrán, en determinados casos, establecer medidas eficaces para controlar y, si es necesario, suspender actividades que contribuyan a aumentar el riesgo de superación de los valores límite o los valores objetivo o umbrales de alerta respectivos. Esos planes de acción podrán incluir medidas relativas al tráfico de vehículos de motor, a obras de construcción, a buques amarrados y al funcionamiento de instalaciones industriales o el uso de productos y a la calefacción doméstica. En el marco de esos planes, también podrán preverse acciones específicas destinadas a proteger a los sectores vulnerables de la población, incluidos los niños.

3. Cuando los Estados miembros hayan elaborado un plan de acción a corto plazo, pondrán a disposición de los ciudadanos y de las organizaciones pertinentes, como las ecologistas, las de consumidores y las representantes de los intereses de los sectores vulnerables de la población, de otros organismos sanitarios interesados y de las federaciones profesionales pertinentes, los resultados de sus investigaciones sobre la viabilidad y el contenido de los planes de acción específicos a corto plazo y la información sobre la ejecución de esos planes.

4. Por primera vez antes del 11 de junio de 2010 y después a intervalos periódicos, la Comisión publicará ejemplos de buenas prácticas para la elaboración de planes de acción a corto plazo, que incluirán ejemplos de buenas prácticas para proteger a los sectores vulnerables de la población, incluidos los niños.

#### Artículo 25

##### Contaminación transfronteriza

1. En caso de superación de algún umbral de alerta, valor límite o valor objetivo, más el margen de tolerancia correspondiente, o de algún objetivo a largo plazo, debido a un importante transporte transfronterizo de contaminantes o sus precursores, los Estados miembros afectados deberán cooperar y, cuando así proceda, idear actividades conjuntas como la preparación de planes de calidad del aire comunes o coordinados con arreglo al artículo 23 con el fin de corregir esas superaciones mediante la aplicación de medidas apropiadas pero proporcionadas.

2. Se invitará a la Comisión a que participe y colabore en todas las actividades de cooperación indicadas en el apartado 1. Cuando proceda, la Comisión considerará, teniendo en cuenta los informes elaborados de conformidad con el artículo 9 de la Directiva 2001/81/CE, si deben adoptarse medidas comunitarias complementarias para reducir las emisiones de precursores responsables de la contaminación transfronteriza.

3. Los Estados miembros deberán, cuando así lo requiera el artículo 24, preparar y ejecutar planes conjuntos de acción a corto plazo destinados a zonas colindantes de otros Estados miembros. Los Estados miembros se asegurarán de que las zonas colindantes de otros Estados miembros que hayan desarrollado planes de acción a corto plazo reciban toda la información adecuada.

4. Cuando se rebasen los umbrales de información o de alerta en zonas o aglomeraciones cercanas a las fronteras nacionales, se informará lo antes posible de ese extremo a las autoridades competentes de los Estados miembros vecinos afectados. Esa información se pondrá asimismo a disposición del público.

5. Al elaborar los planes contemplados en los apartados 1 y 3, y al informar a los ciudadanos conforme al apartado 4, los

Estados miembros, si procede, se esforzarán por cooperar con terceros países, en particular con los países candidatos.

#### CAPÍTULO V

##### INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN DE DATOS

#### Artículo 26

##### Información a los ciudadanos

1. Los Estados miembros se asegurarán de que los ciudadanos y las organizaciones pertinentes, como las ecologistas, las de consumidores y las representantes de los intereses de los sectores vulnerables de la población, otros organismos sanitarios interesados y las federaciones profesionales pertinentes, reciben información adecuada y oportuna acerca de:

- la calidad del aire ambiente con arreglo al anexo XVI;
- toda decisión de prórroga adoptada con arreglo al artículo 22, apartado 1;
- toda exención adoptada con arreglo al artículo 22, apartado 2;
- los planes de calidad del aire dispuestos en el artículo 22, apartado 1, y en el artículo 23 y los programas mencionados en el artículo 17, apartado 2.

Esa información se facilitará de forma gratuita por cualquier medio de comunicación de fácil acceso, incluido Internet u otro medio adecuado de telecomunicación, y tendrá en cuenta las disposiciones de la Directiva 2007/2/CE.

2. Los Estados miembros pondrán a disposición del público informes anuales sobre todos los contaminantes cubiertos por la presente Directiva.

Dichos informes deberán presentar un compendio de los niveles de superación de los valores límite, los valores objetivo, los objetivos a largo plazo, los umbrales de información y los umbrales de alerta, para los períodos de cálculo de las medias que correspondan. Esa información deberá combinarse con una evaluación sintética de los efectos de esas superaciones. Los informes podrán incluir, cuando proceda, información y evaluaciones suplementarias sobre protección forestal así como información sobre los demás contaminantes para los que la presente Directiva establece medidas de control, como, por ejemplo, las sustancias precursoras del ozono no reguladas que figuran en la sección B del anexo X.

3. Los Estados miembros informarán al público de la autoridad competente u órgano designado en relación con las funciones mencionadas en el artículo 3.

#### Artículo 27

##### Transmisión de información y comunicación de datos

1. Los Estados miembros se asegurarán de que la Comisión recibe información sobre la calidad del aire ambiente en el plazo estipulado determinado por las medidas de ejecución mencionadas en el artículo 28, apartado 2.

2. En cualquier caso, con el objetivo específico de evaluar el cumplimiento de los valores límite y los niveles críticos y el logro de los valores objetivo, dicha información estará disponible para la Comisión a más tardar nueve meses después del final de cada año, e incluirá:

- a) las modificaciones efectuadas en dicho año en la lista y la delimitación de zonas y aglomeraciones establecidas con arreglo al artículo 4;
- b) la lista de zonas y aglomeraciones en las que los niveles de uno o varios contaminantes superan los valores límite más el margen de tolerancia, cuando proceda, o superan los valores objetivo o los niveles críticos; y para estas zonas y aglomeraciones:
  - i) los niveles evaluados y, en su caso, las fechas y períodos en que se observaron dichos niveles,
  - ii) en su caso, una evaluación de las aportaciones procedentes de fuentes naturales y de la resuspensión de partículas provocada por el uso de sal o arena en las carreteras durante el invierno a los niveles evaluados, según lo declarado a la Comisión con arreglo a los artículos 20 y 21.

3. Los apartados 1 y 2 se aplicarán a la información recabada a partir del principio del segundo año civil después de la entrada en vigor de las medidas de aplicación mencionadas en el artículo 28, apartado 2.

#### Artículo 28

##### Medidas de ejecución

1. Las medidas destinadas a modificar elementos no esenciales de la presente Directiva, es decir, los anexos I a VI, VIII a X y XV, se adoptarán de conformidad con el procedimiento de reglamentación con control contemplado en el artículo 29, apartado 3.

No obstante, esas modificaciones no podrán tener como efecto la modificación directa o indirecta de:

- a) los valores límite, los objetivos de reducción de la exposición, los niveles críticos, los valores objetivo, los umbrales de información o de alerta ni los objetivos a largo plazo especificados en el anexo VII y en los anexos XI a XIV;
- b) las fechas de cumplimiento de cualquiera de los parámetros indicados en la letra a).

2. La Comisión, de conformidad con el procedimiento de reglamentación contemplado en el artículo 29, apartado 2, determinará la información adicional que deben facilitar los Estados miembros en cumplimiento del artículo 27, así como los plazos en los que debe comunicarse dicha información.

Además, la Comisión determinará la forma de simplificar el método de presentación de los datos y el intercambio recíproco de información y datos de las redes y las estaciones independientes de medición de la contaminación atmosférica de los Estados miembros, de conformidad con el procedimiento de reglamentación contemplado en el artículo 29, apartado 2.

3. La Comisión elaborará directrices para los acuerdos relativos al establecimiento de las estaciones de medición comunes mencionadas en el artículo 6, apartado 5.

4. La Comisión publicará directrices para la demostración de la equivalencia indicada en la sección B del anexo VI.

#### CAPÍTULO VI

##### COMITÉ Y DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y FINALES

#### Artículo 29

##### Comité

1. La Comisión estará asistida por un Comité llamado «Comité de calidad del aire ambiente».

2. En los casos en que se haga referencia al presente apartado, serán de aplicación los artículos 5 y 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8.

El plazo contemplado en el artículo 5, apartado 6, de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses.

3. En los casos en que se haga referencia al presente apartado, serán de aplicación el artículo 5 bis, apartados 1 a 4, y el artículo 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8.

#### Artículo 30

##### Sanciones

Los Estados miembros establecerán el régimen de sanciones correspondientes a la infracción de las disposiciones nacionales adoptadas en aplicación de la presente Directiva y tomarán todas las medidas necesarias para asegurarse de su ejecución. Las sanciones establecidas serán eficaces, proporcionadas y disuasorias.

#### Artículo 31

##### Disposiciones derogatorias y transitorias

1. Quedan derogadas las Directivas 96/62/CE, 1999/30/CE, 2000/69/CE y 2002/3/CE a partir del 11 de junio de 2010, sin perjuicio de las obligaciones de los Estados miembros en cuanto a los plazos de incorporación o aplicación de esas Directivas.

No obstante, a partir del 11 de junio de 2008 se aplicarán las siguientes disposiciones:

- a) en la Directiva 96/62/CE, artículo 12, el apartado 1, se sustituye por el texto siguiente:

«1. Las disposiciones detalladas para la transmisión de la información que debe facilitarse en virtud del artículo 11 se adoptarán de conformidad con el procedimiento contemplado en el apartado 3.»

- b) en la Directiva 1999/30/CE se suprimen el artículo 7, apartado 7, la nota 1 del punto I del anexo VIII y el punto VI del anexo IX;

- c) en la Directiva 2000/69/CE se suprimen el artículo 5, apartado 7, y el punto III del anexo VII;

- d) en la Directiva 2002/3/CE se suprimen el artículo 9, apartado 5, y el punto II del anexo VIII.



2. No obstante lo dispuesto en el apartado 1, párrafo primero, permanecerán vigentes los siguientes artículos:

- a) artículo 5 de la Directiva 96/62/CE, hasta el 31 de diciembre de 2010;
- b) artículo 11, apartado 1, de la Directiva 96/62/CE y artículo 10, apartados 1, 2 y 3, de la Directiva 2002/3/CE hasta el final del segundo año civil después de la entrada en vigor de las disposiciones de aplicación mencionadas en el artículo 28, apartado 2, de la presente Directiva;
- c) artículo 9, apartados 3 y 4, de la Directiva 1999/30/CE, hasta el 31 de diciembre de 2009.

3. Las referencias a las Directivas derogadas se entenderán hechas a la presente Directiva y se leerán conforme a la tabla de correspondencias del anexo XVII.

4. La Decisión 97/101/CE quedará derogada a partir del final del segundo año civil después de la entrada en vigor de las medidas de ejecución mencionadas en el artículo 28, apartado 2, de la presente Directiva.

No obstante, quedará suprimido a partir del 11 de junio de 2008 el artículo 7, guiones 3, 4 y 5, de la Decisión 97/101/CE.

#### Artículo 32

##### Revisión

1. En 2013, la Comisión procederá a la revisión de las disposiciones relativas a las  $PM_{2,5}$  y, en su caso, a otros contaminantes, y presentará una propuesta al Parlamento Europeo y al Consejo.

Con respecto a las  $PM_{2,5}$ , la revisión se realizará con vistas a establecer obligaciones nacionales jurídicamente vinculantes de reducción de la exposición, para sustituir el objetivo nacional de reducción de la exposición y para revisar la obligación en materia de concentración de la exposición, que establece el artículo 15, teniendo en cuenta, entre otras cosas, los siguientes elementos:

- la información científica más reciente de la OMS y demás organizaciones pertinentes,
- las distintas situaciones de la calidad del aire y los potenciales de reducción en los Estados miembros,
- la revisión de la Directiva 2001/81/CE,
- los progresos registrados en la aplicación de las medidas comunitarias de reducción de contaminantes del aire.

2. La Comisión tendrá en cuenta la viabilidad de adoptar un valor límite más ambicioso para las  $PM_{2,5}$ , revisará el valor límite indicativo de la segunda fase para las  $PM_{2,5}$  y examinará la confirmación o modificación de ese valor.

3. Como parte de la revisión, la Comisión también preparará un informe sobre la experiencia en el control de las  $PM_{10}$  y las  $PM_{2,5}$  y la necesidad de dicho control, teniendo en cuenta los avances técnicos en las técnicas de medición automática. En su caso, se propondrán nuevos métodos de referencia para la medición de las  $PM_{10}$  y las  $PM_{2,5}$ .

#### Artículo 33

##### Incorporación al Derecho interno

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva antes del 11 de junio de 2010. Comunicarán inmediatamente a la Comisión el texto de dichas disposiciones.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, estas harán referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

2. No obstante, los Estados miembros se asegurarán de poner en marcha a más tardar el 1 de enero de 2009, el número de estaciones de medición de fondo urbano de exposición a las  $PM_{2,5}$  necesario para calcular el Indicador Medio de Exposición, con arreglo a la sección B del anexo V, para cumplir con el plazo y las condiciones que se estipulan en la sección A del anexo XIV.

3. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las principales disposiciones de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

#### Artículo 34

##### Entrada en vigor

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

#### Artículo 35

##### Destinatarios

Los destinatarios de la presente Directiva son los Estados miembros.

Hecho en Estrasburgo, el 21 de mayo de 2008.

Por el Parlamento Europeo  
El Presidente  
H.-G. PÖTTERING

Por el Consejo  
El Presidente  
J. LENARČIČ

## ANEXO I

## OBJETIVOS DE CALIDAD DE LOS DATOS

## A. Objetivos de calidad de los datos para la evaluación de la calidad del aire ambiente

	Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno y monóxido de car- bono	Benceno	Partículas (PM <sub>10</sub> /PM <sub>2,5</sub> ) y plomo	Ozono y NO y NO <sub>2</sub> correspondientes
Mediciones fijas <sup>(1)</sup>				
Incertidumbre	15 %	25 %	25 %	15 %
Recogida mínima de datos	90 %	90 %	90 %	90 % en verano 75 % en invierno
Cobertura mínima temporal:				
— fondo urbano y de tráfico,	—	35 % <sup>(2)</sup>	—	—
— emplazamientos industriales	—	90 %	—	—
Mediciones indicativas				
Incertidumbre	25 %	30 %	50 %	30 %
Recogida mínima de datos	90 %	90 %	90 %	90 %
Cobertura mínima temporal	14 % <sup>(3)</sup>	14 % <sup>(4)</sup>	14 % <sup>(3)</sup>	> 10 % en verano
Incertidumbre de la modeliza- ción:				
Diaria	50 %	—	—	50 %
Medias octohorarias	50 %	—	—	50 %
Medias diarias	50 %	—	aún no definida	—
Medias anuales	30 %	50 %	50 %	—
Estimación objetiva				
Incertidumbre	75 %	100 %	100 %	75 %

<sup>(1)</sup> En el caso del benceno, el plomo y las partículas, los Estados miembros podrán efectuar mediciones aleatorias en lugar de mediciones continuas si pueden demostrar a la Comisión que la incertidumbre, incluida la derivada del muestreo aleatorio, alcanza el objetivo de calidad del 25 %, y que la cobertura temporal sigue siendo superior a la cobertura temporal mínima de las mediciones indicativas. El muestreo aleatorio debe distribuirse de manera uniforme a lo largo del año para evitar resultados sesgados. La incertidumbre derivada del muestreo aleatorio puede determinarse mediante el procedimiento establecido en la norma ISO 11222 (2002) «Calidad del aire — Determinación de la incertidumbre de la media temporal de las medidas de calidad del aire». Si se efectúan mediciones aleatorias para evaluar los requisitos del valor límite de las PM<sub>10</sub>, debería evaluarse el percentil 90,4 (que será inferior o igual a 50 µg/m<sup>3</sup>) en lugar del número de superaciones, que está muy influido por la cobertura de los datos.

<sup>(2)</sup> Distribuido a lo largo del año para que sea representativo de las diversas condiciones climáticas y de tráfico.

<sup>(3)</sup> Una medición aleatoria por semana, distribuida de manera uniforme a lo largo del año, u ocho semanas distribuidas de manera uniforme a lo largo del año.

<sup>(4)</sup> Una medición diaria aleatoria por semana, distribuida de manera uniforme a lo largo del año, u ocho semanas distribuidas de manera uniforme a lo largo del año.

La incertidumbre (expresada con un nivel de confianza del 95 %) de los métodos de evaluación se determinará con arreglo a los principios de la Guía del CEN para la expresión de la incertidumbre de medida (ENV 13005-1999), la metodología recogida en la norma ISO 5725:1994 y las directrices del informe del CEN titulado «Air Quality — Approach to Uncertainty Estimation for Ambient Air Reference Measurement Methods» (CR 14377:2002E). Los porcentajes de incertidumbre del cuadro anterior se refieren a mediciones individuales tomadas durante el período considerado por el valor límite (o el valor objetivo en el caso del ozono) para un intervalo de confianza del 95 %. La incertidumbre para las mediciones fijas debe interpretarse como aplicable en el rango del valor límite apropiado (o el valor objetivo en el caso del ozono).

Para la modelización, la incertidumbre se define como la desviación máxima entre los niveles de concentración medidos y calculados para el 90 % de los puntos de control individuales, a lo largo del período considerado, respecto del valor límite (o el valor objetivo en el caso del ozono), sin tener en cuenta la cronología de los acontecimientos. Para la modelización, la incertidumbre se interpretará como aplicable en el rango del valor límite adecuado (o el valor objetivo en el caso del ozono). Las mediciones fijas que se seleccionen para comparar con los resultados del modelo serán representativas de la escala considerada por el modelo.

Para la estimación objetiva, la incertidumbre se define como la desviación máxima entre los niveles de concentración medidos y calculados, a lo largo del período considerado, respecto del valor límite (o el valor objetivo en el caso del ozono), sin tener en cuenta la cronología de los acontecimientos.

Los requisitos de recogida mínima de datos y cobertura mínima temporal no incluyen las pérdidas de datos debido a la calibración regular o el mantenimiento normal de los instrumentos.

#### B. Resultados de la evaluación de la calidad del aire

La información que se indica a continuación se recabará para las zonas o aglomeraciones dentro de las cuales se utilicen fuentes distintas de las mediciones, bien como complemento de la información procedente de las mediciones, bien como único medio de evaluación de la calidad del aire:

- descripción de las actividades de evaluación llevadas a cabo,
- métodos específicos utilizados, con referencias a las descripciones del método,
- origen de los datos y fuentes de información,
- descripción de los resultados, incluidas las incertidumbres y, sobre todo, extensión del área o, cuando proceda, longitud de la carretera que atraviese la zona o aglomeración donde las concentraciones superen cualquier valor límite, valor objetivo u objetivo a largo plazo más el margen de tolerancia correspondiente que sea aplicable, y de las áreas en las cuales las concentraciones superen el umbral superior de evaluación o el umbral inferior de evaluación,
- población potencialmente expuesta a niveles superiores a cualquier valor límite para la protección de la salud humana.

#### C. Garantía de calidad de la evaluación de la calidad del aire ambiente: validación de los datos

1. Con el fin de asegurar la exactitud de las mediciones y el cumplimiento de los objetivos de calidad de los datos fijados en la sección A, las autoridades y organismos competentes designados en virtud del artículo 3 deberán:
  - garantizar la trazabilidad de todas las mediciones efectuadas en relación con la evaluación de la calidad del aire ambiente en virtud de los artículos 6 y 9 de conformidad con los requisitos establecidos en el punto 5.6.2.2 de ISO/IEC 17025:2005,
  - asegurarse de que las instituciones responsables del funcionamiento de las redes y las estaciones individuales dispongan de un sistema de garantía y control de la calidad que incluya un mantenimiento periódico dirigido a asegurar la exactitud de los instrumentos de medición,
  - asegurar el establecimiento de un proceso de garantía y control de calidad para las actividades de compilación y comunicación de datos y la participación activa de las instituciones designadas para esa tarea en los programas afines de garantía de la calidad de la Comunidad,
  - asegurar que los laboratorios nacionales que nombra la autoridad o el organismo competente designado con arreglo al artículo 3 que participen en los ejercicios de intercomparación comunitarios relativos a los contaminantes regulados por la presente Directiva se hallen acreditados con arreglo a la norma EN/ISO 17025 para 2010 respecto de los métodos de referencia mencionados en el anexo VI. Esos laboratorios participarán en la coordinación, en el territorio de los Estados miembros, de los programas comunitarios de garantía de la calidad que organizará la Comisión; además, deberán coordinar, a escala nacional, la correcta utilización de los métodos de referencia y la demostración de la equivalencia de los métodos que no sean de referencia.
2. Se dará por supuesta la validez de todos los datos facilitados con arreglo al artículo 27, salvo los datos señalados como provisionales.

## ANEXO II

**Determinación de los requisitos de evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente dentro de una zona o aglomeración**

**A. Umbrales superior e inferior de evaluación**

Se aplicarán los siguientes umbrales superior e inferior de evaluación:

1. *Dióxido de azufre*

	Protección de la salud	Protección de la vegetación
Umbral superior de evaluación	60 % del valor límite diario (75 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 3 veces por año civil)	60 % del nivel crítico de invierno (12 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	40 % del valor límite diario (50 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 3 veces por año civil)	40 % del nivel crítico de invierno (8 µg/m <sup>3</sup> )

2. *Dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno*

	Valor límite horario para la protección de la salud humana (NO <sub>2</sub> )	Valor límite anual para la protección de la salud humana (NO <sub>2</sub> )	Nivel crítico anual para la protección de la vegetación y los ecosistemas naturales (NO <sub>x</sub> )
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (140 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 18 veces por año civil)	80 % del valor límite (32 µg/m <sup>3</sup> )	80 % del nivel crítico (24 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	50 % del valor límite (100 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 18 veces por año civil)	65 % del valor límite (26 µg/m <sup>3</sup> )	65 % del nivel crítico (19,5 µg/m <sup>3</sup> )

3. *Partículas (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>)*

	Media de 24 horas PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>2,5</sub> (*)
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (35 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	70 % del valor límite (28 µg/m <sup>3</sup> )	70 % del valor límite (17 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	50 % del valor límite (25 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	50 % del valor límite (20 µg/m <sup>3</sup> )	50 % del valor límite (12 µg/m <sup>3</sup> )

(\*) El umbral superior de evaluación y el umbral inferior de evaluación para las PM<sub>2,5</sub> no se aplica a las mediciones para evaluar el cumplimiento del objetivo de reducción de la exposición a las PM<sub>2,5</sub> para la protección de la salud humana.

4. *Plomo*

	Media anual
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (0,35 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	50 % del valor límite (0,25 µg/m <sup>3</sup> )

5. *Benceno*

	Media anual
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (3,5 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	40 % del valor límite (2 µg/m <sup>3</sup> )

6. *Monóxido de carbono*

	Media octohoraria
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (7 mg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	50 % del valor límite (5 mg/m <sup>3</sup> )

**B. Determinación de las superaciones de los umbrales superior e inferior de evaluación**

Las superaciones de los umbrales superior e inferior de evaluación se determinarán en relación con las concentraciones medidas durante los cinco años anteriores, cuando se disponga de datos suficientes. Un umbral de evaluación se considerará superado si se ha superado durante al menos tres de esos cinco años anteriores.

Cuando se disponga de datos relativos a un período inferior a cinco años, los Estados miembros podrán combinar, con el fin de determinar las superaciones de los umbrales superior e inferior de evaluación, los datos de las campañas de medición de corta duración durante el período del año y en lugares en los que la probabilidad de obtener los niveles más elevados de contaminación sea mayor con los resultados de los inventarios de emisiones y las modelizaciones.

## ANEXO III

**Evaluación de la calidad del aire ambiente y ubicación de los puntos de muestreo para la medición del dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), el plomo, el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente**

**A. Generalidades**

La calidad del aire ambiente se evaluará en todas las zonas y las aglomeraciones con arreglo a los siguientes criterios:

1. La calidad del aire ambiente se evaluará en todos los emplazamientos salvo los enumerados en el apartado 2, conforme a los criterios establecidos en las secciones B y C para la ubicación de puntos de muestreo para mediciones fijas. Los principios establecidos en las secciones B y C también serán de aplicación en la medida en que sean pertinentes para identificar los emplazamientos específicos en los que se determina la concentración de los contaminantes evaluados mediante mediciones indicativas o modelización.
2. El cumplimiento de los valores límite para la protección de la salud humana no se evaluará en los emplazamientos siguientes:
  - a) las ubicaciones situadas en zonas a las que el público no tenga acceso y no existan viviendas permanentes;
  - b) de conformidad con el artículo 2, apartado 1, los locales de fábricas o instalaciones industriales en las que se aplican las normas de protección en el lugar de trabajo correspondientes;
  - c) en la calzada de las carreteras y en las medianas de las carreteras, salvo cuando normalmente exista un acceso peatonal a la mediana.

**B. Macroimplantación de los puntos de muestreo****1. Protección de la salud humana**

- a) la ubicación de los puntos de muestreo destinados a la protección de la salud humana deberá determinarse de manera que proporcione datos sobre:
  - las áreas situadas dentro de zonas y aglomeraciones donde se registren las concentraciones más altas a las que la población puede hallarse directa o indirectamente expuesta durante un período significativo en relación con el período considerado para el cálculo del valor o valores límite,
  - los niveles de contaminación en otras áreas situadas dentro de zonas y aglomeraciones que sean representativas de la exposición de la población en general;
- b) en general, la ubicación de los puntos de muestreo deberá ser tal que evite que se midan los microambientes muy pequeños en sus proximidades, lo que significa que los puntos de muestreo deberán estar ubicados de manera que sean, en la medida de lo posible, representativos de la calidad del aire de un segmento de calle no inferior a 100 m de longitud en los emplazamientos de tráfico y de al menos 250 m × 250 m en los emplazamientos industriales;
- c) las estaciones de fondo urbano deberán ubicarse de forma que su nivel de contaminación refleje la contribución procedente de todas las fuentes situadas a barlovento de la estación. El nivel de contaminación no debe estar dominado por una sola fuente salvo en el caso de que tal situación sea característica de una zona urbana más amplia. Por regla general, esos puntos de muestreo deberán ser representativos de varios kilómetros cuadrados;
- d) cuando el objetivo sea evaluar los niveles rurales de fondo, los puntos de muestreo no deberán estar influidos por las aglomeraciones o los emplazamientos industriales de los alrededores, es decir los situados a menos de cinco kilómetros;
- e) cuando se desee evaluar las aportaciones de fuentes industriales, al menos un punto de muestreo se instalará a sotavento de la fuente en la zona residencial más cercana. Cuando no se conozca la concentración de fondo, se situará un punto de muestreo suplementario en la dirección dominante del viento;
- f) en la medida de lo posible, los puntos de muestreo serán también representativos de ubicaciones similares que no estén situadas en su proximidad inmediata;
- g) se tendrá en cuenta la necesidad de ubicar puntos de muestreo en las islas cuando la protección de la salud humana así lo exija.

## 2. Protección de la vegetación y los ecosistemas naturales

Los puntos de muestreo destinados a la protección de la vegetación y los ecosistemas naturales deberán ubicarse a más de 20 km de distancia de las aglomeraciones o a más de 5 km de otras zonas edificadas, instalaciones industriales o autopistas o carreteras principales con una densidad de tráfico superior a los 50 000 vehículos diarios, lo que significa que los puntos de muestreo deberán estar ubicados en un lugar representativo de la calidad del aire de una zona circundante de al menos 1 000 km<sup>2</sup>. Atendiendo a las condiciones geográficas o a las posibilidades de proteger zonas particularmente vulnerables, los Estados miembros podrán disponer que un punto de muestreo esté ubicado a una distancia inferior o sea representativo de la calidad del aire de un área menos extensa.

Se tendrá en cuenta la necesidad de evaluar la calidad del aire de las islas.

## C. Microimplantación de puntos de muestreo

En la medida de lo posible, deberán respetarse las indicaciones siguientes:

- no deberían existir restricciones al flujo de aire alrededor del punto de entrada del muestreo, ni obstáculos que afecten al flujo de aire en la vecindad del captador (por regla general, el punto de entrada del muestreo se colocará a varios metros de edificios, balcones, árboles y otros obstáculos, y, como mínimo, a 0,5 m del edificio más próximo en el caso de puntos de muestreo representativos de la calidad del aire en la línea de edificios),
- en general, el punto de muestreo deberá situarse entre 1,5 m (zona de respiración) y 4 m sobre el nivel del suelo. En algunos casos podrá resultar necesaria una posición más elevada (hasta 8 m). Pueden también ser adecuadas posiciones más elevadas si la estación es representativa de un área extensa,
- el punto de entrada del muestreo no debería estar situado en las proximidades de fuentes de emisión para evitar la entrada directa de emisiones no mezcladas con el aire ambiente,
- la salida del captador deberá colocarse de forma que se evite la recirculación del aire saliente hacia la entrada del sistema,
- para todos los contaminantes, los puntos de muestreo deberán estar situados al menos a 25 m del límite de los cruces principales y a una distancia no superior a 10 m del borde de la acera.

Además, podrán tenerse en cuenta los factores siguientes:

- interferencias de otras fuentes,
- seguridad,
- acceso,
- posibilidad de conexión a la red eléctrica y telefónica,
- visibilidad del emplazamiento en relación con su entorno,
- seguridad de la población y de los técnicos,
- interés de la implantación conjunta de puntos de muestreo de distintos contaminantes,
- normas urbanísticas.

## D. Documentación y reevaluación de la elección de los emplazamientos

En la fase de clasificación, los procedimientos de elección de los emplazamientos deberán documentarse exhaustivamente mediante, por ejemplo, fotografías de la zona circundante con indicación de las coordenadas geográficas y un mapa detallado. Los emplazamientos deberán reevaluarse a intervalos regulares con nueva documentación para asegurar que los criterios de selección siguen siendo válidos.

## ANEXO IV

## MEDICIONES EN LAS UBICACIONES RURALES DE FONDO CON INDEPENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN

## A. Objetivos

Los principales objetivos de esas mediciones son asegurar que se facilita información suficiente sobre los niveles de contaminación de fondo. Esa información resulta esencial para evaluar los niveles incrementados de las zonas más contaminadas (como las zonas urbanas, los lugares industriales y los emplazamientos con influencia del tráfico), determinar la posible contribución del transporte a larga distancia de contaminantes atmosféricos, complementar los análisis de distribución según las fuentes y para la comprensión de contaminantes específicos como las partículas. Además, esta información resulta esencial para el mayor uso de las técnicas de modelización en zonas urbanas.

## B. Sustancias

La medición de la  $PM_{2,5}$  debe incluir por lo menos la concentración másica total y las concentraciones de los compuestos apropiados para caracterizar su composición química. Debe incluirse al menos la lista de especies químicas que se indican a continuación

$SO_4^{2-}$	$Na^+$	$NH_4^+$	$Ca^{2+}$	Carbono elemental (CE)
$NO_3^-$	$K^+$	$Cl^-$	$Mg^{2+}$	Carbono orgánico (CO)

## C. Implantación

Las mediciones deberán efectuarse sobre todo en ubicaciones rurales de fondo, de conformidad con las secciones A, B y C del anexo III.



## ANEXO V

**Criterios para la determinación del número mínimo de puntos de muestreo para la medición fija de las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente**

- A. Número mínimo de puntos de muestreo para mediciones fijas destinados a evaluar el cumplimiento de los valores límite para la protección de la salud humana y de los umbrales de alerta, en las zonas y aglomeraciones donde las mediciones fijas constituyen la única fuente de información

## 1. Fuentes difusas

Población de la aglomeración o zona (miles)	Si las concentraciones máximas superan el umbral superior de evaluación <sup>(1)</sup>		Si las concentraciones máximas se sitúan entre los umbrales superior e inferior de evaluación	
	Contaminantes excepto PM	PM <sup>(2)</sup> (suma de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> )	Contaminantes excepto PM	PM <sup>(2)</sup> (suma de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> )
0-249	1	2	1	1
250-499	2	3	1	2
500-749	2	3	1	2
750-999	3	4	1	2
1 000-1 499	4	6	2	3
1 500-1 999	5	7	2	3
2 000-2 749	6	8	3	4
2 750-3 749	7	10	3	4
3 750-4 749	8	11	3	6
4 750-5 999	9	13	4	6
≥ 6 000	10	15	4	7

<sup>(1)</sup> Para el NO<sub>2</sub>, las partículas, el benceno y el monóxido de carbono: inclúyase al menos una estación de seguimiento de fondo urbano y una estación de tráfico, siempre que ello no incremente el número de puntos de muestreo. Respecto de estos contaminantes, en cada Estado miembro el número total de estaciones de fondo urbano requeridas por la sección A.1 no podrá ser más de dos veces superior o más de dos veces inferior al número total de estaciones de tráfico requeridas por esa misma sección. Se mantendrán los puntos de muestreo con superación del valor límite para PM<sub>10</sub> durante los tres últimos años, a menos que sea necesario proceder a un traslado debido a circunstancias especiales, en particular la ordenación territorial.

<sup>(2)</sup> Cuando PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> se midan de acuerdo con el artículo 8 en la misma estación de medición, estas mediciones contarán como dos puntos de muestreo separados. El número total de puntos de muestreo de PM<sub>2,5</sub> en un Estado miembro requeridos por la sección A.1 no podrá ser más de dos veces superior o más de dos veces inferior al número total de puntos de muestreo de PM<sub>10</sub> requeridos por esa misma sección. El número de puntos de muestreo de PM<sub>2,5</sub> en ubicaciones de fondo urbano de aglomeraciones y zonas urbanas cumplirá los requisitos de la sección B del anexo V.

## 2. Fuentes puntuales

Para evaluar la contaminación a proximidad de las fuentes puntuales, el número de puntos de muestreo para mediciones fijas se calculará teniendo en cuenta las densidades de emisión, los patrones probables de distribución de la contaminación ambiental y la exposición potencial de la población.

- B. Número mínimo de puntos de muestreo para mediciones fijas destinados a evaluar el cumplimiento de los objetivos de reducción de la exposición a PM<sub>2,5</sub> para la protección de la salud humana

Se establecerá con este fin un punto de muestreo por cada millón de habitantes calculado sumando las aglomeraciones y otras zonas urbanas de más de 100 000 habitantes. Esos puntos de muestreo podrán coincidir con los contemplados en la sección A.

- C. Número mínimo de puntos de muestreo para mediciones fijas destinados a evaluar el cumplimiento de los niveles críticos para la protección de la vegetación en zonas distintas de las aglomeraciones

Si las concentraciones máximas superan el umbral superior de evaluación	Si las concentraciones máximas se sitúan entre los umbrales superior e inferior de evaluación
1 estación cada 20 000 km <sup>2</sup>	1 estación cada 40 000 km <sup>2</sup>

En las zonas insulares, el número de puntos de muestreo para mediciones fijas deberá calcularse teniendo en cuenta los patrones probables de distribución de la contaminación del aire ambiente y la exposición potencial de la vegetación.

## ANEXO VI

**Métodos de referencia para la evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), plomo, benceno, monóxido de carbono y ozono****A. Métodos de medición de referencia**1. *Método de referencia para la medición del dióxido de azufre*

El método de referencia para la medición del dióxido de azufre es el que se describe en la norma EN 14212:2005 «Calidad del aire ambiente — Método de medida para la determinación de la concentración de dióxido de azufre por fluorescencia de ultravioleta».

2. *Método de referencia para la medición del dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno*

El método de referencia para la medición del dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno es el que se describe en la norma EN 14211:2005 «Calidad del aire ambiente — Método de medida para la determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno mediante quimiluminiscencia».

3. *Método de referencia para la toma de muestras y la medición del plomo*

El método de referencia para la toma de muestras de plomo es el que se describe en la sección A, apartado 4, del presente anexo. El método de referencia para la medición del plomo es el que se describe en la norma EN 14902:2005 «Calidad del aire — Método de medida de Pb, Cd, As y Ni en la fracción PM<sub>10</sub> de la materia particulada en suspensión».

4. *Método de referencia para la toma de muestras y la medición de PM<sub>10</sub>*

El método de referencia para la toma de muestras y la medición de PM<sub>10</sub> es el que se describe en la norma EN 12341:1999 «Calidad del aire — Determinación de la fracción PM<sub>10</sub> de la materia particulada en suspensión — Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia».

5. *Método de referencia para la toma de muestras y la medición de PM<sub>2,5</sub>*

El método de referencia para la toma de muestras y la medición de PM<sub>2,5</sub> es el que se describe en la norma EN 14907:2005 «Método de medición gravimétrica para la determinación de la fracción másica PM<sub>2,5</sub> de la materia particulada en suspensión».

6. *Método de referencia para la toma de muestras y la medición del benceno*

El método de referencia para la medición del benceno es el que se describe en la norma EN 14662:2005, partes 1, 2 y 3 «Calidad del aire ambiente — Método normalizado para la medida de la concentración de benceno».

7. *Método de referencia para la medición del monóxido de carbono*

El método de referencia para la medición del monóxido de carbono es el que se describe en la norma EN 14626:2005 «Calidad del aire ambiente — Método de medición para la determinación del monóxido de carbono en el aire ambiente mediante el método de espectrometría infrarroja no dispersiva».

8. *Método de referencia para la medición del ozono*

El método de referencia para la medición del ozono es el que se describe en la norma EN 14625:2005 «Calidad del aire ambiente — Método de medida para la determinación de ozono en el aire ambiente mediante el método por fotometría ultravioleta».

**B. Demostración de la equivalencia**

1. Los Estados miembros podrán emplear cualquier otro método si pueden demostrar que genera resultados equivalentes a cualquiera de los métodos a que se refiere la sección A o, en el caso de las partículas, que guarda una relación coherente con el método de referencia. En tal caso, los resultados obtenidos con dicho método deberán corregirse para producir resultados equivalentes a los que se habrían obtenido con el método de referencia.

2. La Comisión podrá solicitar a los Estados miembros que preparen y presenten un informe de demostración de equivalencia con arreglo al apartado 1.
3. Al examinar la admisibilidad del informe mencionado en el apartado 2, la Comisión se referirá a sus propias directrices sobre demostración de equivalencia (pendientes de publicación). Cuando los Estados miembros hayan utilizado factores provisionales para aproximar la equivalencia, estos factores deberán confirmarse y/o modificarse en relación con las directrices de la Comisión.
4. Los Estados miembros se asegurarán de que, cuando así proceda, las correcciones se apliquen también retroactivamente a los resultados de mediciones pasadas para conseguir una mayor comparabilidad de los datos.

#### C. Normalización

En el caso de los contaminantes gaseosos, el volumen deberá normalizarse a una temperatura de 293 K y una presión atmosférica de 101,3 kPa. En el caso de las partículas y las sustancias que deben analizarse en la fase de partículas (por ejemplo, el plomo) el volumen de muestreo expresará las condiciones ambientales en términos de temperatura y presión atmosférica en el momento de las mediciones.

#### D. Introducción de nuevos equipos

Todo nuevo equipo adquirido para la aplicación de la presente Directiva deberá ser conforme con el método de referencia o equivalente a más tardar el 11 de junio de 2010.

Todo el equipo utilizado en mediciones fijas deberá ser conforme con el método de referencia o equivalente a más tardar el 11 de junio de 2013.

#### E. Reconocimiento mutuo de datos

Al proceder a la homologación para demostrar que el equipo cumple los requisitos de rendimiento de los métodos de referencia enumerados en la sección A, las autoridades y los organismos competentes designados de conformidad con el artículo 3 aceptarán los informes de los ensayos elaborados en otros Estados miembros por laboratorios acreditados según la norma EN ISO 17025 para proceder a dichos ensayos.

## ANEXO VII

## VALORES OBJETIVO Y OBJETIVOS A LARGO PLAZO PARA EL OZONO

## A. Definiciones y criterios

## 1. Definiciones

AOT40 [expresado en ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) · horas] significa la suma de las diferencias entre las concentraciones horarias superiores a  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (= 40 partes por mil millones) y  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un período determinado, utilizando únicamente los valores horarios medidos diariamente entre las 8.00 y las 20.00, hora central europea (CET).

## 2. Criterios

Para asegurar su validez, al agregar los datos y calcular los parámetros estadísticos se aplicarán los criterios siguientes:

Parámetro	Porcentaje requerido de datos válidos
Valores horarios	75 % (es decir, 45 minutos)
Valores octohorarios	75 % de los valores (es decir, 6 horas)
Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	75 % de las medias octohorarias móviles calculadas a partir de datos horarios (es decir, 18 medias octohorarias móviles calculadas a partir de datos actualizados cada hora)
AOT40	90 % de los valores horarios durante el período definido para el cálculo del valor AOT40 <sup>(1)</sup>
Media anual	75 % de los valores horarios durante el verano (abril a septiembre) y 75 % durante el invierno (enero a marzo, octubre a diciembre), respectivamente
Número de superaciones y valores máximos mensuales	90 % de las máximas diarias de las medias móviles octohorarias (27 valores cotidianos disponibles al mes) 90 % de los valores horarios entre las 8.00 y las 20.00 CET
Número de superaciones y valores máximos anuales	Cinco de los seis meses del período estival (abril a septiembre)

<sup>(1)</sup> En los casos en que no se disponga de todos los datos medidos posibles, se utilizará el factor siguiente para calcular los valores AOT40:

$$\text{AOT40}_{\text{estimada}} = \text{AOT40}_{\text{medida}} \times \frac{\text{número total posible de horas}^{(*)}}{\text{número de valores horarios medidos}}$$

<sup>(\*)</sup> Número de horas dentro del período temporal utilizado en la definición de la AOT40 (es decir entre las 8.00 y las 20.00 CET, entre el 1 de mayo y el 31 de julio de cada año, para la protección de la vegetación, y del 1 de abril al 30 de septiembre de cada año para la protección de los bosques).

## B. Valores objetivo

Objetivo	Período de promedio	Valor objetivo	Fecha en la que debe cumplirse <sup>(1)</sup>
Protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias <sup>(2)</sup>	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : no podrá superarse más de 25 días por año civil, promediados en un período de tres años <sup>(3)</sup>	1.1.2010
Protección de la vegetación	Mayo a julio	AOT40 (calculada a partir de valores horarios) $18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ promediados en un período de cinco años <sup>(3)</sup>	1.1.2010

<sup>(1)</sup> El cumplimiento de los valores objetivo se evaluará a partir de esta fecha. Es decir, 2010 será el primer año cuyos datos se utilicen para calcular el cumplimiento durante los tres o cinco años siguientes, según corresponda.

<sup>(2)</sup> La concentración máxima diaria de las medias móviles octohorarias se determinará examinando las medias octohorarias móviles, calculadas a partir de datos horarios y actualizadas cada hora. Cada media octohoraria calculada de ese modo se asignará al día en que concluya el período; dicho de otro modo, el primer período de cálculo para cualquier día será el comprendido entre las 17.00 horas de la víspera y la 1.00 hora de ese día, y el último período de cálculo para cualquier día será el comprendido entre las 16.00 y las 24.00 horas de ese día.

<sup>(3)</sup> Si los promedios de tres o cinco años no pueden determinarse a partir de una serie completa y consecutiva de datos anuales, los datos anuales mínimos requeridos para comprobar el cumplimiento de los valores objetivos serán los siguientes:

- valor objetivo para la protección de la salud humana: datos válidos para un año,
- valor objetivo para la protección de la vegetación: datos válidos para tres años.

## C. Objetivos a largo plazo

Objetivo	Período de promedio	Valor objetivo	Fecha en la que el objetivo a largo plazo debe cumplirse
Protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias dentro de un año civil	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	no definida
Protección de la vegetación	Mayo a julio	AOT40 (calculada a partir de valores horarios) 6 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	no definida

## ANEXO VIII

## CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE OZONO

Se aplicarán a las mediciones fijas las indicaciones siguientes:

## A. Macroimplantación

Tipo de estación	Objetivos de la medición	Representatividad (*)	Criterios de macroimplantación
Urbana	Protección de la salud humana: evaluar la exposición de la población urbana al ozono, es decir, en las zonas cuyas densidad de población y concentración de ozono sean relativamente elevadas y representativas de la exposición de la población en general	Algunos km <sup>2</sup>	Lejos de la influencia de las emisiones locales debidas al tráfico, las gasolineras, etc.; ubicaciones ventiladas donde pueda medirse una mezcla adecuada de sustancias; ubicaciones como zonas residenciales y comerciales urbanas, parques (lejos de los árboles), grandes calles o plazas de tráfico escaso o nulo, espacios abiertos característicos de las instalaciones educativas, deportivas o recreativas.
Suburbana	Protección de la salud humana y la vegetación: evaluar la exposición de la población y la vegetación en las afueras de las aglomeraciones, donde se encuentren los mayores niveles de ozono a los que la población y la vegetación tengan más probabilidad de hallarse directa o indirectamente expuestas	Algunas decenas de km <sup>2</sup>	A cierta distancia, a sotavento de las zonas de emisiones máximas, siguiendo la dirección(es) dominante del viento en condiciones favorables a la formación de ozono; lugares donde la población, los cultivos sensibles o los ecosistemas naturales ubicados en los márgenes de una aglomeración estén expuestos a elevados niveles de ozono; cuando así proceda, algunas estaciones suburbanas podrán situarse a barlovento de la zona de emisiones máximas con el fin de determinar los niveles regionales de fondo de ozono.
Rural	Protección de la salud humana y la vegetación: evaluar la exposición de la población, los cultivos y los ecosistemas naturales a las concentraciones de ozono a escala sub-regional	Niveles subregionales (algunos cientos de km <sup>2</sup> )	Las estaciones podrán situarse en pequeños emplazamientos y/o en áreas con ecosistemas naturales, bosques o cultivos; áreas representativas respecto del ozono lejos de la influencia de emisiones locales inmediatas como las instalaciones industriales o las carreteras; pueden situarse en espacios abiertos pero no en las cumbres de montaña de gran altura.
Rural de fondo	Protección de la vegetación y la salud humana: evaluar la exposición de los cultivos y los ecosistemas naturales a las concentraciones de ozono a escala regional, así como la exposición de la población	Niveles regionales/ nacionales/ continentales (1 000 a 10 000 km <sup>2</sup> )	Estaciones situadas en zonas de baja densidad de población, por ejemplo, con ecosistemas naturales o bosques, a una distancia de 20 km como mínimo de las zonas urbanas e industriales y alejadas de las fuentes de emisiones locales; deben evitarse las zonas donde se produzcan con frecuencia fenómenos de inversión térmica, así como las cumbres de montaña de gran altura; no se recomiendan los emplazamientos costeros con ciclos eólicos diurnos pronunciados.

(\*) En la medida de lo posible, los puntos de muestreo deberán ser representativos de lugares similares que no se hallen a proximidad inmediata.

Cuando proceda, la ubicación de las estaciones rurales y rurales de fondo deberá coordinarse con los requisitos de seguimiento del Reglamento (CE) n° 1737/2006 de la Comisión, de 7 de noviembre de 2006, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n° 2152/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el seguimiento de los bosques y de las interacciones medioambientales en la Comunidad (Forest Focus) (1).

(1) DO L 334 de 30.11.2006, p. 1.

**B. Microimplantación**

En la medida de lo posible, se seguirá el procedimiento de micromplantación descrito en la sección C del anexo III, asegurando asimismo que el punto de entrada de muestreo se sitúe lejos de fuentes de emisiones como chimeneas de hornos y plantas de incineración y a más de 10 m de la carretera más cercana, y tanto más alejada cuanto mayor sea la intensidad del tráfico.

**C. Documentación y reevaluación de la elección de los emplazamientos**

Se seguirán los procedimientos de la sección D del anexo III, asegurándose además la adecuada selección e interpretación de los datos de seguimiento en el contexto de los procesos meteorológico y fotoquímico que afecten a las concentraciones de ozono medidas en los emplazamientos correspondientes.

## ANEXO IX

**CRITERIOS PARA DETERMINAR EL NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE MUESTREO PARA LA MEDICIÓN FIJA DE LAS CONCENTRACIONES DE OZONO**

- A. Número mínimo de puntos de muestreo para mediciones fijas continuas destinados a evaluar el cumplimiento de los valores objetivo, los objetivos a largo plazo y los umbrales de alerta e información cuando esas mediciones sean la única fuente de información

Población ( $\times 1\ 000$ )	Aglomeraciones (urbanas y suburbanas) <sup>(1)</sup>	Otras zonas (suburbanas y rurales) <sup>(1)</sup>	Rural de fondo
< 250		1	1 estación/50 000 km <sup>(2)</sup> en todas las zonas de cada país <sup>(2)</sup> como promedio
< 500	1	2	
< 1 000	2	2	
< 1 500	3	3	
< 2 000	3	4	
< 2 750	4	5	
< 3 750	5	6	
> 3 750	1 estación por cada 2 millones de habitantes	1 estación por cada 2 millones de habitantes	

<sup>(1)</sup> Al menos 1 estación en las zonas suburbanas donde sea probable que se registre la exposición más elevada de la población. En las aglomeraciones, al menos un 50 % de las estaciones deberán situarse en zonas suburbanas.

<sup>(2)</sup> Se recomienda 1 estación por cada 25 000 km<sup>2</sup> en los terrenos accidentados.

- B. Número mínimo de puntos de muestreo para mediciones fijas en las zonas y aglomeraciones que alcancen los objetivos a largo plazo

El número de puntos de muestreo de ozono deberá ser suficiente, en combinación con otros medios de evaluación suplementaria como la modelización de la calidad del aire y las mediciones de dióxido de nitrógeno en el mismo lugar, para examinar la evolución de la contaminación por ozono y controlar el cumplimiento de los objetivos a largo plazo. El número de estaciones ubicadas en las aglomeraciones y otras zonas podrá reducirse a una tercera parte del número especificado en la sección A. Cuando la información procedente de las estaciones de mediciones fijas sea la única fuente de información, se mantendrá al menos una estación de vigilancia. Si, en las zonas en las que exista una evaluación suplementaria, el resultado de ello fuera que una zona quedase desprovista de estación, se deberá garantizar una evaluación adecuada de las concentraciones de ozono en relación con los objetivos a largo plazo, mediante una coordinación con las estaciones de las zonas vecinas. El número de estaciones rurales de fondo deberá ser de 1 por cada 100 000 km<sup>2</sup>.



## ANEXO X

## MEDICIONES DE LAS SUSTANCIAS PRECURSORAS DEL OZONO

## A. Objetivos

Los objetivos principales de esas mediciones son analizar la evolución de los precursores del ozono, comprobar la eficacia de las estrategias de reducción de las emisiones y la coherencia de los inventarios de emisiones y contribuir a establecer conexiones entre las fuentes de emisiones y las concentraciones de contaminación observadas.

Otro fin que se persigue con las mediciones es reforzar los conocimientos sobre la formación de ozono y los procesos de dispersión de los precursores, así como la aplicación de modelos fotoquímicos.

## B. Sustancias

Entre las sustancias precursoras que deberán medirse figurarán al menos los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) que corresponda. A continuación figura una lista de los compuestos orgánicos volátiles cuya medición se recomienda:

	1-Buteno	Isopreno	Etilbenceno
Etano	Trans-2-Buteno	n-Hexano	m + p-Xileno
Etileno	cis-2-Buteno	i-Hexano	o-Xileno
Acetileno	1,3-Butadieno	n-Heptano	1,2,4-Trimetilbenceno
Propano	n-Pentano	n-Octano	1,2,3-Trimetilbenceno
Propeno	i-Pentano	i-Octano	1,3,5-Trimetilbenceno
n-Butano	1-Penteno	Benceno	Formaldehído
i-Butano	2-Penteno	Tolueno	Hidrocarburos totales no metánicos

## C. Implantación

Las mediciones deberán efectuarse sobre todo en zonas urbanas o suburbanas, en cualquier estación de seguimiento establecida en cumplimiento con las disposiciones de la presente Directiva y considerada adecuada en relación con los objetivos de seguimiento a que se refiere la sección A.

## ANEXO XI

## VALORES LÍMITE PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA

## A. Criterios

Sin perjuicio de lo dispuesto en el anexo I, para asegurar su validez, al agregar los datos y calcular los parámetros estadísticos se aplicarán los criterios siguientes:

Parámetro	Porcentaje requerido de datos válidos
Valores horarios	75 % (es decir 45 minutos)
Valores octohorarios	75 % de los valores (es decir, 6 horas)
Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	75 % de las medias octohorarias móviles calculadas a partir de datos horarios (es decir, 18 medias octohorarias móviles calculadas a partir de datos actualizados cada hora)
Valores correspondientes a 24 horas	75 % de las medias horarias (es decir, valores correspondientes a 18 horas como mínimo)
Media anual	90 % <sup>(1)</sup> de los valores horarios o (si no están disponibles) de los valores correspondientes a 24 horas a lo largo del año

<sup>(1)</sup> Los requisitos para el cálculo de la media anual no incluyen las pérdidas de datos debidas a la calibración periódica o el mantenimiento normal de la instrumentación.

## B. Valores límite

Período medio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha en la que debe alcanzarse
<b>Dióxido de azufre</b>			
1 hora	350 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 24 veces por año civil	150 µg/m <sup>3</sup> (43 %)	<sup>(1)</sup>
1 día	125 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 3 veces por año civil	Ninguno	<sup>(1)</sup>
<b>Dióxido de nitrógeno</b>			
1 hora	200 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 18 veces por año civil	50 % a 19 de julio de 1999, valor que se reducirá el 1 de enero de 2001 y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes anuales idénticos, hasta alcanzar un 0 % el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
Año civil	40 µg/m <sup>3</sup>	50 % a 19 de julio de 1999, valor que se reducirá el 1 de enero de 2001 y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes anuales idénticos, hasta alcanzar un 0 % el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
<b>Benceno</b>			
Año civil	5 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup> (100 %) a 13 de diciembre de 2000, porcentaje que se reducirá el 1 de enero de 2006 y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en 1 µg/m <sup>3</sup> hasta alcanzar un 0 % el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
<b>Monóxido de carbono</b>			
Máxima diaria de las medias móviles octohorarias <sup>(2)</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	60 %	<sup>(1)</sup>

Período medio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha en la que debe alcanzarse
<b>Plomo</b>			
Año civil	0,5 µg/m <sup>3</sup> <sup>(3)</sup>	100 %	<sup>(3)</sup>
<b>PM<sub>10</sub></b>			
1 día	50 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil	50 %	<sup>(1)</sup>
Año civil	40 µg/m <sup>3</sup>	20 %	<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005.

<sup>(2)</sup> La concentración máxima diaria de las medias móviles octohorarias se determinará examinando las medias octohorarias móviles, calculadas a partir de los datos horarios y actualizadas cada hora. Cada media octohoraria calculada de ese modo se asignará al día en que concluya; dicho de otro modo, el primer período utilizado para el cálculo en cualquier día será el comprendido entre las 17.00 horas de la víspera y la 1.00 hora de ese día, y el último período utilizado para cualquier día será el comprendido entre las 16.00 y las 24.00 horas de ese día.

<sup>(3)</sup> Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005. Valor límite que ha de cumplirse a más tardar el 1 de enero de 2010 en las inmediaciones de fuentes industriales específicas situadas en lugares contaminados a lo largo de decenios de actividad industrial. En tales casos, el valor límite hasta el 1 de enero de 2010 será de 1,0 µg/m<sup>3</sup>. La zona en que sean aplicables valores límite superiores no sobrepasará un radio de 1 000 metros a contar de dichas fuentes específicas.

## ANEXO XII

## UMBRALES DE INFORMACIÓN Y DE ALERTA

## A. Umbrales de alerta para los contaminantes distintos del ozono

Deberán medirse durante 3 horas consecutivas en lugares representativos de la calidad del aire en un área de al menos 100 km<sup>2</sup> o en una zona o aglomeración entera, si esta última superficie es menor.

Contaminante	Umbral de alerta
Dióxido de azufre	500 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de nitrógeno	400 µg/m <sup>3</sup>

## B. Umbrales de información y de alerta para el ozono

Objeto	Período medio	Umbral
Información	1 hora	180 µg/m <sup>3</sup>
Alerta	1 hora <sup>(1)</sup>	240 µg/m <sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Para la aplicación del artículo 24, la superación del umbral deberá medirse o estar previsto durante 3 horas consecutivas.

## ANEXO XIII

## NIVELES CRÍTICOS PARA LA PROTECCIÓN DE LA VEGETACIÓN

Período medio	Nivel crítico	Margen de tolerancia
Dióxido de azufre		
Año civil e invierno (1 de octubre a 31 de marzo)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ninguno
Óxidos de nitrógeno		
Año civil	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{NO}_x$	Ninguno

## ANEXO XIV

**OBJETIVO NACIONAL DE REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN, VALOR OBJETIVO  
Y VALOR LÍMITE PARA LAS PM<sub>2,5</sub>**

**A. Indicador de la exposición media**

El indicador de la exposición media, expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (IEM), deberá basarse en las mediciones efectuadas en ubicaciones de fondo urbano de distintas zonas y aglomeraciones del territorio de cada Estado miembro. Se evaluará como concentración media móvil trienal, promediada en todos los puntos de muestreo establecidos con arreglo a la sección B del anexo V. El IEM para el año de referencia 2010 será la concentración media de los años 2008, 2009 y 2010.

No obstante, cuando no se disponga de datos para 2008, los Estados miembros podrán utilizar la concentración media de los años 2009 y 2010 o la de los años 2009, 2010 y 2011. Los Estados miembros, teniendo en cuenta estas posibilidades, comunicarán su decisión a la Comisión a más tardar el 11 de septiembre de 2008.

El IEM para el año 2020 será la concentración media móvil trienal, promediada en todos esos puntos de muestreo para los años 2018, 2019 y 2020. Se utilizará el IEM para examinar si se ha conseguido el objetivo nacional de reducción de la exposición.

El IEM para el año 2015 será la concentración media móvil trienal, promediada en todos esos puntos de muestreo para los años 2013, 2014 y 2015. Se utilizará el IEM para examinar si se ha respetado la obligación en materia de concentración de la exposición.

**B. Objetivo nacional de reducción de la exposición**

Objetivo de reducción de la exposición en relación con el IEM en 2010		Año en el que debe alcanzarse el objetivo de reducción de la exposición
Concentración inicial en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objetivo de reducción en %	2020
< 8,5 = 8,5	0 %	
> 8,5 a < 13	10 %	
= 13 a < 18	15 %	
= 18 a < 22	20 %	
$\geq 22$	Todas las medidas adecuadas para alcanzar el nivel de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Cuando el IEM, expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en el año de referencia sea igual o inferior a  $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el objetivo de reducción de la exposición será cero. El objetivo de reducción también será cero en los casos en que el IEM alcance el nivel de  $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en cualquier momento durante el período comprendido entre 2010 y 2020 y se mantenga a dicho nivel o por debajo de él.

**C. Obligación en materia de concentración de la exposición**

Obligación en materia de concentración de la exposición	Año en que debe alcanzarse el valor de la obligación
$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2015

**D. Valor objetivo**

Periodo medio	Valor objetivo	Fecha en que debe alcanzarse el valor objetivo
Año civil	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 de enero de 2010

## E. Valor límite

Periodo medio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha en que debe alcanzarse el valor límite
FASE 1			
Año civil	25 µg/m <sup>3</sup>	20 % el 11 de junio de 2008, que se reducirá el 1 de enero siguiente y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes idénticos anuales hasta alcanzar un 0 % el 1 de enero de 2015	1 de enero de 2015
FASE 2 <sup>(1)</sup>			
Año civil	20 µg/m <sup>3</sup>		1 de enero de 2020

(<sup>1</sup>) Fase 2: valor límite indicativo que será revisado por la Comisión en 2013 a la luz de informaciones suplementarias sobre los efectos sobre la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia obtenida con el valor objetivo en los Estados miembros.

## ANEXO XV

**INFORMACIÓN QUE DEBE INCLUIRSE EN LOS PLANES DE CALIDAD DEL AIRE LOCALES, REGIONALES  
O NACIONALES DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE****A. Información que debe presentarse en virtud del artículo 23 (planes de calidad del aire)**1. *Ubicación del exceso de contaminación*

- a) región;
- b) ciudad (mapa);
- c) estación de medición (mapa, coordenadas geográficas).

2. *Información general*

- a) tipo de zona (urbana, industrial o rural);
- b) estimación de la superficie contaminada (km<sup>2</sup>) y de la población expuesta a la contaminación;
- c) datos climáticos útiles;
- d) datos topográficos pertinentes;
- e) información suficiente sobre el tipo de objetivos que requieren protección en la zona.

3. *Autoridades responsables*

Nombre y dirección de los responsables del desarrollo y la ejecución de los planes de mejora.

4. *Naturaleza y evaluación de la contaminación*

- a) concentraciones observadas en los últimos años (antes de la aplicación de las medidas de mejora);
- b) concentraciones medidas desde el inicio del proyecto;
- c) técnicas de evaluación empleadas.

5. *Origen de la contaminación*

- a) lista de las principales fuentes de emisiones responsables de la contaminación (mapa);
- b) cantidad total de emisiones procedentes de esas fuentes (toneladas/año);
- c) información sobre la contaminación importada de otras regiones.

6. *Análisis de la situación*

- a) precisiones acerca de los factores responsables de la superación (por ejemplo, el transporte, incluido el transporte transfronterizo, o la formación de contaminantes secundarios en la atmósfera);
- b) precisiones acerca de las posibles medidas de mejora de la calidad del aire.

7. *Información sobre las medidas o proyectos de mejora existentes antes del 11 de junio de 2008, es decir:*

- a) medidas locales, regionales, nacionales e internacionales;
- b) efectos observados de esas medidas.



8. *Información sobre las medidas o proyectos de reducción de la contaminación aprobados después de la entrada en vigor de la presente Directiva*
  - a) lista y descripción de todas las medidas recogidas en el proyecto;
  - b) calendario de ejecución;
  - c) estimaciones acerca de la mejora de la calidad del aire prevista y del plazo necesario para la consecución de esos objetivos.
9. *Información sobre las medidas o proyectos planeados o en fase de investigación a largo plazo*
10. *Lista de las publicaciones, documentos, actividades, etc., utilizados como complemento de la información solicitada con arreglo al presente anexo*

**B. Información que debe presentarse en virtud del artículo 22, apartado 1**

1. Toda la información indicada en la sección A
2. Información relativa al estado de aplicación de las Directivas siguientes:
  - 1) Directiva 70/220/CEE del Consejo, de 20 de marzo de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor <sup>(1)</sup>.
  - 2) Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio <sup>(2)</sup>.
  - 3) Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación <sup>(3)</sup>.
  - 4) Directiva 97/68/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1997, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre medidas contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de los motores de combustión interna que se instalen en las máquinas móviles no de carretera <sup>(4)</sup>.
  - 5) Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 1998, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo <sup>(5)</sup>.
  - 6) Directiva 1999/13/CE del Consejo, de 11 de marzo de 1999, relativa a la limitación de compuestos orgánicos volátiles debida al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones <sup>(6)</sup>.
  - 7) Directiva 1999/32/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos <sup>(7)</sup>.
  - 8) Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos <sup>(8)</sup>.
  - 9) Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión.
  - 10) Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.

<sup>(1)</sup> DO L 76 de 6.4.1970, p. 1. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2006/96/CE (DO L 363 de 20.12.2006, p. 81).

<sup>(2)</sup> DO L 365 de 31.12.1994, p. 24. Directiva modificada por el Reglamento (CE) n° 1882/2003 (DO L 284 de 31.10.2003, p. 1).

<sup>(3)</sup> DO L 24 de 29.1.2008, p. 8.

<sup>(4)</sup> DO L 59 de 27.2.1998, p. 1. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2006/105/CE.

<sup>(5)</sup> DO L 350 de 28.12.1998, p. 58. Directiva modificada por el Reglamento (CE) n° 1882/2003.

<sup>(6)</sup> DO L 85 de 29.3.1999, p. 1. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 143 de 30.4.2004, p. 87).

<sup>(7)</sup> DO L 121 de 11.5.1999, p. 13. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 191 de 22.7.2005, p. 59).

<sup>(8)</sup> DO L 332 de 28.12.2000, p. 91.

- 11) Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos <sup>(1)</sup>.
  - 12) Directiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 2005, por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo <sup>(2)</sup>.
  - 13) Directiva 2005/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de septiembre de 2005, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores de encendido por compresión destinados a la propulsión de vehículos, y contra la emisión de gases contaminantes procedentes de motores de encendido por chispa alimentados con gas natural o gas licuado del petróleo destinados a la propulsión de vehículos <sup>(3)</sup>.
  - 14) Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos <sup>(4)</sup>.
3. Información acerca de todas las medidas de reducción de la contaminación cuya aplicación se haya considerado al nivel local, regional o nacional correspondiente para la consecución de los objetivos de calidad del aire, incluidas las siguientes:
- a) reducción de las emisiones procedentes de fuentes fijas, disponiendo que las pequeñas y medianas fuentes de combustión fijas contaminantes (incluidas las de biomasa) estén equipadas con sistemas de control de las emisiones o sean sustituidas;
  - b) reducción de las emisiones de los vehículos mediante su acondicionamiento con equipos de control de las emisiones. Debería considerarse la posibilidad de ofrecer incentivos económicos para acelerar el ritmo de aplicación de esta medida;
  - c) adjudicación pública conforme a la guía sobre contratación pública ecológica de vehículos de carretera, combustibles y equipamientos de combustión, incluida la compra de:
    - vehículos nuevos, especialmente de bajas emisiones,
    - servicios de transporte en vehículos menos contaminantes,
    - fuentes de combustión fijas de bajas emisiones,
    - combustibles de bajas emisiones para fuentes fijas y móviles;
  - d) medidas destinadas a limitar las emisiones procedentes del transporte mediante la planificación y la gestión del tráfico (incluida la tarificación de la congestión, la adopción de tarifas de aparcamiento diferenciadas y otros incentivos económicos; establecimiento de «zonas de bajas emisiones»);
  - e) medidas destinadas a fomentar un mayor uso de los modos menos contaminantes;
  - f) medidas destinadas a garantizar el uso de combustibles de bajas emisiones en las fuentes fijas pequeñas, medianas y grandes y en las fuentes móviles;
  - g) medidas destinadas a reducir la contaminación atmosférica mediante la concesión de permisos con arreglo a la Directiva 2008/1/CE, el establecimiento de planes nacionales conforme a la Directiva 2001/80/CE y el uso de instrumentos económicos como impuestos, cánones o comercio de derechos de emisión;
  - h) en su caso, medidas destinadas a proteger la salud de los niños o de otros grupos vulnerables.

<sup>(1)</sup> DO L 143 de 30.4.2004, p. 87.

<sup>(2)</sup> DO L 191 de 22.7.2005, p. 59.

<sup>(3)</sup> DO L 275 de 20.10.2005, p. 1. Directiva modificada en último lugar por el Reglamento (CE) n° 715/2007 (DO L 171 de 29.6.2007, p. 1).

<sup>(4)</sup> DO L 114 de 27.4.2006, p. 64.

## ANEXO XVI

## INFORMACIÓN AL PÚBLICO

1. Los Estados miembros velarán por que se ponga periódicamente a disposición del público información actualizada sobre las concentraciones en el aire ambiente de los contaminantes cubiertos por la presente Directiva.
2. Las concentraciones en el aire ambiente se presentarán como valores medios para el período de cálculo de la media correspondiente establecido en el anexo VII y en los anexos XI a XIV. La información abarcará, como mínimo, todos los niveles que excedan de los objetivos de calidad del aire, incluidos los valores límite, los valores objetivo, los umbrales de alerta, los umbrales de información o los objetivos a largo plazo del contaminante regulado. Incluirá asimismo una breve evaluación en relación con los objetivos de calidad del aire, y la información apropiada en cuanto a los efectos sobre la salud y, cuando así proceda, la vegetación.
3. La información sobre las concentraciones en el aire ambiente de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, partículas (al menos  $PM_{10}$ ), ozono y monóxido de carbono se actualizará al menos diariamente y, cuando sea factible, cada hora. La información relativa a las concentraciones en el aire ambiente de plomo y benceno, presentadas como valor medio de los 12 meses anteriores, se actualizará cada tres meses y, cuando sea factible, cada mes.
4. Los Estados miembros velarán por que se ponga periódicamente a disposición del público información oportuna sobre las superaciones registradas o previstas de los umbrales de alerta y de información. Entre los datos facilitados figurarán por lo menos los siguientes:
  - a) información sobre la superación o superaciones observadas:
    - ubicación de la zona donde se ha producido la superación,
    - tipo de umbral superado (información o alerta),
    - hora de inicio y duración de la superación,
    - concentración unihoraria más elevada, acompañada, en el caso del ozono, de la concentración media octohoraria más elevada;
  - b) previsiones para la tarde siguiente o el día o días siguientes:
    - zona geográfica donde estén previstos las superaciones de los umbrales de información o alerta,
    - cambios previstos en la contaminación (mejora, estabilización o empeoramiento), junto con los motivos de esos cambios;
  - c) información sobre el tipo de población afectada, los posibles efectos para la salud y el comportamiento recomendado:
    - información sobre los grupos de población de riesgo,
    - descripción de los síntomas probables,
    - recomendaciones sobre las precauciones que debe tener la población afectada,
    - fuentes de información suplementaria;
  - d) información sobre las medidas preventivas destinadas a reducir la contaminación y/o la exposición a la misma: indicación de los principales sectores de fuentes de contaminación; recomendaciones de medidas para reducir las emisiones;
  - e) en el caso de las superaciones previstas, los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para asegurar que esos datos se faciliten en la mayor medida posible.

## ANEXO XVII

## TABLA DE CORRESPONDENCIAS

Presente Directiva	Directiva 96/62/CE	Directiva 1999/30/CE	Directiva 2000/69/CE	Directiva 2002/3/CE
Artículo 1	Artículo 1	Artículo 1	Artículo 1	Artículo 1
Artículo 2, apartados 1 a 5	Artículo 2, apartados 1 a 5	—	—	—
Artículo 2, apartados 6 y 7	—	—	—	—
Artículo 2, apartado 8	Artículo 2, apartado 8	Artículo 2, apartado 7	—	—
Artículo 2, apartado 9	Artículo 2, apartado 6	—	—	Artículo 2, apartado 9
Artículo 2, apartado 10	Artículo 2, apartado 7	Artículo 2, apartado 6	—	Artículo 2 apartado 11
Artículo 2, apartado 11	—	—	—	Artículo 2, apartado 12
Artículo 2, apartados 12 y 13	—	Artículo 2, apartados 13 y 14	Artículo 2, letras a) y b)	—
Artículo 2, apartado 14	—	—	—	Artículo 2, apartado 10
Artículo 2, apartados 15 y 16	Artículo 2, apartados 9 y 10	Artículo 2, apartados 8 y 9	—	Artículo 2, apartados 7 y 8
Artículo 2, apartados 17 y 18	—	Artículo 2, apartados 11 y 12	—	—
Artículo 2, apartados 19, 20, 21, 22 y 23	—	—	—	—
Artículo 2, apartado 24	—	Artículo 2, apartado 10	—	—
Artículo 2, apartados 25 y 26	Artículo 6, apartado 5	—	—	—
Artículo 2, apartado 27	—	—	—	Artículo 2, apartado 13
Artículo 2, apartado 28	—	—	—	Artículo 2, apartado 3
Artículo 3, con excepción del apartado 1, letra f)	Artículo 3	—	—	—
Artículo 3, apartado 1, letra f)	—	—	—	—
Artículo 4	Artículo 2, apartados 9 y 10, artículo 6, apartado 1	—	—	—
Artículo 5	—	Artículo 7, apartado 1	Artículo 5, apartado 1	—
Artículo 6, apartados 1 a 4	Artículo 6, apartados 1 a 4	—	—	—
Artículo 6, apartado 5	—	—	—	—
Artículo 7	—	Artículo 7, apartados 2 y 3 con modificaciones	Artículo 5, apartados 2 y 3, con modificaciones	—
Artículo 8	—	Artículo 7, apartado 5	Artículo 5, apartado 5	—
Artículo 9	—	—	—	Artículo 9, apartado 1, párrafos primero y segundo
Artículo 10	—	—	—	Artículo 9, apartados 1 a 3, con modificaciones
Artículo 11, apartado 1	—	—	—	Artículo 9, apartado 4
Artículo 11, apartado 2	—	—	—	—
Artículo 12	Artículo 9	—	—	—
Artículo 13, apartado 1	—	Artículos 3, apartado 1, 4, apartado 1, 5, apartado 1 y 6	Artículos 3, apartado 1, y 4	—

Presente Directiva	Directiva 96/62/CE	Directiva 1999/30/CE	Directiva 2000/69/CE	Directiva 2002/3/CE
Artículo 13, apartado 2	—	Artículos 3, apartado 2, y 4, apartado 2	—	—
Artículo 13, apartado 3	—	Artículo 5, apartado 5	—	—
Artículo 14	—	Artículos 3, apartado 1, y 4, apartado 1, con modificaciones	—	—
Artículo 15	—	—	—	—
Artículo 16	—	—	—	—
Artículo 17, apartado 1	—	—	—	Artículos 3, apartado 1, y 4, apartado 1
Artículo 17, apartado 2	—	—	—	Artículo 3, apartados 2 y 3
Artículo 17, apartado 3	—	—	—	Artículo 4, apartado 2
Artículo 18	—	—	—	Artículo 5
Artículo 19	Artículo 10 con modificaciones	Artículo 8, apartado 3	—	Artículo 6 con modificaciones
Artículo 20	—	Artículos 3, apartado 4, y 5, apartado 4, con modificaciones	—	—
Artículo 21	—	—	—	—
Artículo 22	—	—	—	—
Artículo 23	Artículo 8, apartados 1 a 4, con modificaciones	—	—	—
Artículo 24	Artículo 7, apartado 3, con modificaciones	—	—	Artículo 7 con modificaciones
Artículo 25	Artículo 8, apartado 5, con modificaciones	—	—	Artículo 8 con modificaciones
Artículo 26	—	Artículo 8 con modificaciones	Artículo 7 con modificaciones	Artículo 6 con modificaciones
Artículo 27	Artículo 11 con modificaciones	Artículo 5, apartado 2, párrafo segundo	—	Artículo 10 con modificaciones
Artículo 28, apartado 1	Artículo 12, apartado 1, con modificaciones	—	—	—
Artículo 28, apartado 2	Artículo 11 con modificaciones	—	—	—
Artículo 28, apartado 3	—	—	—	—
Artículo 28, apartado 4	—	Anexo IX con modificaciones	—	—
Artículo 29	Artículo 12, apartado 2	—	—	—
Artículo 30	—	Artículo 11	Artículo 9	Artículo 14
Artículo 31	—	—	—	—
Artículo 32	—	—	—	—
Artículo 33	Artículo 13	Artículo 12	Artículo 10	Artículo 15
Artículo 34	Artículo 14	Artículo 13	Artículo 11	Artículo 17
Artículo 35	Artículo 15	Artículo 14	Artículo 12	Artículo 18
Anexo I	—	Anexo VIII con modificaciones	Anexo VI	Anexo VII
Anexo II	—	Anexo V con modificaciones	Anexo III	—
Anexo III	—	Anexo VI	Anexo IV	—

Presente Directiva	Directiva 96/62/CE	Directiva 1999/30/CE	Directiva 2000/69/CE	Directiva 2002/3/CE
Anexo IV	—	—	—	—
Anexo V	—	Anexo VII con modificaciones	Anexo V	—
Anexo VI	—	Anexo IX con modificaciones	Anexo VII	Anexo VIII
Anexo VII	—	—	—	Anexo I y anexo III, sección II
Anexo VIII	—	—	—	Anexo IV
Anexo IX	—	—	—	Anexo V
Anexo X	—	—	—	Anexo VI
Anexo XI	—	Anexo I, sección I; anexo II, sección I, y anexo III (con modificaciones); anexo IV (inalterado)	Anexo I, anexo II	—
Anexo XII	—	Anexo I, sección II; anexo II, sección II	—	Anexo II, sección I
Anexo XIII	—	Anexo I, sección I; anexo II, sección I	—	—
Anexo XIV	—	—	—	—
Anexo XV, sección A	Anexo IV	—	—	—
Anexo XV, sección B	—	—	—	—
Anexo XVI	—	Artículo 8	Artículo 7	Artículo 6 con modificaciones

**DECLARACIÓN DE LA COMISIÓN**

La Comisión toma nota del texto de la Directiva sobre calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa adoptado por el Consejo y el Parlamento Europeo. En particular, la Comisión constata la importancia que el Parlamento Europeo y los Estados miembros conceden, en el artículo 22, apartado 4, y en el considerando 16 de la Directiva, a las medidas comunitarias de reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos en origen.

La Comisión reconoce la necesidad de reducir las emisiones de contaminantes nocivos si se pretende lograr avances significativos en pos de los objetivos fijados en el sexto programa de medio ambiente. En la Comunicación de la Comisión «Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica» se enuncia una amplia serie de posibles medidas comunitarias. Desde la adopción de la Estrategia, se han realizado importantes progresos sobre esas y otras medidas, a saber:

- el Consejo y el Parlamento Europeo han adoptado ya nuevas disposiciones legales por las que se limitan las emisiones de gases de escape de los vehículos comerciales ligeros,
- la Comisión ha adoptado una nueva propuesta legislativa tendente a mejorar la eficacia de las medidas legislativas comunitarias vigentes sobre emisiones industriales, incluidas las de las instalaciones agrícolas intensivas, así como medidas para hacer frente a las fuentes de combustión industriales a menor escala,
- la Comisión ha adoptado una nueva propuesta legislativa por la que se limiten las emisiones de gases de escape de los motores instalados en vehículos comerciales pesados,
- en 2008 la Comisión prevé presentar nuevas propuestas legislativas encaminadas a:
  - seguir reduciendo las emisiones de los principales contaminantes que se permiten a cada uno de los Estados miembros,
  - reducir las emisiones conexas al repostaje de los automóviles de gasolina en las estaciones de servicio,
  - regular el contenido de azufre de los combustibles, incluidos los combustibles para uso marítimo,
- se están llevando a cabo asimismo trabajos preparatorios para determinar la viabilidad de:
  - mejorar el diseño ecológico y reducir las emisiones de las calderas domésticas y los calentadores de agua,
  - reducir el contenido de disolventes de las pinturas, los barnices y los productos de renovación del acabado de vehículos,
  - reducir las emisiones de gases de escape de las máquinas móviles no de carretera, optimizando así las ventajas que presentan los combustibles no viarios con menor contenido de azufre, ya propuestos por la Comisión,
- la Comisión continúa impulsando asimismo, en la Organización Marítima Internacional, una reducción sustancial de las emisiones de los buques y se ha comprometido a presentar propuestas de medidas comunitarias en caso de que la OMI no proponga medidas lo bastante ambiciosas en 2008, tal como está previsto.

La Comisión está comprometida, no obstante, con los objetivos de su iniciativa encaminada a legislar mejor y la necesidad de que las propuestas estén respaldadas por una evaluación pormenorizada de sus repercusiones y efectos favorables. En este sentido y conforme a lo dispuesto en el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea, la Comisión seguirá evaluando la necesidad de nuevas propuestas legislativas, si bien se reserva el derecho de decidir el momento y la oportunidad de presentarlas.

**DECLARACIÓN DE LOS PAÍSES BAJOS**

Los Países Bajos se han esforzado en todo momento y seguirán esforzándose por conseguir una política de calidad de aire ambiente en Europa ambiciosa y efectiva. Por eso los Países Bajos muestran su satisfacción por que el Parlamento y el Consejo hayan sabido alcanzar un compromiso, y felicita al Parlamento Europeo, a la Comisión y a la Presidencia por el resultado logrado. La Directiva sobre la calidad del aire ambiente, tal como ahora ha sido adoptada, constituye tanto una victoria para el medio ambiente como para la salud.

Tal como los Países Bajos indicaron en la Posición Común, la calidad del aire ambiente en su país, debido a su carácter transfronterizo, depende en gran medida de un enfoque europeo efectivo del que saldrá ciertamente beneficiada. En primer lugar, los Países Bajos consideran que la Directiva tiene que ser un conjunto bien equilibrado de medidas de dimensión europea y de medidas nacionales, combinado con plazos, para lograr que las normas sean realistas. Solo de esa manera podrán los Estados miembros efectivamente cumplir con las ambiciosas normas propuestas.

Los Países Bajos están satisfechos con la Declaración de la Comisión de presentar medidas con suficiente antelación. Para ajustarse a las normas en todo lugar y en el momento oportuno es necesaria una política europea de las fuentes de la contaminación. En relación con esto, los Países Bajos señalan la falta de dicha política y la incertidumbre en los datos sobre emisiones y concentraciones, principalmente de  $PM_{2,5}$ . Los Países Bajos se esforzarán naturalmente al máximo por ajustarse a tiempo a las normas de la Directiva. Sobre la base de los datos que tenemos hoy, parece que dicho ajuste es en gran medida viable. El programa de cooperación nacional sobre la calidad del aire ambiente, que los Países Bajos están desarrollando, tiene que servir para que los últimos lugares en los que se vulneran los límites indicados puedan ajustarse a dichas normas.

Los Países Bajos muestran su satisfacción por el hecho de que el Consejo y el Parlamento hayan podido concluir la segunda lectura de la Directiva sobre la calidad del aire ambiente a tiempo de manera que pueda entrar en vigor a principio de 2008. Es importante para nuestro enfoque nacional, pero también para el de los países que nos rodean. Ni que decir tiene que los Países Bajos harán todo lo que está en sus manos para poder ajustarse de manera efectiva a las normas europeas con el programa de cooperación nacional y con las demás medidas locales y regionales.

---



**NORMATIVA de CANADÁ**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en Canadá:

- Revisión de la información con respecto a normas de calidad del aire para dióxido de azufre, enfocado principalmente a las provincias de Canadá. Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review, Metro Vancouver, Diciembre 2013.

# **Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review**

**Prepared for:**

**Metro Vancouver**  
Air Quality Policy & Management Division  
4330 Kingsway  
Burnaby, BC V5H 4G8

**Prepared by:**

Bohdan W. Hrebenyk, M.Sc.  
Harriet A. Phillips, Ph.D.  
Katherine J. Woolhouse, M.Sc.  
Malcolm A. Smith, P.Eng.

**SENES Consultants**  
1338 West Broadway, Suite 303  
Vancouver, B.C. V6H 1A6

23 December 2013

**TABLE OF CONTENTS**

	<u>Page No.</u>
GLOSSARY OF ACRONYMS AND ABBREVIATIONS.....	iv
1.0 INTRODUCTION .....	1
2.0 JURISDICTIONAL REVIEW .....	3
2.1 Methodology .....	3
2.2 Canadian Jurisdictions .....	4
2.2.1 Federal, Provincial and Territorial Criteria.....	4
2.2.2 Regional and Municipal Criteria.....	9
2.3 International Jurisdictions.....	11
2.3.1 Criteria for $\leq 20$ minutes Average Concentrations.....	15
2.3.2 Criteria for 1-hour Average Concentrations .....	16
2.3.3 Criteria for 3-hour and 8-hour Average Concentrations.....	17
2.3.4 Criteria for 24-hour Average Concentrations .....	17
2.3.5 Criteria for Annual Average Concentrations .....	18
2.4 Summary of Regulatory Criteria.....	19
3.0 HUMAN HEALTH AND ECOLOGICAL EFFECTS REVIEW .....	24
3.1 Overview of Available Documents.....	24
3.1.1 Alberta Health Acute Exposure Health Effects of H <sub>2</sub> S and SO <sub>2</sub> .....	24
3.1.2 Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of SO <sub>2</sub> – A Technical Review .....	25
3.1.3 SO <sub>2</sub> Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit.....	26
3.1.4 U.S. EPA Integrated Science Assessment for Sulphur Oxides – Health Criteria.....	26
3.1.5 2006 Health Effects Institute Annual Conference .....	27
3.1.6 Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals.....	28
3.1.7 Analysis of SO <sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2012.....	28
3.1.8 Analysis of SO <sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2011.....	29
3.1.9 MAML – James Bay Air Quality Study, Data Collection Report .....	30
3.1.10 Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring .....	30
3.1.11 Burrard Inlet Area Local Air Quality Study, Monitoring Program Results.....	31
3.1.12 2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary .....	32
3.1.13 Morbidity & SO <sub>2</sub> : Evidence from French Strikes at Oil Refineries .....	33

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

3.1.14	Association of Daily SO <sub>2</sub> Air Pollution Levels with Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Europe (The Aphea-II Study).....	34
3.2	Summary of Available Data – Human Health Effects.....	35
3.3	Discussion – Human Health Effects .....	48
3.3.1	Acute Exposure (<10 minutes).....	48
3.3.2	Short-Term Exposure (10 minutes to 1 hour).....	49
3.3.3	Moderate Exposure (>1 hour to 6 hours).....	51
3.3.4	24-Hour Exposure.....	53
3.3.5	Annual Exposure.....	55
3.4	Summary of Available Data – Ecological Effects .....	57
3.5	Discussion – Ecological Effects.....	60
4.0	DIMETHYLSULPHIDE (DMS) FROM BIOGENIC SOURCES .....	62
4.1	DMS Emissions from Coastal Waters .....	62
4.2	DMS Emissions from Coastal Wetlands.....	65
4.3	Summary of Biogenic DMS Emissions .....	67
5.0	CONCLUSIONS .....	68
	REFERENCES .....	71

**LIST OF TABLES**

	<u>Page No.</u>	
2-1	Description of B.C. PCO and NAAQO Levels.....	6
2-2	Summary of Federal/Provincial/Territorial SO <sub>2</sub> Criteria in Canada.....	7
2-3	NAAQO for SO <sub>2</sub> and Their Relationship to Some Health and Environmental Effects.....	8
2-4	Capital Region (Edmonton) Triggers for SO <sub>2</sub> Investigation.....	10
2-5	Summary of SO <sub>2</sub> Criteria in International Jurisdictions .....	12
2-6	Summary of 24-hour Average SO <sub>2</sub> Criteria in Other Jurisdictions .....	15
3-1	Alberta Health Acute Exposure Health Effects of H <sub>2</sub> S and SO <sub>2</sub> .....	24
3-2	Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of SO <sub>2</sub> – A Technical Review.....	25
3-3	SO <sub>2</sub> Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit, Kitimat Modernization Project.....	26
3-4	U.S. EPA Integrated Science Assessment for Sulphur Oxides – Health Criteria.....	27
3-5	2006 Health Effects Institute Annual Conference .....	27
3-6	Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals .....	28
3-7	Analysis of SO <sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2012.....	29
3-8	Analysis of SO <sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2011 .....	29

000395

VTA

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

3-9	MAML – James Bay Air Quality Study, Data Collection Report .....	30
3-10	Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring .....	31
3-11	Burrard Inlet Area Local Air Quality Study, Monitoring Program Results .....	31
3-12	2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary .....	32
3-13	Morbidity & SO <sub>2</sub> : Evidence from French Strikes at Oil Refineries .....	33
3-14	Association of Daily SO <sub>2</sub> Air Pollution Levels with Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Europe (The Aphea-II Study) .....	34
3-15	Human Health Effects – Acute Exposure (<10 minutes).....	36
3-16	Human Health Effects – Short-Term Exposure (10 minutes to 1 hour) .....	38
3-17	Human Health Effects – Moderate Exposure (>1-hour to 6 hours).....	41
3-18	Human Health Effects – Daily Exposure (24 hours) .....	42
3-19	Human Health Effects – Annual Exposure .....	43
3-20	Human Health Effects – Epidemiological Study Results .....	44
3-21	Ecological Effects – Laboratory Animals.....	57
3-22	Ecological Effects – Vegetation.....	59
4-1	Biogenic DMS Concentrations in Georgia Strait.....	63
4-2	Biogenic DMS Emission Rates from Salt Marshes .....	65
4-3	Biogenic DMS Flux Rates .....	66

**LIST OF FIGURES**

	<u>Page No.</u>	
2.1	Summary of Numerical Values for 1-hour Average SO <sub>2</sub> Regulatory Criteria .....	21
2.2	Summary of Numerical Values for 24-hour Average SO <sub>2</sub> Regulatory Criteria .....	22
2.3	Summary of Numerical Values for Annual Average SO <sub>2</sub> Regulatory Criteria .....	23
3-1	Summary of Acute Exposure (<10 minutes) Data .....	49
3-2	Summary of Short-Term Exposure (10 minutes to 1 hour) Data.....	50
3-3	Summary of Moderate Exposure (>1 hour to 6 hours) Data .....	52
3-4	Summary of Daily Exposure Data .....	54
3-5	Summary of Annual Exposure Data .....	56
3-6	Summary of Ecological Effects Data.....	61

**GLOSSARY OF ACRONYMS AND ABBREVIATIONS**

<b>Abbreviations</b>	
AAQO	Ambient Air Quality Objectives (Metro Vancouver)
AQI	Air Quality Index
AQO	Air Quality Objectives (British Columbia)
B.C.	British Columbia
CAAQS	Canadian Ambient Air Quality Standards
CASAC	Clean Air Scientific Advisory Committee; U.S. Congressionally-chartered body of independent scientific advisors charged with giving advice to the U.S. EPA
CRD	Capital Regional District in British Columbia
EU	European Union
NAAQO	National Ambient Air Quality Objectives (Canada)
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards (United States)
PCO	Pollution Control Objectives (British Columbia)
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
VIHA	Vancouver Island Health Authority in British Columbia
WHO	World Health Organization
<b>Contaminants</b>	
DMS	Dimethyl Sulphide
DMSP	Dimethylsulphoniopropionate
H <sub>2</sub> S	Hydrogen Sulphide
NO <sub>2</sub>	Nitrogen Dioxide
O <sub>3</sub>	Ozone
PM <sub>2.5</sub>	Fine particulate matter with a mean diameter $\leq 2.5$ microns
SO <sub>2</sub>	Sulphur Dioxide
SO <sub>x</sub>	Sulphur Oxides
<b>Units of Measure</b>	
mol/m <sup>3</sup>	mols per cubic metre (unit of concentration in water)
nM	nanomols
nmol/litre	nanomols per litre
µg/m <sup>3</sup>	micrograms per cubic metre (unit of concentration in air)
µg S/m <sup>2</sup>	micrograms of Sulphur per square metre (unit emissions to air)
ppb	parts per billion (unit of concentration)
ppm	parts per million (unit of concentration)

## 1.0 INTRODUCTION

The Provincial Government of British Columbia has the authority to delegate primary responsibility for air quality management to regional or municipal jurisdictions. In 1972, the Provincial Government delegated authority for air quality management to the Greater Vancouver Regional District (GVRD). As part of the Air Quality Management Plan (AQMP) within its jurisdiction, the GVRD (Metro Vancouver) established a set of Ambient Air Quality Objectives (AAQO) that are used in policy planning, permitting of air contaminant emission sources and overall air quality management. The current set of AAQO for sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>)<sup>1</sup> was updated by Metro Vancouver in 2005 and includes:

450 µg/m <sup>3</sup>	(174 ppb)	1-hour average
125 µg/m <sup>3</sup>	(48 ppb)	24-hour rolling average
30 µg/m <sup>3</sup>	(12 ppb)	annual average

These objectives remained unchanged in Metro Vancouver's 2011 Integrated Air Quality and Greenhouse Gas Management Plan.

SENES Consultants was retained to complete a literature review in support of Metro Vancouver's efforts to review the AAQO for SO<sub>2</sub>. The scope of work for the project consisted of the following tasks:

1. a review and summary of established ambient air quality criteria in other jurisdictions in North America, Europe, Australia, New Zealand, etc.;
2. a review of recent SO<sub>2</sub> human health science assessments;
3. a review of recent SO<sub>2</sub> ecosystem health science; and
4. a review of sulphur emissions from natural environments which can contribute to ambient SO<sub>2</sub> concentrations.

This report provides a summary of the information gathered as part of this literature review.

It should be noted that information on SO<sub>2</sub> concentrations as presented in the literature is often presented either as parts per billion (ppb), parts per million (ppm) and/or micrograms per cubic metre (µg/m<sup>3</sup>). Conversion rates between ppb and µg/m<sup>3</sup> vary slightly between published sources and regulatory jurisdictions. Consequently, wherever authors have provided concentration data in units of both ppb (or ppm) and µg/m<sup>3</sup>, the author's conversion rates have

---

<sup>1</sup> <http://public.metrovancouver.org/about/publications/Publications/IntegratedAirQualityGreenhouseGasManagementPlan-October2011.pdf>

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

been reported as given in the publication. Where authors have provided concentrations only in ppb (or ppm), concentrations in ppb were multiplied by a factor of 2.66 to convert to  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , based on the conversion rate listed in Bates and Caton (2002) and which is consistent with the conversion factor used by the World Health Organization (WHO 2006).



## 2.0 JURISDICTIONAL REVIEW

This section provides a review and summary of SO<sub>2</sub> air quality standards, objectives and guidelines (collectively referred to as criteria) in place in various jurisdictions throughout the world. In general, jurisdictions develop either standards, which represent maximum allowable (i.e., not to exceed) ground level SO<sub>2</sub> concentrations that can be applied in an industrial area, or objectives, which represent general ambient concentrations that a jurisdiction would like to attain.

Standards and objectives can also be expressed in tiers as desirable, acceptable and tolerable levels of ambient SO<sub>2</sub> concentrations, which is the approach taken by Environment Canada, or expressed in tiers based on surrounding land uses, which is the approach taken by a number of countries such as India and China. The WHO has also developed tiers, which are expressed as interim targets and targets that jurisdictions can adopt as they work towards reducing overall SO<sub>2</sub> emission rates.

Jurisdictions also have different standards or objectives for different averaging periods, typically 1-hour, 24-hour and annual. Some jurisdictions also consider shorter term periods (4, 10, 15 or 20-minutes) or mid-range periods (3-hour, 8-hour or 30-days), while some apply criteria over several months during the winter period. SO<sub>2</sub> standards and objectives are typically established to protect human health and/or ecosystems.

## 2.1 METHODOLOGY

Available information on existing air quality management criteria (i.e., standards, guidelines, objectives, targets, etc.) used in other jurisdictions was compiled through a search of internet web sites for various jurisdictions and agencies. Information was obtained from:

- Environment Canada;
- Canadian Provinces, specifically British Columbia, Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Quebec, Nova Scotia, New Brunswick, Prince Edward Island and Newfoundland;
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), as well as the California Air Resources Board;
- World Health Organization (WHO);
- European Union (EU), as well as from the United Kingdom (UK);
- Asian jurisdictions, specifically from the Clean Air Initiative for Asian Cities Center;
- Individual countries such as Australia, New Zealand, Sweden, Switzerland, the UK, Mexico, South Africa, Saudi Arabia, Tanzania, Argentina, Brazil, Belize, Chile,

---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Dominican Republic, Jamaica, Nicaragua, Peru, Trinidad and Tobago, China & Hong Kong, and India.

Different jurisdictions have developed different procedures to establish standards and objectives for ambient SO<sub>2</sub> concentrations, but all have the same common elements – review of pollution effects literature, review of what other jurisdictions have set as an objective or standard, and some assessment of the economic implications of a particular objective or standard. Typically, a scientific panel is established which looks at all of the data and makes a recommendation to government on the level of objective or standard and its implications to public health, the environment and the economy.

A paper assessing global ambient air quality standards for SO<sub>2</sub> was also reviewed. Vahlsing and Smith (2011) reviewed 24-hour average national SO<sub>2</sub> standards by sending surveys to 153 countries. The surveys covered three broad topics: 1) background information on standards; 2) awareness of the WHO guidelines and their role in determining standards; and 3) the standard setting process, specifically the evidence-base used to establish or revise standards. In a number of cases, additional information on criteria in specific countries was checked via internet searches for more recent information on air quality standards.

## **2.2 CANADIAN JURISDICTIONS**

### **2.2.1 Federal, Provincial and Territorial Criteria**

In Canada, air quality regulations are primarily enforced at the provincial level, and air quality standards, guidelines and objectives are most often based on time-averaged, ground-level ambient air concentrations. National Ambient Air Quality Objectives (NAAQO) were first established in the 1970s. NAAQO is a three-tiered system defined as Maximum Tolerable, Maximum Acceptable and Maximum Desirable. Each level has a specific concentration for an individual air contaminant, with one or more averaging periods.

In addition to NAAQO concentration-based SO<sub>2</sub> criteria, Canadian provinces also have their own permitting or approval systems in place. In general, provincial permits will contain ambient air concentration limits and/or stack emission limits, monitoring requirements, and operating and maintenance requirements. Ambient levels are typically set considering the impact of concentration levels on the general public and ecosystems.

---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

The status of air quality criteria in British Columbia is defined in the update to the provinces ambient air quality objectives issued in August 2013:

*“The province of B.C. uses a suite of ambient air quality criteria that have been developed provincially and nationally to inform decisions on the management of air contaminants. These include Provincial Air Quality Objectives (AQOs), the former Pollution Control Objectives (PCOs), National Ambient Air Quality Objectives (NAAQOs) and Canadian Ambient Air Quality Standards (CAAQS). Metro Vancouver has also established air quality objectives that apply within the Metro Vancouver area.*

*For any particular averaging period, a range of air quality criteria may exist (e.g. Levels A, B and C), reflecting the different conditions under which criteria may be applied. In the case of PCOs, these may also differ across source sectors.”*

Table 2-1 lists the relationship between the NAAQO tiers and the B.C. Level A, B and C tiers for specific industry sectors, as defined in the most recent update of the provincial AAQO.

Table 2-2 summarizes the review of SO<sub>2</sub> standards in Canadian jurisdictions. As outlined in the table, all provinces have adopted 1-hour, 24-hour and annual standards in the range of either the Canadian desirable or acceptable standards. Some key differences among the criteria used by various provinces are:

- Manitoba is the only other province that has adopted a tiered approach to air quality criteria which follows from the NAAQO levels;
- Quebec is the only province that has adopted criteria for SO<sub>2</sub> concentrations averaged for less than 1 hour;
- British Columbia and Newfoundland have 3-hour criteria; and
- Alberta has a 30-day standard.

In general, acceptable levels represent criteria applied in industrial areas and desirable levels represent criteria applied to residential areas, although in practice the desirable levels may also be used even in remote locations if there are concerns about emissions from a particular facility.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

**Table 2-1 Description of B.C. PCO and NAAQO Levels<sup>2</sup>**

<b>PCO</b>	<b>B.C. Level A</b>	<b>B.C. Level B</b>	<b>B.C. Level C</b>
Forest Products Industry 1977	Desirable goals for all discharges and will generally apply to all new discharges, and to existing installations whose discharges are significantly altered in quantity or quality	Intended as acceptable interim objectives for all other discharges and will be reviewed periodically by the Direction of Pollution Control	
Chemical & Petroleum Industries 1974	For new and proposed discharges, and within the limits of the best practicable technology, to existing discharges by planned staged improvements for these operations	Intermediate objective for all existing discharges to reach within a period of time specified by the Director, and as an immediate objective for existing discharges which may be increased in quantity or altered in quality as a result of process expansion or modification	Immediate objective for all existing chemical and petroleum industries to reach within a minimum technically feasible period of time
Food-processing, Agriculturally-oriented & other miscellaneous industries	Intended to provide adequate long-term protection	Not defined	Intended to provide adequate short-term protection of the environment
<b>PCO</b>	<b>Lower Range</b>	<b>Upper Range</b>	
Mining, Smelting & related industries 1979	Defined for discharges as applying to sensitive environmental situations	Defined for discharges as applying to where it can be shown that unacceptably deleterious changes will not follow	
<b>NAAQO</b>	<b>Maximum Desirable</b>	<b>Maximum Acceptable</b>	<b>Maximum Tolerable</b>
	Long-term goal for air quality and provides a basis for an anti-degradation policy for unpolluted parts of the country and for the continuing development of pollution control technology	Intended to provide adequate protection against effects on soil, water vegetation, materials, animals, visibility, and personal comfort and well-being	Time-based concentrations of air contaminants beyond which, owing to a diminishing margin of safety, an appropriate action is required without delay to protect the health of the general population

<sup>2</sup> <http://www.bcairquality.ca/reports/pdfs/aqotable.pdf>

Table 2-2 Summary of Federal/Provincial/Territorial SO<sub>2</sub> Criteria in Canada

Jurisdiction	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )						Comments
	Time Averaging Period						
	4-min	1-hr	3-hr	24-hr	30-day	Annual	
Canada		450		150		30	Maximum Desirable
		900		300		60	Maximum Acceptable
				800			Maximum Tolerable
British Columbia		450	375	160		25	Level A or Lower
		900	665	260		50	Level B or Upper
		900		360		80	Level C
Alberta		450		125	30	20	
Saskatchewan		450		150		30	
Manitoba		450		150		30	Maximum Desirable
		900		300		60	Maximum Acceptable
				800			Maximum Tolerable
Ontario		690		275		55	
Quebec	1,050			288		52	
Nova Scotia		900		300		60	
New Brunswick		900		300		60	
Prince Edward Island		900		300		60	
Newfoundland		900	600	300		60	
Yukon		450		150		30	
Northwest Territories		450		150		30	

Some of the effects of SO<sub>2</sub> above or below the three Federal objective levels are summarised in Table 2-3, as defined by Environment Canada in 1991. The Air Quality Index for the Province of Ontario considers SO<sub>2</sub> concentrations less than 690 µg/m<sup>3</sup> (1-hour average) as being protective of both human health and vegetation, although the Ministry of Environment<sup>3</sup> also notes that concentrations greater than 465 µg/m<sup>3</sup> may cause some vegetation damage in combination with ground-level ozone. The AQI assumes that only concentrations greater than 5,520 µg/m<sup>3</sup> result in increasing sensitivity for asthmatics and people with bronchitis. By comparison, the Province of Quebec uses a value of 200 ppb (~530 µg/m<sup>3</sup>) (4-minute average) for the AQI in the rest of the province<sup>4</sup> and an objective of 1050 µg/m<sup>3</sup>. No other provincial or

<sup>3</sup> <http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/sulphur.php>

<sup>4</sup> [http://www.iqa.mddefp.gouv.qc.ca/contenu/calcul\\_en.htm](http://www.iqa.mddefp.gouv.qc.ca/contenu/calcul_en.htm)

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

territorial jurisdictions in Canada were identified that base air quality management or public communications about air quality on criteria less than a 1-hour average.

**Table 2-3 Relationships Between SO<sub>2</sub> NAAQO for Health & Environmental Effects**  
(Source: Environment Canada 1991)

Good Range (0-Max. Desirable)	Fair Range (Max. Desirable- Max. Acceptable)	Poor Range (Max. Acceptable - Max. Tolerable)	Very Poor Range* (over the Max. Tolerable)
0-450 µg/m <sup>3</sup> (1-hr) 0-150 µg/m <sup>3</sup> (24-hr) 0-30 µg/m <sup>3</sup> (annual)	450-900 µg/m <sup>3</sup> (1-hr) 150-300 µg/m <sup>3</sup> (24-hr) 30-60 µg/m <sup>3</sup> (annual)	>900 µg/m <sup>3</sup> (1-hr) 300-800 µg/m <sup>3</sup> (24-hr) >60 µg/m <sup>3</sup> (annual)	>800 µg/m <sup>3</sup> (24-hr)
no effects	increasing injury to species of vegetation	odorous; increasing vegetation damage and sensitivity	increasing sensitivity of patients with asthma and bronchitis

\*The upper limit of the very poor range is not defined. At extremely high levels, symptoms would be worse than those listed.

Updated standards for air quality are currently under discussion at the federal/provincial government levels, and the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) announced in 2012 the introduction of a new, comprehensive Air Quality Management System (AQMS). The primary objective of the AQMS will be to protect human health and the environment through continuous improvement of air quality within a framework that allows air quality management actions to become increasingly more stringent as air quality deteriorates and approaches the new ambient air quality standards defined under the AQMS. New Canadian Ambient Air Quality Standards (CAAQS) have been introduced for fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and ground-level ozone (O<sub>3</sub>), and work has been initiated on new CAAQS for SO<sub>2</sub> and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). The CAAQS for SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> would take effect in 2020 and 2025 and will consist of three related parts:

- one or more numerical values;
- the averaging time of each numerical value; and
- the statistical form of the numerical values.

A final report to the multi-stakeholder CAAQS Working Group is expected to be completed by October 2014, with on-going Working Group consultations to be completed by December 2015.

### 2.2.2 Regional and Municipal Criteria

In addition to the federal and provincial criteria, a number of regional and municipal governments have adopted ambient air quality objectives, guidelines or indicators that are used either for air quality management or to assist in communicating information about air quality to the general public.

As previously noted, Metro Vancouver adopted new SO<sub>2</sub> AAQO of 450 µg/m<sup>3</sup> (1-hour average), 125 µg/m<sup>3</sup> (24-hour rolling average) and 30 µg/m<sup>3</sup> (annual average) in 2005 which are used for policy planning, permitting of air contaminant emission sources and overall air quality management within Metro Vancouver's jurisdiction. In addition, following a study of potential health effects from the air contaminant emissions of the Chevron oil refinery in Burnaby which was completed in 2002, Metro Vancouver amended the air emissions permit for the refinery in 2008 (Permit GVA0117) to include triggers for reducing SO<sub>2</sub> emissions, based on observed SO<sub>2</sub> concentrations recorded at four monitoring stations located within a 2 km radius of the refinery. A sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) Curtailment Event (SCE) is defined in the plant's operating permit as a time period when the SO<sub>2</sub> concentration at any of the four stations exceeds 190 ppb (10-minute rolling average), equivalent to the WHO guideline level of 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average) (see Section 2.3.1).

In 2004, the Capital Regional District (CRD) in Victoria also developed a 24-hour SO<sub>2</sub> average air quality guideline which could be used to report on air quality in a more meaningful way to the general public, as well as to assist the CRD in interpreting trends in air pollutant concentrations. The CRD SO<sub>2</sub> guideline of 125 µg/m<sup>3</sup> was based on the WHO guidelines for Europe that were established in 2000 (WHO 2000).

A health risk guide for residents of the James Bay neighbourhood in Victoria issued by the Vancouver Island Health Authority (VIHA)<sup>5</sup> listed 1-hour average SO<sub>2</sub> concentrations less than 35 ppb (<95 µg/m<sup>3</sup>) as posing little or no risk to human health, concentrations of 36-75 ppb (approximately 95-200 µg/m<sup>3</sup>) as posing a moderate risk for a very small number of people who are unusually sensitive to SO<sub>2</sub>, concentrations 76-185 ppb (~200-490 µg/m<sup>3</sup>) as being unhealthy for sensitive groups (e.g., asthmatics), but not to the general public, and concentrations greater than 490 µg/m<sup>3</sup> as levels at which everyone may begin to experience health effects and at which members of sensitive groups may experience more serious health effects.

---

<sup>5</sup> [http://www.viha.ca/mho/james\\_bay\\_sulphur\\_dioxide\\_monitoring.htm](http://www.viha.ca/mho/james_bay_sulphur_dioxide_monitoring.htm)

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

Montreal's Air Quality Index (AQI), which is used to define poor air quality, was also established in 2004 and uses the WHO SO<sub>2</sub> guideline of 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average) (Gagnon et al. 2007).

The Capital Region in Alberta, which comprises 25 municipalities around Edmonton, adopted an air quality management framework which includes a set of tiered 'trigger levels' for management actions if concentrations of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> exceed specified levels (Alberta Environment and Sustainable Resource Development 2012). The trigger levels are set below the ambient air quality objectives for the province and are intended to induce mitigative measures that would prevent contaminant concentrations from reaching or exceeding the objective levels. The trigger levels are not intended to replace the Alberta Ambient Air Quality Objectives. Instead, the framework will be used to supplement the evaluation of the annual and hourly data by using the triggers to help select management actions that can be taken to reduce the likelihood of reaching the annual and hourly Alberta objective levels.

The Capital Region (Edmonton) trigger levels for SO<sub>2</sub> are defined for both annual average hourly average concentrations as listed in Table 2-5. Under this framework, mitigative measures would begin to be investigated if hourly concentrations at the 99<sup>th</sup> percentile exceed 76 µg/m<sup>3</sup> or annual average concentrations exceed 13 µg/m<sup>3</sup>, while emission reductions would begin to be required if hourly concentrations exceed 76 µg/m<sup>3</sup> and annual average concentrations exceed 20 µg/m<sup>3</sup>.

**Table 2-4 Capital Region (Edmonton) Triggers for SO<sub>2</sub> Investigation**

Levels	Upper Range of Hourly Data (µg/m <sup>3</sup> ) Based on 99 <sup>th</sup> percentile	Annual Average Concentrations (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Level 1</b>	Avoid or minimize degradation wherever reasonable or possible	
Trigger into Level 2	37	8
<b>Level 2</b>	Early indication of emerging air quality issues, time to react and plan	
Trigger into Level 3	76	13
<b>Level 3</b>	Identify pressures and implement management actions required to prevent <i>Alberta Ambient Air Quality Objectives</i> being reached	
Trigger into Level 4	113	20



### 2.3 INTERNATIONAL JURISDICTIONS

The Vahlsing and Smith (2011) global study determined that 79% of respondents (76 of 96 respondents) have a 24-hour SO<sub>2</sub> criterion, although the current review has identified a total of 79 countries that use a 24-hour criterion. The study by Vahlsing and Smith also determined that criteria were typically established based on air quality monitoring data and a review of criteria from other jurisdictions and/or the WHO. For the current review of international jurisdictions, additional information on criteria in Asia was derived from the Clean Air Initiative for Asian Cities Center (2010) and Patdu (2012).

Table 2-5 summarizes the review of SO<sub>2</sub> criteria in international jurisdictions. For the 28 member states of the EU, only those countries whose criteria differ from the EU directives are listed separately (e.g., the United Kingdom, Sweden, Switzerland). Similarly, Hong Kong is listed separately from China because Hong Kong's criteria differ from those used in the rest of China, and California is identified separately from the U.S. EPA NAAQS.

As outlined in the table, the WHO and jurisdictions in China, Bhutan and Belize use tiered criteria. It is also worth noting that the European Union, United Kingdom, Hong Kong, Australia, New Zealand, the U.S. EPA NAAQS, Mexico, India (Ministry of Environment and Forests 2013), Brazil, South Africa (Government Gazette 2009) and Saudi Arabia (Presidency of Meteorology and Environment 2012) allow for a number of exceedances per year of their respective standards. Consequently, the numerical values of the criteria alone do not indicate the precise stringency with which those criteria are applied. The degree of success in achievement of the adopted criteria in each jurisdiction is also not considered in Table 2-5.

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature ReviewTable 2-5 Summary of SO<sub>2</sub> Criteria in International Jurisdictions

Jurisdiction	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )					Comments
	Time Averaging Period					
	10-min	15-20 min	1-hr	24-hr	Annual	
World Health Organization	500			20		Human health protection
				50		Interim Target for human health
				100	20 10	Annual average guideline for vegetation protection; also applies October 1 <sup>st</sup> to March 31 <sup>st</sup> ; lower annual value applies to protection for lichens
				125		Interim Target for human health
European Union			350	125	20	Permitted exceedances per year: 24 (1-hr) and 3 (24-hr)
United Kingdom		266	350	125	20	Permitted exceedances per year: 35 (15-min), 24 (1-hr) and 3 (24-hr) Annual limit also applies for October 1 <sup>st</sup> to March 31 <sup>st</sup>
Switzerland <sup>6</sup>				100	30	
Sweden			350	125	5	Interim annual target adopted in 2000 to be achieved by all municipalities by 2005
U.S. National Ambient Air Quality Standards			196			3-year average of the annual 99 <sup>th</sup> percentile of the 1-hour daily maximum concentration; secondary standard 1330 µg/m <sup>3</sup> (3-hr)
California			655	105		
Mexico				345	80	Permitted exceedances 1 day per year (24-hr)
Australia			570	230	60	Permitted exceedances 1 day per year for both 1-hr & 24-hr
New Zealand			350			9 exceedances per year
			570			0 exceedances per year

<sup>6</sup> <http://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19850321/index.html>

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Jurisdiction	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )					Comments
	Time Averaging Period					
	10-min	15-20 min	1-hr	24-hr	Annual	
Argentina			850	367	79	Secondary standard of 1309 µg/m <sup>3</sup> (3-hr)
Brazil <sup>7</sup>				365	80	Primary standard for human health; 1 exceedance per year (24-hr)
				100	40	Secondary standard for human health, flora/fauna, materials; 1 exceedance per year (24-hr)
Belize <sup>8</sup>				120		Industrial & mixed use
				80		Rural & residential areas
				30		Sensitive areas
Chile <sup>9</sup>				250	80	
Dominican Republic <sup>10</sup>			200	150	100	
Jamaica <sup>11</sup>			700	365	80	
Nicaragua <sup>12</sup>				365	80	
Peru <sup>13</sup>				365	80	
Trinidad & Tobago <sup>14</sup>	500			125	50	120 µg/m <sup>3</sup> (8-hr)
Russian Federation		500		50		Short-term exposure limit based on 20-minute average
China <sup>15</sup>			150	50	20	Specially Protected Areas
			500	150	60	Residential Areas
			700	250	100	Special Industrial Areas
			150	50	20	Specially Protected Areas - by 2016
			500	150	60	Residential/industrial & mixed use areas - by 2016
Hong Kong			800	350	80	Permitted exceedances per year: 3 (1-hr) and 1 (24-hr)
				125		Proposed objective; 3 exceedances per year

<sup>7</sup> [http://transportpolicy.net/index.php?title=Brazil:\\_Air\\_Quality\\_Standards#Technical\\_Standards](http://transportpolicy.net/index.php?title=Brazil:_Air_Quality_Standards#Technical_Standards)

<sup>8</sup> <http://faolex.fao.org/docs/pdf/blz50555.pdf>

<sup>9</sup> [http://www.temasactuales.com/laws\\_policies/legislation\\_Chile.html](http://www.temasactuales.com/laws_policies/legislation_Chile.html)

<sup>10</sup> <http://www.temasactuales.com/assets/pdf/gratis/Calidad%20de%20Aire.pdf>

<sup>11</sup> [http://www.nepa.gov.jm/standards/air\\_quality\\_standards\\_regulations.pdf](http://www.nepa.gov.jm/standards/air_quality_standards_regulations.pdf)

<sup>12</sup> [http://www.temasactuales.com/laws\\_policies/legislation\\_Nicaragua.html](http://www.temasactuales.com/laws_policies/legislation_Nicaragua.html)

<sup>13</sup> [http://www.temasactuales.com/laws\\_policies/legislation\\_Peru.html](http://www.temasactuales.com/laws_policies/legislation_Peru.html)

<sup>14</sup> Republic of Trinidad and Tobago (2001)

<sup>15</sup> <http://cleanairinitiative.org/portal/node/8163>

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Jurisdiction	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )					Comments
	Time Averaging Period					
	10-min	15-20 min	1-hr	24-hr	Annual	
India <sup>16</sup>				80	20	Ecologically Sensitive Areas; 98 <sup>th</sup> percentile
				80	50	Industrial, Residential, Rural and Other Areas; 98 <sup>th</sup> percentile
Bangladesh				366	78	
Bhutan				120	80	Industrial land use
				80	60	Mixed use
				30	15	Sensitive areas
Cambodia			500	300	100	
Indonesia			900	260	60	
Laos			780	300	100	
Malaysia			350	105		
Mongolia				20	10	
Nepal				70	50	
Pakistan				120	80	Effective 1 January 2012
Japan			265	105		
Philippines				180	80	
South Korea			392	131	52	
Singapore			196	365	80	Current
				50	15	Targets for 2020
				20		Long term target
Sri Lanka			200	80		
Taiwan			654	78		
Thailand			780	300	100	
Vietnam			350	125	50	
Egypt <sup>17</sup>			350	150	60	
Mauritius			350	200	50	
Saudi Arabia			730	365	80	Permitted exceedances per year: 2 (1-hr) and 1 (24-hr)
South Africa	500		350	125	50	Permitted exceedances per year: 526 (10-minute), 88 (1-hr) and 4 (24-hr)
Tanzania	500			100	40-60	

Table 2-6 lists the countries for which information was only available for 24-hour average criteria based on Vahlsing and Smith (2011). These countries may have also adopted 1-hour or

<sup>16</sup> Ministry of Environment and Forests (2013)

<sup>17</sup> Loeb (2001)

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

annual average criteria, but there was insufficient time available to research all of these countries' regulatory requirements for this report.

**Table 2-6 Summary of 24-hour Average SO<sub>2</sub> Criteria in Other Jurisdictions**  
(Source: Vahlsing and Smith 2011)

Country	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )	Country	SO <sub>2</sub> Concentration (µg/m <sup>3</sup> )
Belarus	200	Ghana	100
Bolivia	365	Israel	280
Botswana	300	Moldova	50
Colombia	250	Turkey	150
Costa Rica	365	Venezuela	365
Ecuador	350	Serbia	150
El Salvador	365	Zambia	125
Ethiopia	365		

### 2.3.1 Criteria for ≤20 minutes Average Concentrations

As indicated in Table 2-5, only three countries (South Africa, Tanzania and Trinidad and Tobago) have adopted the WHO SO<sub>2</sub> guideline value of 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average), but South Africa applies its standard as a 99<sup>th</sup> percentile (i.e., allowing 526 exceedances per year). The Russian Federation has adopted a short-term exposure limit of 500 µg/m<sup>3</sup> averaged over 20 minutes. New Zealand had previously adopted a criterion identical to the WHO guideline in 1994, but has discontinued using this level as an official regulatory standard. Nevertheless, 10-minute average concentrations may still be considered and addressed as part of the permitting process for specific industrial discharges.<sup>18</sup> Similarly, the National Environment Protection Council in Australia (2004) conducted a review of the practicality of adopting the WHO guideline value as a National Environmental Protection Measure (NEPM) for air quality and concluded that there was no need to do so as part of the national standards because such issues could better be addressed on a case-by-case basis at the permitting level for specific industrial SO<sub>2</sub> emission sources.

The United Kingdom has adopted a SO<sub>2</sub> 15-minute average criterion of 266 µg/m<sup>3</sup>, with an allowance for 35 exceedances of the criterion in a one-year period. In addition, 15-minute average concentrations less than 266 µg/m<sup>3</sup> are considered to be representative of 'Good' air quality for the Daily Air Quality Index, and concentrations in the range of 266-531 µg/m<sup>3</sup> are

<sup>18</sup> <http://www.mfe.govt.nz/publications/air/air-quality-tech-report-43/html/page7.html>

## *Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

representative of 'Moderate' air quality during which adults and children with lung problems, and adults with heart problems, are advised to reduce strenuous physical activity, particularly outdoors. If 15-minute average SO<sub>2</sub> concentrations rise to between 530 and 1063 µg/m<sup>3</sup>, adults and children with lung problems, and adults with heart problems, are advised to reduce strenuous physical exertion, particularly outdoors, and people with asthma may find it necessary to use inhalers to relieve symptoms. Air pollution is considered to be 'Very High' if the 15-minute average SO<sub>2</sub> concentration exceeds 1064 µg/m<sup>3</sup>.

The State of Hawaii, which frequently has to deal with elevated concentrations of SO<sub>2</sub> from volcanic eruptions, issues air quality advisories for SO<sub>2</sub> concentrations which are based on 15-minute averages<sup>19</sup>. Similar to the air quality index in the United Kingdom, SO<sub>2</sub> concentrations less than 100 ppb (~265 µg/m<sup>3</sup>) are considered to represent 'Good' air quality with no expected health effects for most members of the general public, except highly sensitive individuals. Concentrations greater than 210 ppb (~558 µg/m<sup>3</sup>) are considered to be 'Unhealthy for Sensitive Groups', while concentrations greater than 1001 ppb (~2687 µg/m<sup>3</sup>) are considered 'Unhealthy', and individuals experiencing health effects are advised to leave the area.

### **2.3.2 Criteria for 1-hour Average Concentrations**

There are a broad range of values that have been adopted internationally for 1-hour average SO<sub>2</sub> criteria. The most stringent level is 150 µg/m<sup>3</sup> adopted by China for specially protected areas, while the least stringent levels are 900 µg/m<sup>3</sup> for Indonesia (i.e., at the current Maximum Acceptable level in Canada), 780-850 µg/m<sup>3</sup> for Argentina, Laos, Thailand and Honk-Kong, 730 µg/m<sup>3</sup> in Saudi Arabia. The current criterion for special industrial areas in China is 700 µg/m<sup>3</sup>, but the country has announced the adoption of a new criterion of 500 µg/m<sup>3</sup> for residential, industrial and mixed use areas beginning in 2016. Taiwan and California's standards are only slightly lower at 655 µg/m<sup>3</sup>. The new National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) in the United States of 196 µg/m<sup>3</sup> adopted in 2010 is lower than the limit value of 350 µg/m<sup>3</sup> adopted by the EU and several other countries (i.e., Malaysia, Vietnam, Egypt and Mauritius), but the NAAQS is calculated as the 99<sup>th</sup> percentile averaged over 3 consecutive years, while the EU allows up to 35 exceedances of the limit value in a one year period. Therefore, while the NAAQS and EU criteria are numerically much lower than those in Southeast Asia and in industrial areas of China, they are much closer in their practical application. South Africa has adopted a guideline value of 350 µg/m<sup>3</sup> as a 99<sup>th</sup> percentile (i.e., allowing up to 88 exceedances of the standard per year) while Sri Lanka uses a level of 200 µg/m<sup>3</sup>, only slightly less stringent than China's value for sensitive areas.

---

<sup>19</sup> <http://www.hiso2index.info/assets/FinalSO2Exposurelevels.pdf>

It should also be noted that the European Union has also adopted a 1-hour average Alert Level of 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  that applies to SO<sub>2</sub> measurements over three consecutive hours at locations representative of air quality over at least 100 km or an entire air zone or agglomeration, whichever is the smaller.<sup>20</sup>

### **2.3.3 Criteria for 3-hour and 8-hour Average Concentrations**

Two countries have adopted air quality criteria for intermediate averaging periods  $\leq 24$ -hours. Buenos Aires in Argentina<sup>21</sup> uses a 3-hour average level of 1309  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , while Trinidad and Tobago uses an 8-hour average of 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The rationale for the use of these intermediate averaging periods was not identified in this review.

In 1971, the U.S. EPA adopted a secondary NAAQS standard of 1330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (3-hour average) which was retained at the time of the most recent NAAQS review in 2010. Secondary NAAQS are intended to protect public welfare, including protection against visibility impairment, damage to animals, crops, vegetation, and buildings.

### **2.3.4 Criteria for 24-hour Average Concentrations**

Most countries in the world have adopted a 24-hour average SO<sub>2</sub> criterion, but there is no consistency in the levels chosen by various jurisdictions and values range from 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to 365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mongolia is the only country to have adopted the WHO guideline value of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Only three countries (China, the Russian Federation and Moldova) have adopted the WHO Interim Guideline of 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , but China's criterion only applies in sensitive areas while the criterion for all other areas of China is 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  beginning in 2016. Similar to China, Bhutan uses a 24-hour average concentration of 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for sensitive areas. Singapore has adopted 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  as a target level for achievement by 2020, with a long term goal of attaining the WHO guideline of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Belize uses a tiered approach ranging from 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for industrial and mixed use areas, to 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for rural and residential areas, and 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for environmentally sensitive areas.

Nepal, India, Sri Lanka, Argentina and Switzerland use criteria in the range of 70-80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , while South Africa, Japan, Ghana and Malaysia use 100-105  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and Brazil has a secondary standard of 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for the protection of human health, flora and fauna and materials damage. The latter values are consistent with the WHO guideline of 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for vegetation protection. The adoption by the 28 member states of the European Union of the limit value of 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

---

<sup>20</sup> <http://www.scribd.com/doc/176290911/EEA-Report-9-2013-Air-Quality-in-Europe-1>

<sup>21</sup> [http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med\\_ambiente/pol\\_ambiental/archivos/relada/decreto\\_198GCBA2006.pdf](http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/pol_ambiental/archivos/relada/decreto_198GCBA2006.pdf)

provides the largest geographic area of consistency in the international community. Other countries to have adopted the WHO interim guideline of 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  include South Africa (98.9<sup>th</sup> percentile with 4 allowable exceedances per year), Trinidad and Tobago, and Vietnam, while Hong Kong has proposed adopting this level and would allow 3 exceedances per year.

The previous U.S. NAAQS of 365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  was revoked in 2010 when the new 1-hour average NAAQS was introduced. The former NAAQS level appears to represent the upper limit for national 24-hour average SO<sub>2</sub> regulatory criteria, and many of the countries around the world that adopted this level were likely following the U.S. EPA lead by adopting the same level for their own criteria.

### **2.3.5 Criteria for Annual Average Concentrations**

As with the criteria for 24-hour averages, the criteria chosen by various countries for annual average SO<sub>2</sub> concentrations also vary over a wide range. The most stringent criterion of 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  was adopted by Sweden in 2000 (Sweden Ministry of Environment 2001) as an interim target level to be achieved in municipalities by 2005. The least stringent annual average criteria are 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in China, Thailand, Cambodia, Laos and the Dominican Republic, although China's annual average criterion will be reduced to 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in residential and industrial areas beginning in 2016. Therefore, there is a 20 fold difference between the most stringent (5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Sweden) and least stringent criteria (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Southeast Asian countries) for annual average concentrations, similar to the range in concentrations for 24-hour averages.

The WHO (2006) determined that an annual average guideline level was unnecessary for the protection of human health because compliance with the 24-hour average concentration of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  would ensure that low annual average SO<sub>2</sub> concentrations would be achieved. However, the WHO (2006) recommended an annual average concentrations of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for the protection of forests and natural vegetation, and a guideline level of 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  specifically for the protection of lichens. Both India and China use a criterion of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for ecologically sensitive or protected areas, while the European Union and the United Kingdom have adopted this same level as a general standard for all areas in their countries. The United Kingdom also uses a standard of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to be achieved in winter months between October 1<sup>st</sup> and March 31<sup>st</sup>, which corresponds to the recommendations of the WHO (2000) which noted that there is abundant evidence for increased sensitivity of crops growing slowly under winter conditions, as well as evidence for periods of high sensitivity of conifers during periods of needle elongation.

A number of other countries, specifically Brazil, Belize, and Bhutan, have also set annual average criteria for the protection of ecologically sensitive areas. Mongolia uses a value of



---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

10 µg/m<sup>3</sup>, while Bhutan uses a level of 15 µg/m<sup>3</sup> and Singapore has adopted a level of 15 µg/m<sup>3</sup> as a target to be achieved by 2020.

South Africa has an annual average standard of 50 µg/m<sup>3</sup>. Brazil has a secondary standard of 40 µg/m<sup>3</sup> for the protection of human health, flora and fauna, materials damage and the general environment, but its primary standard for the protection of human health is set at 80 µg/m<sup>3</sup>. All other jurisdictions use annual average criteria ranging from 50 to 80 µg/m<sup>3</sup>, while the U.S. NAAQS of 80 µg/m<sup>3</sup> was revoked in 2010.

## 2.4 SUMMARY OF REGULATORY CRITERIA

Within Canada, only the Province of Quebec and the City of Montreal currently use SO<sub>2</sub> criteria for averaging periods less than 15 minutes, and only in the context of air quality indices for communicating information about air quality to the general public. Montreal uses the WHO guideline of 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average) while the province of Quebec uses a 4-minute average of about 530 µg/m<sup>3</sup>. Metro Vancouver has incorporated the WHO guideline value into an air emission permit for an oil refinery.

Internationally, only a few jurisdictions have adopted some form of a short-term criterion for averaging periods ≤20 minutes:

- 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average) - Trinidad and Tobago, South Africa and Tanzania (i.e., the WHO guideline value);
- 500 µg/m<sup>3</sup> (20-minute average) - Russian Federation;
- 266 µg/m<sup>3</sup> (15-minute average) - United Kingdom; and
- 265 µg/m<sup>3</sup> (15-minute average) defines 'Good' air quality - State of Hawaii.

New Zealand repealed its former use of the WHO guideline value, while Australia considered and subsequently rejected the need for establishing a national standard based on the WHO guideline for 10-minute average SO<sub>2</sub> concentrations.

Figure 3.1 provides a summary of the numerical values<sup>22</sup> for 1-hour average SO<sub>2</sub> criteria for international jurisdictions. It indicates that Metro Vancouver's current AAQO of 450 µg/m<sup>3</sup> falls within the mid-range of those jurisdictions which have adopted a 1-hour average criterion. The Maximum Acceptable NAAQO in Canada and the Level B objective in British Columbia are among the least stringent criteria, comparable to the level adopted in Indonesia. Among the more stringent criteria are those adopted in the United States and Singapore (196 µg/m<sup>3</sup>), the Dominican Republic and Sri Lanka (200 µg/m<sup>3</sup>), although China has a criterion of 150 µg/m<sup>3</sup> for

---

<sup>22</sup> Excluding the relative stringency of the criteria implementation (e.g., allowable exceedances, percentiles)

---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

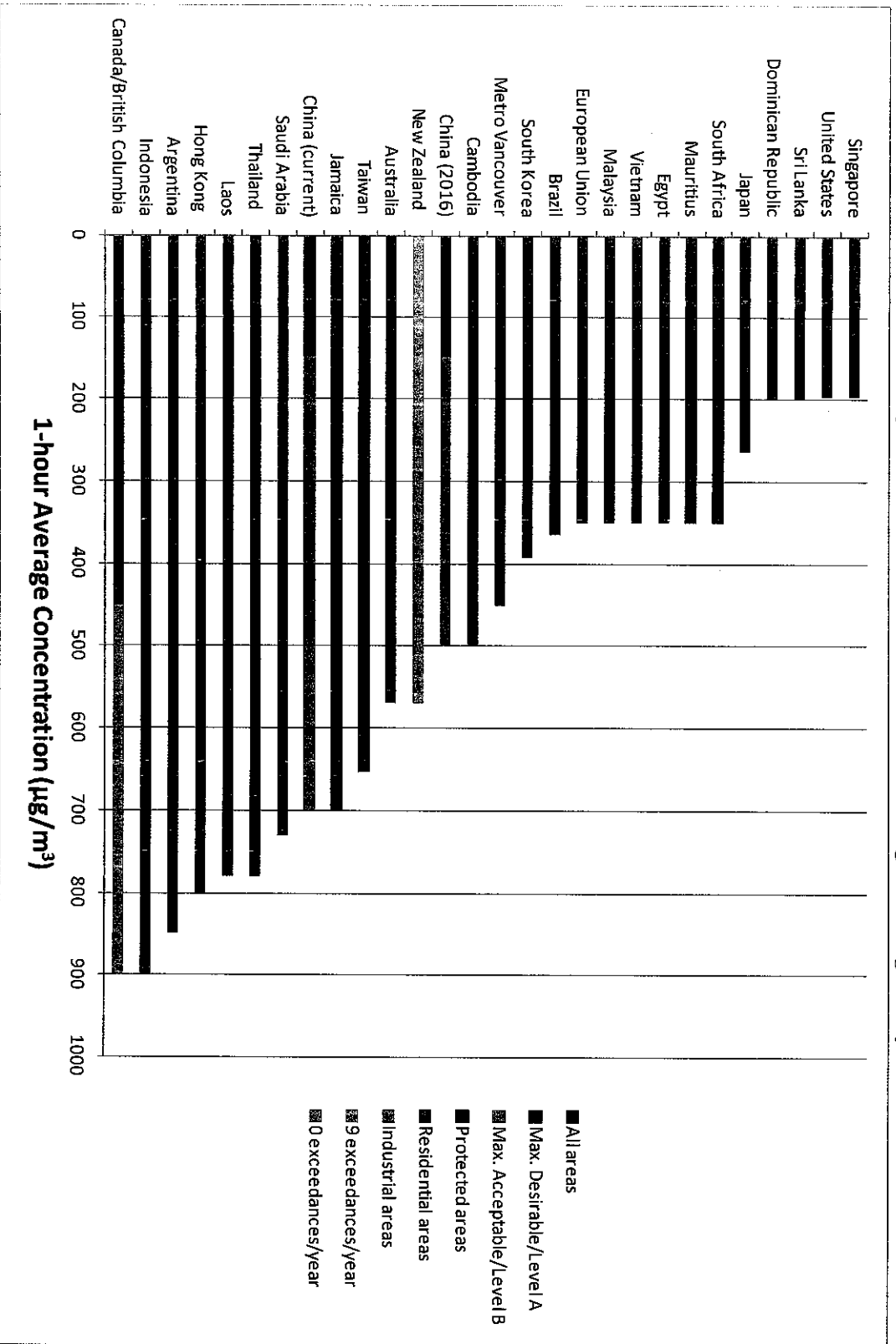
sensitive areas. However, it is worth noting that the VIHA in Victoria, B.C. considers 1-hour average SO<sub>2</sub> concentrations in the range of 95-200 µg/m<sup>3</sup> as posing a moderate risk for a very small number of people who are unusually sensitive to SO<sub>2</sub>, with concentrations in the range of ~200-490 µg/m<sup>3</sup> as being unhealthy for sensitive groups (e.g., asthmatics), but not to the general public.

Apart from the U.S. EPA secondary NAAQS based on 3-hour average SO<sub>2</sub> concentrations, only two other countries have adopted criteria for averaging periods between 1-hour and 24-hours: 1) Argentina (3-hour average) and 2) Trinidad and Tobago (8-hour average).

The numerical values for 24-hour average criteria for international jurisdictions depicted in Figure 3.2 indicate that the Metro Vancouver AAQO of 125 µg/m<sup>3</sup> falls within the upper third tier of the more stringent jurisdictions, while the Canadian Maximum Acceptable and the B.C. Levels B and C criteria fall within the lower third tier of jurisdictions. Fifteen countries and the State of California have more stringent criteria than Metro Vancouver, although the criteria in a few of those countries are only slightly more stringent. Only Mongolia has adopted the WHO guideline value of 20 µg/m<sup>3</sup>, while Singapore has adopted this level as a target to be achieved by 2020. Bhutan and Belize have both adopted slightly less stringent criteria of 30 µg/m<sup>3</sup> for ecologically sensitive areas.

As indicated in Figure 3.3, Metro Vancouver's current AAQO of 30 µg/m<sup>3</sup> (annual average) is one of the more stringent criteria amongst international jurisdictions. Only the EU, Mongolia and Sweden have adopted more stringent criteria, while the WHO criterion of 20 µg/m<sup>3</sup> is meant to be protective of forests and natural vegetation and should be protective of human health as well if the WHO criterion of 20 µg/m<sup>3</sup> (24-hour average) is achieved. Singapore has defined a target level of 15 µg/m<sup>3</sup> for annual average SO<sub>2</sub> concentrations to be achieved by 2020. Canada's Maximum Acceptable level and British Columbia's Level B objective falls in the mid-range of criteria for annual average concentrations amongst international jurisdictions.

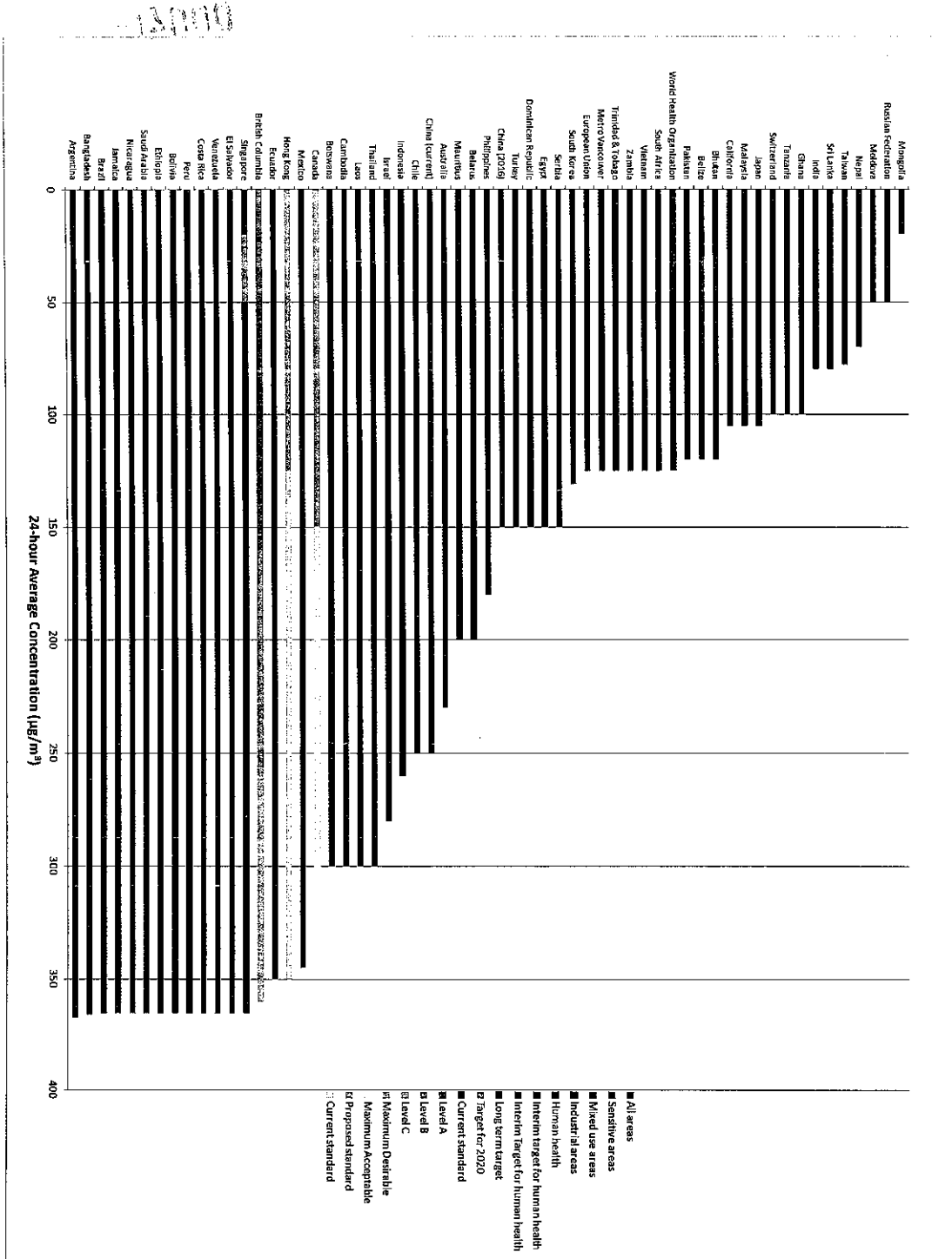
**Figure 2.1 Summary of Numerical Values for 1-hour Average SO<sub>2</sub> Regulatory Criteria**



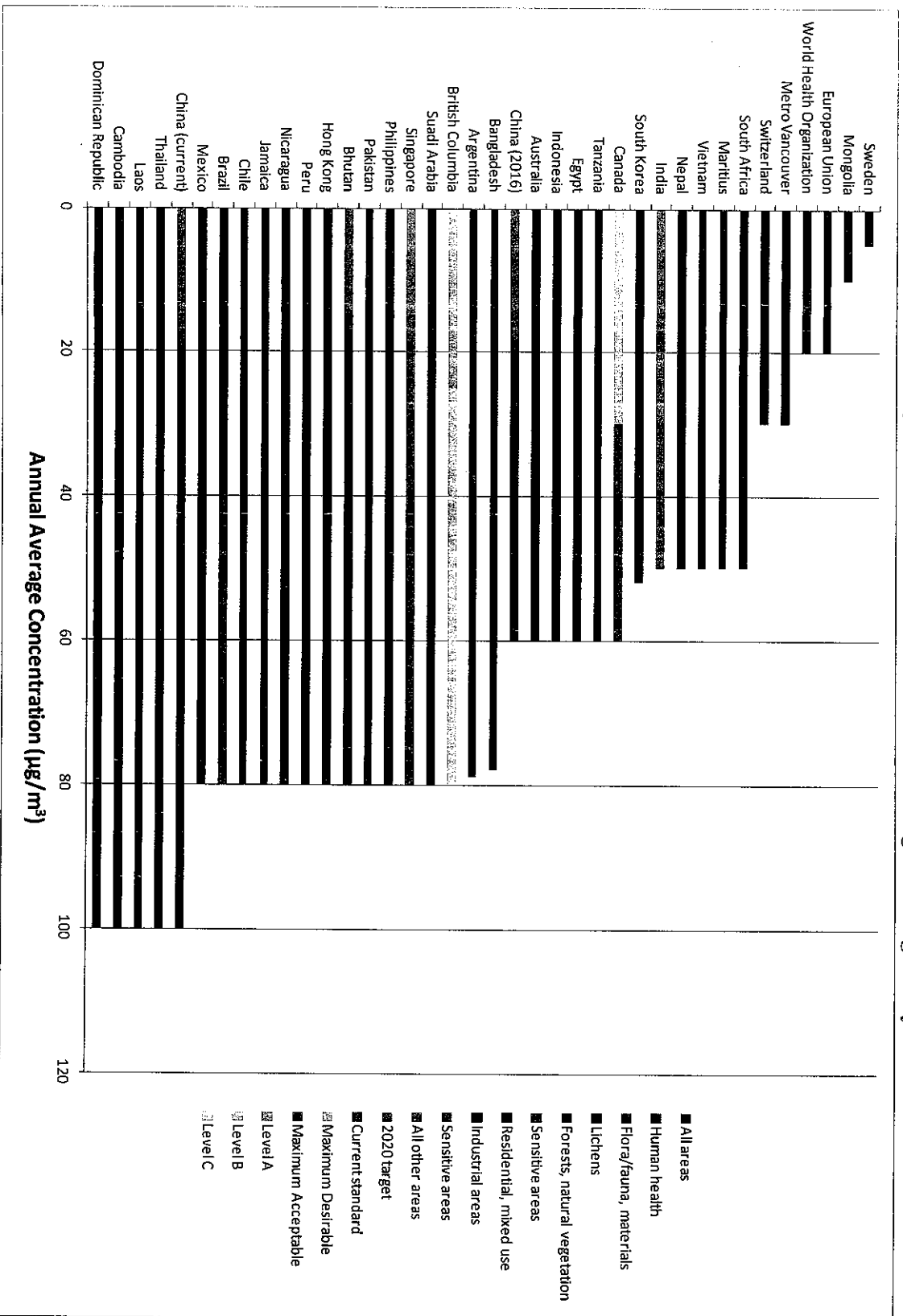
900406  
v1A.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

**Figure 2.2 Summary of Numerical Values for 24-hour Average SO<sub>2</sub> Regulatory Criteria**



**Figure 2.3 Summary of Numerical Values for Annual Average SO<sub>2</sub> Regulatory Criteria**



000407  
✓1A

### 3.0 HUMAN HEALTH AND ECOLOGICAL EFFECTS REVIEW

This section provides a summary of the review of available documents related to human health and ecological effects from exposure to SO<sub>2</sub> in ambient air. Relevant data are summarized and evaluated within the context of existing guidelines for ecological and human health.

#### 3.1 OVERVIEW OF AVAILABLE DOCUMENTS

A number of documents related to health effects from sulphur dioxide exposure are available and summarized in the following sections. Relevant aspects for the current data review are also noted.

##### 3.1.1 Alberta Health Acute Exposure Health Effects of H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>

Alberta Health (2012) compiled a summary of health effects from acute exposure to sulphur dioxide. Concentrations of sulphur dioxide in air range from 300 µg/m<sup>3</sup> (0.1 ppm) to greater than 260,000 µg/m<sup>3</sup> (100 ppm) with a description of potential health effects. While this document does not provide specific toxicological or epidemiological data, this summary can be considered within the context of the separate summary of health effects (see Section 3.2).

**Table 3-1 Alberta Health Acute Exposure Health Effects of H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>**

Name	Alberta Health Acute Exposure Health Effects of Hydrogen Sulphide and Sulphur Dioxide
Country	Canada
Year of Publication	2012
Governing Body/ Stakeholders	Alberta Health Services
Key Words	Human health effects
Overview of Document	This document summarizes acute health effects from sulphur dioxide in air
Website	<a href="http://www.albertahealthservices.ca/eph.asp">http://www.albertahealthservices.ca/eph.asp</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabular summary of sulphur dioxide concentrations in air and a description of associated potential health effects</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Alberta Health and Wellness (2006)

### 3.1.2 Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of SO<sub>2</sub> – A Technical Review

This document (Alberta Health and Wellness 2006) provides the supporting data for the development of the acute health effects summarized in Alberta Health (2012). A comprehensive data review was completed and the results are incorporated in the human health and ecological effects data summaries in Sections 3.2 and 3.4. Alberta Health and Wellness (2006) also provides a summary of epidemiological studies that cannot directly be translated into concentration effects, and this information is excluded from the data review in Section 3.2.

**Table 3-2 Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of SO<sub>2</sub> – A Technical Review**

Name	Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of Sulphur Dioxide – A Technical Review
Country	Canada
Year of Publication	2006
Governing Body/ Stakeholders	Alberta Health and Wellness
Key Words	Ecosystem effects, human effects, primary literature review
Overview of Document	This document provides a comprehensive review of the available primary scientific literature on sulphur dioxide in order to develop a quantitative understanding of the dose-response relationship between short-term exposure to sulphur dioxide and health effects.
Website	<a href="http://www.health.gov.ab.ca">http://www.health.gov.ab.ca</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Only primary studies published in peer-reviewed publications were considered for the review</li> <li>• Unbiased assessment of scientific literature, not a re-reporting of previously published reviews</li> <li>• Included 347 studies, comprised of human clinical studies, animal toxicology studies, and population studies and case reports</li> <li>• Studies were critically assessed and ranked based on technical quality, experimental design, conduct, and reporting</li> <li>• Common limitations identified: too few study subjects, too few exposure concentrations, failure to follow Good Laboratory Practice guidelines, failure to follow conventional testing protocols, critical information missing, and unmeasured or unreported exposure concentrations/times</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Alberta Health Services (2012)

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

### 3.1.3 SO<sub>2</sub> Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit

This report (Rio Tinto Alcan 2013) provides an extensive review of epidemiological studies for human health effects, as well as vegetation effects from exposure to sulphur dioxide. The epidemiological studies are evaluated and selected studies are included in the data summaries in Section 3.2 and 3.4.

**Table 3-3 SO<sub>2</sub> Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit, Kitimat Modernization Project**

Name	Sulphur Dioxide Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit, Kitimat Modernization Project
Country	Canada
Year of Publication	2013
Governing Body/ Stakeholders	Rio Tinto Alcan
Key Words	Human health effects, vegetation effects
Overview of Document	This document reviews health effects from sulphur dioxide in air
Website	<a href="ftp://ftp.geobc.gov.bc.ca/publish/Regional/Smithers/RTA%20STAR%20-%20Skeena/">ftp://ftp.geobc.gov.bc.ca/publish/Regional/Smithers/RTA%20STAR%20-%20Skeena/</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Summarizes quantitative data from epidemiological studies on short-term and long-term exposure for humans, as well as ecological effects.</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Based on U.S. EPA (2008) and a literature review for scientific literature published after the U.S. EPA review

### 3.1.4 U.S. EPA Integrated Science Assessment for Sulphur Oxides – Health Criteria

This document (U.S. EPA 2008) provides a review of health effects for exposure to SO<sub>2</sub> for the development of NAAQS. The results are incorporated in the human health and ecological effects data summaries in Sections 3.2 and 3.4 and discussion in Section 3.3.



*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review***Table 3-4 U.S. EPA Integrated Science Assessment for Sulphur Oxides – Health Criteria**

Name	Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides
Country	USA
Year of Publication	2008
Governing Body/ Stakeholders	United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA)
Key Words	Human health effects, ecological effects
Overview of Document	This is a concise review and evaluation of the most policy-relevant science for the development of primary (health-based) NAAQS. It includes review of toxicological studies of health effects in laboratory animals, human clinical studies of health effects for exposure to SO <sub>x</sub> and epidemiologic studies of health effects from short- and long-term exposure to SO <sub>x</sub> .
Website	<a href="http://www.epa.gov">http://www.epa.gov</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides review of human health effects studies for SO<sub>2</sub></li> <li>• Provides review of laboratory animal effects studies for SO<sub>2</sub></li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Reviews other literature sources

**3.1.5 2006 Health Effects Institute Annual Conference**

This document (Lippmann 2006) provides a review of epidemiological data related to human health effects from exposure to sulphur dioxide. Relevant data are considered in the data summary presented in Section 3.2.

**Table 3-5 2006 Health Effects Institute Annual Conference**

Name	Update on Sulfur Dioxide: Its Health Effects and Its Role as a Surrogate Exposure Index of Other Toxicants
Country	USA
Year of Publication	2006
Governing Body/ Stakeholders	New York University School of Medicine
Key Words	Human health effects
Overview of Document	Reviews recent (2005) human health effects studies and summarizes findings.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides review of human health effects studies for SO<sub>2</sub></li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Reviews other literature sources

### 3.1.6 Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals

This document (NRC 2010) provides a review of toxicity data related to human health effects and animal toxicity from exposure to sulphur dioxide. Relevant data are considered in the data summary presented in Sections 3.2 and 3.4.

**Table 3-6 Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals**

Name	Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals
Country	USA
Year of Publication	2010
Governing Body/ Stakeholders	National Research Council (NRC)
Key Words	Human health effects, ecological effects
Overview of Document	This document provides a summary of literature studies on human health effects studies and animal toxicity tests in support of acute exposure guideline levels.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Summarizes human health effects studies</li> <li>• Summarizes animal toxicity tests</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Reviews other literature sources

### 3.1.7 Analysis of SO<sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2012

This report (Setton *et al.* 2013) provides an analysis of data collected in the James Bay neighbourhood of Victoria, British Columbia for the evaluation of the impact of sulphur-containing fuels used by cruise ships on the local air quality. The purpose of the study was to evaluate the ambient SO<sub>2</sub> concentrations with the current guidelines and objectives and to determine the frequency of exceedances, to provide further information on the pattern of SO<sub>2</sub> concentrations and how they relate to cruise ship visits and meteorological conditions, and to provide data for the comparison with previous SO<sub>2</sub> concentrations in previous years. While this document provides measured SO<sub>2</sub> concentrations and discusses air quality guidelines and objectives, it does not discuss quantitative human health effects data.

**Table 3-7 Analysis of SO<sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2012**

Name	Analysis of Sulfur Dioxide Levels, James Bay Neighbourhood
Country	Canada
Year of Publication	2013
Governing Body/ Stakeholders	British Columbia Ministry of Environment
Key Words	Monitoring data for ambient air
Overview of Document	Report provides an analysis of data collected in the James Bay neighbourhood of Victoria, British Columbia to evaluate the impact of sulphur-containing fuels used by cruise ships on the local air quality.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides monitoring data related to sulphur dioxide levels under various conditions and correlation with cruise ships</li> <li>• Vancouver Island Health Authority health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative monitoring data, and reports health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> <li>• Does not provide unique quantitative information related to health effects</li> </ul>
Related Documents	Setton and Poplawski 2012; Poplawski and Setton 2010; Vancouver Island Health Authority 2010

**3.1.8 Analysis of SO<sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2011**

This report (Setton and Poplawski 2012), similar to Setton *et al.* (2013), provides an analysis of data collected in the James Bay neighbourhood of Victoria, British Columbia for the evaluation of the impact of sulphur-containing fuels used by cruise ships on the local air quality. While this document provides measured SO<sub>2</sub> concentrations and discusses air quality guidelines and objectives, it does not discuss quantitative human health effects data.

**Table 3-8 Analysis of SO<sub>2</sub> Levels – James Bay Neighbourhood 2011**

Name	Analysis of Sulfur Dioxide Levels, James Bay Neighbourhood
Country	Canada
Year of Publication	2012
Governing Body/ Stakeholders	British Columbia Ministry of Environment
Key Words	Monitoring data for ambient air
Overview of Document	Report provides an analysis of data collected in the James Bay neighbourhood of Victoria, British Columbia to evaluate the impact of sulphur-containing fuels used by cruise ships on the local air quality.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides monitoring data related to sulphur dioxide levels under various conditions and correlation with cruise ships</li> <li>• Vancouver Island Health Authority health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative monitoring data, and reports health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> <li>• Does not provide unique quantitative information related to health effects</li> </ul>
Related Documents	Setton <i>et al.</i> 2013; Poplawski and Setton 2010; Vancouver Island Health Authority 2010

### 3.1.9 MAML – James Bay Air Quality Study, Data Collection Report

This report (Poplawski and Setton 2010) summarizes monitoring data collected under various conditions for the purposes of correlating measured sulphur dioxide levels with cruise ships in the vicinity of the sampling site. While this document provides measured SO<sub>2</sub> concentrations and discusses air quality guidelines and objectives, it does not discuss quantitative human health effects data.

**Table 3-9 MAML – James Bay Air Quality Study, Data Collection Report**

Name	Mobile Air Monitoring Laboratory (MAML), Data Collection Report – James Bay Air Quality Study, June – August 2009
Country	Canada
Year of Publication	2010
Governing Body/ Stakeholders	Vancouver Island Health Authority, British Columbia Ministry of Environment
Key Words	Monitoring data for ambient air
Overview of Document	Report provides an analysis of data collected in the James Bay neighbourhood of Victoria, British Columbia to evaluate the impact of sulphur-containing fuels used by cruise ships on the local air quality.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides monitoring data related to sulphur dioxide levels under various conditions and correlation with cruise ships</li> <li>• Vancouver Island Health Authority health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative monitoring data, and reports health guidelines for ambient sulphur dioxide</li> <li>• Does not provide unique quantitative information related to health effects</li> </ul>
Related Documents	Setton <i>et al.</i> 2013; Poplawski and Setton 2010; Vancouver Island Health Authority 2010

### 3.1.10 Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring

This document (VIHA 2010) reviews the data collected for the James Bay air quality monitoring (Poplawski and Setton 2010) and evaluates the potential for health effects in the community. Some discussion on specific health effects is provided based on exceedances of the WHO guidelines.

**Table 3-10 Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring**

Name	Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring
Country	Canada
Year of Publication	2010
Governing Body/ Stakeholders	Vancouver Island Health Authority
Key Words	Mitigation, potential health effects
Overview of Document	Review and Response of the 2009 data described in the MAML Report (Poplawski and Setton 2010) to provide a public health assessment and provide recommendations on actions to mitigate potential health impacts.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Review and response based on WHO guidelines, rather than current Canadian or BC guidelines, which are not as stringent as the WHO guidelines</li> <li>• Provides mitigating actions</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative, discusses potential health effects associated with exceedances of the WHO guidelines</li> </ul>
Related Documents	Setton <i>et al.</i> 2013; Setton and Poplawski 2012; Poplawski and Setton 2010

### 3.1.11 Burrard Inlet Area Local Air Quality Study, Monitoring Program Results

This document (Metro Vancouver 2012) provides a detailed analysis of data collected through an air quality monitoring program developed for the Burrard Inlet Area of Vancouver, British Columbia. Discussion of health effects associated with air pollutants is provided, as well as comprehensive investigation of air quality results and potential related sources of the air pollutants. While this document provides measured SO<sub>2</sub> concentrations and discusses potential health effects, it does not discuss quantitative human health effects data.

**Table 3-11 Burrard Inlet Area Local Air Quality Study, Monitoring Program Results**

Name	The Burrard Inlet Area Local Air Quality Study, Monitoring Program Results
Country	Canada
Year of Publication	2012
Governing Body/ Stakeholders	Metro Vancouver
Key Words	Monitoring data for ambient air
Overview of Document	This document provides a summary of the results of the monitoring program developed for the Central Burrard Inlet Area (CBIA) air quality. The monitoring program was designed to determine how air quality in the CBIA compares to other local areas, to evaluate the spatial and temporal variability in air pollutants, and to provide information for the determination of the major sources for air pollutants.
Website	<a href="http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx">http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides an overview of health effects associated with air pollutants, including SO<sub>2</sub></li> <li>• Provides detailed analysis of data from monitoring program</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative monitoring data</li> <li>• Qualitative discussion of health effects</li> </ul>
Related Documents	N/A

**3.1.12 2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary**

This document (Metro Vancouver 2013) provides a summary of air quality data collected through the Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Network in British Columbia. While this document provides measured SO<sub>2</sub> concentrations and discusses air quality objectives, it does not discuss quantitative human health effects data.

**Table 3-12 2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary**

Name	2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary
Country	Canada
Year of Publication	2013
Governing Body/ Stakeholders	Metro Vancouver
Key Words	Monitoring data for ambient air
Overview of Document	This document provides a summary of the results of air quality monitoring data collected by the Lower Fraser Valley (LFV) Air Quality Monitoring Network. The report provides a summary of air quality monitoring activities and programs completed in 2012, as well a report on the state of ambient air quality in the area.
Website	<a href="http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx">http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx</a>
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provides trends in pollutant levels measured over time</li> <li>• Compares monitoring results to established objectives</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative monitoring data</li> </ul>
Related Documents	N/A

**3.1.13 Morbidity & SO<sub>2</sub>: Evidence from French Strikes at Oil Refineries**

This document (Neidell and Lavaine 2012) evaluated respiratory outcomes during a temporal shut down at an oil refinery. A discussion of other literature sources is provided.

**Table 3-13 Morbidity & SO<sub>2</sub>: Evidence from French Strikes at Oil Refineries**

Name	Morbidity and Sulfur Dioxide: Evidence from French Strikes at Oil Refineries
Country	USA/France
Year of Publication	2006
Governing Body/ Stakeholders	Columbia University/Paris School of Economics
Key Words	Human health effects
Overview of Document	Assessed the impact of change in air pollution concentration during a temporal shut down at oil refineries on respiratory outcomes. Results suggest that daily variation in SO <sub>2</sub> air pollution has health effects at levels below the current standard.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combines pollution concentration measures for SO<sub>2</sub> with simultaneous measure of morbidity, weather, and socioeconomic data (i.e., daily change in SO<sub>2</sub> on the number of respiratory hospital admissions)</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantitative</li> </ul>
Related Documents	Setton <i>et al.</i> 2013; Setton and Poplawski 2012; Poplawski and Setton 2010

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

### 3.1.14 Association of Daily SO<sub>2</sub> Air Pollution Levels with Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Europe (The Apeha-II Study)

This document (Sunyer *et al.* 2003) evaluates short-term effects of sulphur dioxide in ambient air on hospital admissions for cardiovascular diseases. The qualitative information provided is not incorporated in the data summary in Section 3.2.

**Table 3-14 Association of Daily SO<sub>2</sub> Air Pollution Levels with Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Europe (The Apeha-II Study)**

Name	The Association of Daily Sulfur Dioxide Air Pollution Levels with Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Europe (The Apeha-II study)
Country	Spain and Europe
Year of Publication	2003
Governing Body/ Stakeholders	N/A
Key Words	Human health effects
Overview of Document	This study assesses the short-term effects of SO <sub>2</sub> air pollution levels on hospital admissions for cardiovascular diseases.
Website	N/A
Key Feature(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistical evaluation of cardiovascular hospital admissions in cities across Europe with daily SO<sub>2</sub> levels</li> <li>• Analysis of association with other factors, such as humidity, climatic, smoking, socio-economic variables</li> </ul>
Qualitative or Quantitative?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitative</li> </ul>
Related Documents	Provides data from other literature sources



**3.2 SUMMARY OF AVAILABLE DATA – HUMAN HEALTH EFFECTS**

Tables 3-15 to 3-19 provide a summary of the available quantitative concentrations related to human health effects from exposure to sulphur dioxide. The selected exposure durations are based on health criteria that are currently being used by the British Columbia, U.S. EPA (2008), and the WHO (2006):

- Table 3-15 Acute exposure (<10 minutes)
- Table 3-16 Short-term exposure (10 minutes to 1 hour)
- Table 3-17 Moderate exposure (>1 hour to 6 hour)
- Table 3-18 24-hour duration
- Table 3-19 Annual duration

Table 3-20 provides a summary of data from epidemiological studies that were not considered due to limitations in the available data. In some cases, the exposure duration is not provided or is not relevant for the current evaluation; in others, results from the multi-pollutant analysis are not significant and these studies were considered to be inconclusive.

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Table 3-15 Human Health Effects – Acute Exposure (&lt;10 min)

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
260 (0.1)	3 min	Bronchoconstriction, occurred at lower concentrations in dry air than in humidified air	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Sheppard <i>et al.</i> 1984
500 (0.2)	5 min	No effect	Adult asthmatics	Linn <i>et al.</i> 1983
600 (0.25)	10 min	Increased airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Bethel <i>et al.</i> 1985
800 (0.3)	10 min	Increased bronchoconstriction, returned to normal levels 30 min after exposure	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1988
1,048 to 1,572 (0.4 to 0.6)	5-10 min	Decreased lung function with respiratory symptoms (e.g., wheezing, chest tightness)	Exercising mild to moderate asthmatics	U.S. EPA 2008
1,130 (0.4)	5 min	69% increase in specific airway resistance, 10% reduction in maximum flow calculated at 50% vital capacity and maximum flow calculated at 75% vital capacity	Adult asthmatics	Linn <i>et al.</i> 1983
1,300 (0.5)	3 min	Increased specific airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Sheppard <i>et al.</i> 1983
1,300 (0.5)	1 to 5 min	Dryness, irritation, burning of throat	Healthy adults	Kreisman <i>et al.</i> 1976
1,300 (0.5)	1 to 5 min	Chest tightness, wheezing, dyspnea	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Balmes <i>et al.</i> 1987
1,300 (0.5)	5 min	Increased bronchoconstriction, increased specific airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Bethel <i>et al.</i> 1983
1,300 (0.5)	10 min	Dose-dependent change in respiratory function	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Gong <i>et al.</i> 1995
1,300 (0.5)	10 min	Reduction in forced expiratory volume in 1 second, maximum flow calculated at 50% vital capacity, and maximum flow calculated at 75% vital capacity	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Trenga <i>et al.</i> 1999
1,600 (0.6)	5 min	Decreased respiratory function	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1984
1,600 (0.6)	10 min	Decreased respiratory	Adults with asthma or	Linn <i>et al.</i> 1983

000414  
v7A

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
		function	other chronic pulmonary disease	
1,600 (0.6)	5 min	Increased specific airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1985
2,000 (0.75)	5 min	Increased airway resistance with hyperventilation		Islam <i>et al.</i> 1994
2,000 (0.75)	10 min	Increased specific airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1983
<2,600 (<1)	1 to 5 min	Chest tightness, wheezing, dyspnea	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Witek <i>et al.</i> 1985
2,600 (1)	1 to 5 min	Increased airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Tam <i>et al.</i> 1988, Balmes <i>et al.</i> 1987
2,600 (1)	0.5 to 1 min	No specific airway resistance effect	Male asthmatics	Horstman <i>et al.</i> 1988
2,600 (1)	2 to 5 min	Increased specific airway resistance	Male asthmatics	Horstman <i>et al.</i> 1988
2,800 to 22,600 (1 to 8)	10 min	Decreased respiratory volume and increased respiratory rate	Healthy male adults	Amdur <i>et al.</i> 1983
5,200 (2)	4 min	Changes in airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Tam <i>et al.</i> 1988
5,300 (2)	10 min	Changes in airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Horstman <i>et al.</i> 1986
13,000 (5)	10 min	Decreased airway conductance in all subject		Sheppard <i>et al.</i> 1980
14,100 (5)	10 min	Dryness in throat and upper respiratory passages	Healthy male adults	Amdur <i>et al.</i> 1983
25,000 (9)	25 seconds	Significant decrease in breathing depth (deviation of 10%)	Non-smoking healthy volunteers	Kleinbeck <i>et al.</i> (2011)
26,000 (10)	3 min	Bronchial obstruction, returned to control levels by 45-60 min after exposure	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Gokemeijer <i>et al.</i> 1973
39,000 (15)	10 min	Increased pulmonary flow resistance (greater with oral exposure than nasal exposure)	Health adults	Speizer and Frank 1966b

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Table 3-16 Human Health Effects – Short-Term Exposure (10 min to 1 hr)

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
300 (0.1)	15 min	Slight reduction in forced expiratory volume in 1 second, maximum flow calculated at 50% vital capacity	Children or adolescents with asthma or other chronic pulmonary disease	Koenig <i>et al.</i> 1990
530 (0.2)	1 hr	Increase in heart rate variability (total power) among healthy subjects, reduction in heart rate variability observed in asthmatics; No significant effect on lung function, respiratory symptoms, markers of inflammation, or antioxidant levels.	12 healthy adults, 12 asthmatics	Tunncliffe <i>et al.</i> 2001, 2003
700 (0.25)	10 to 40 min	No effect	Healthy and asthmatic adults, exercising and non-exercising	Schacter <i>et al.</i> 1984
1,130 (0.4)	20 min	No effects on respiratory function parameters, throat irritation, concentration dependent	Healthy non-smoking adults	Sandstrom <i>et al.</i> 1988
1,300 (0.5)	30 min	Increased airway resistance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Jorres and Magnussen. 1990
1,300 (0.5)	30 min	Dose-dependent effect on forced expiratory volume in 1 second, maximum flow calculated at 50% vital capacity, and maximum flow calculated at 75% vital capacity	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	McManus <i>et al.</i> 1989
1,300 (0.5)	50 min	Reduction in forced expiratory volume in 1 second, maximum flow calculated at 50% vital capacity, and maximum flow calculated at 75% vital capacity	Children or adolescents with asthma or other chronic pulmonary disease	Koenig <i>et al.</i> 1985
1,300 (0.5)	1 hour	No effect – no significant effect on pulmonary function parameters for asthmatics	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Bailey <i>et al.</i> 1982
1,400 (0.5)	10 to 40 min	No effects	Non-exercising asthmatics	Schacter <i>et al.</i> 1984
1,400 (0.5)	20 min	Increase 131% in specific airway resistance	Adult asthmatics	Magnussen <i>et al.</i> 1990

000415

v. 74.

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
1,550 (0.55)	10 min	No nasal or eye irritation	Healthy adults	Dautrebrande and Capps 1950
1,600 (0.6)	1 hour	No effect – no significant pulmonary effects for normal and atopic subjects with exercise	Healthy adults and adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1987
2,100 (0.75)	10 to 40 min	Increased specific airway resistance, decrease FEF and FEV1	Exercising asthmatics	Schacter <i>et al.</i> 1984
2,100 (0.8)	1 hour	No effect – no effect on pulmonary function for patients with COPD with exercise	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Linn <i>et al.</i> 1985b
2,600 (1)	15 min	Decreased maximum expiratory flow from one half vital capacity	Healthy adults	Snell and Luchsinger 1969
2,600 (1)	30 min	Functional impairment of alveolar macrophages		Knorst <i>et al.</i> 1996
2,600 (1)	1 hr	Increased specific airway conductance	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Kehrl <i>et al.</i> 1987
2,600 (1)	10 to 40 min	Increased specific airway resistance, decrease FEF and FEV1	Exercising asthmatics	Schacter <i>et al.</i> 1984
2,600 (1)	40 min	No effect – no changes in pulmonary function for healthy subjects	Healthy adults	Schachter <i>et al.</i> 1984
2,600 (1)	10 to 30 min	No effects	Healthy male adults	Frank <i>et al.</i> 1962
2,600 to 5,600 (1 to 2)	30 min	No effects	Health non-smoking male adults	Frank <i>et al.</i> 1964
5,200 (2)	30 min	No effect – no changes in pulmonary function while free breathing, forced oral, and forced nasal	Healthy adults	Bedi and Horvath 1989
5,300 (2)	30 min	Difference in ventilatory parameters between forced oral and free-breathing exposures	Healthy adults	Bedi and Horvath 1989
5,600 (2)	20 min	Throat irritation, concentration dependent	Healthy non-smoking adults	Sandstrom <i>et al.</i> 1988
6,600 (2.5)	10 min to 1 hr	Decreased specific airway conductance (greater in oral exposure than nasal exposure)	Healthy adults	Melville 1970
6,600 (2.5)	30 min	Dose-dependent increase in ciliary beat frequency		Kienast <i>et al.</i> 1994, Kienast <i>et al.</i> 1996
9,400 (3.6)	30 min	No effect – no significant changes in pulmonary function parameters after	Healthy adults	Burton <i>et al.</i> 1969

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
		exposure with normal breathing and hyperventilation		
10,000 (4)	20 min	Increased alveolar activity in bronchoalveolar lavage	Healthy adults	Sandstrom <i>et al.</i> 1989a
11,300 (4)	20 min	Throat irritation, concentration dependent, Nasal irritation in 5 out of 8 participants	Healthy non-smoking adults	Sandstrom <i>et al.</i> 1988
11,300 to 16,900 (4 to 6)	30 min	Increase in pulmonary flow resistance	Health non-smoking male adults	Frank <i>et al.</i> 1964
14,100 (5)	10-30 min	39% increase in pulmonary flow resistance	Healthy male adults	Frank <i>et al.</i> 1962
21,000 (8)	20 min	Increases in macrophages, lymphocytes, and mast cells in bronchoalveolar lavage	Healthy adults	Sandstrom <i>et al.</i> 1989b
37,000 (13)	10-30 min	72% increase in pulmonary flow resistance, peak response 5-10 min	Healthy male adults	Frank <i>et al.</i> 1962
42,000 (15)	10 min	Increase pulmonary flow resistance, 3% nose, 20% mouth	Health non-smoking male adults	Frank <i>et al.</i> 1964
82,000 (29)	10 min	Increase pulmonary flow resistance, 18% nose, 65% mouth	Health non-smoking male adults	Frank <i>et al.</i> 1964

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

**Table 3-17 Human Health Effects – Moderate Exposure (>1-hr to 6 hr)**

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
520 (0.2)	6 hr	No significant effect on pulmonary function in asthmatics	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Devalia <i>et al.</i> 1994
520 (0.2)	6 hr	Confirmed Devalia <i>et al.</i> (1994) – no significant effect on pulmonary function	13 asthmatics	Rusznak <i>et al.</i> 1996
1,000 (0.4)	2 hr	No change in forced expiratory volume in 1 second in healthy males with moderate exercise	Healthy adults	Bedi <i>et al.</i> 1979 Bedi <i>et al.</i> 1982
1,300 (0.5)	3 hr	No effect on pulmonary function parameters	Healthy adults	Jaeger <i>et al.</i> 1979
2,000 (0.75)	4 hr (with 2 – 15 min exercise periods)	No effect on pulmonary function during or after exposure with exercise in healthy subjects	Healthy adults	Stacy <i>et al.</i> 1983
2,000 (0.75)	2 hr	Increased specific airway resistance	Healthy adults	Stacy <i>et al.</i> 1977
2,000 (0.75)	3 hr	Increased specific airway resistance, decreased to pre-exposure levels after 1 hr of exposure	Adults with asthma or other chronic pulmonary disease	Hackney <i>et al.</i> 1984
13,000 (5)	4 hr	Decreased nasal mucous flow rate	Healthy adults	Anderson <i>et al.</i> 1977

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Table 3-18 Human Health Effects – 24-Hour Exposure

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
5.0 to 18.1 (0.002 to 0.006)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean values)	Diastolic blood pressure significantly increased, systolic blood pressure significantly decreased, and pulse blood pressure significantly decreased with increasing SO <sub>2</sub> concentrations	9,238 non-smoking adults (age >30 yrs)	Chen <i>et al.</i> 2012
5.5 to 21.1 (0.002 to 0.007)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean values)	Increasing trend in emergency room visits for gastroenteric disorders. No multi-pollutant analysis was completed.	0 to 2 year old children in 6 Italian cities	Orazio <i>et al.</i> 2009
5.9 to 19.7 (0.002 to 0.007)	24-hr average median	Asthma symptoms	990 asthmatic children	Scildcrout <i>et al.</i> 2006
10.9 (0.004)	24-hr average median	Cough incidence	1,844 children grades 2-5	Schwartz <i>et al.</i> 1994
12.5, 14.4 (0.005)	24-hr average median	Cough, shortness of breath, wheeze	162 9 yr olds	Ward <i>et al.</i> 2002a,b
15.1 (0.006)	24-hr average	Cough, lower respiratory symptoms, upper respiratory symptoms	Children (7-11 yrs) from 1 industrial community and 3 non-industrial community	Hoek and Brunekreef 1994
16 (0.006)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean value)	Statistical association with risk of suicide	Canadian cities	Szyszkowicz <i>et al.</i> 2010
22 (0.008)	24-hr average	Asthma, wheeze	Children with physician-diagnosed asthma age 7-15	Segala <i>et al.</i> 1998
44.81, range 9.62 to 169 (0.02 , range 0.003 to 0.06)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean value)	Significant association between SO <sub>2</sub> and hospital admissions for acute outbursts of rheumatic disease. Single-pollutant analysis only and authors suggested SO <sub>2</sub> could be a marker of particulate air pollution in general.	Children and adolescents in Brazil	Vidotto <i>et al.</i> 2012
75 (0.028)	24-hr average	Wheeze	Children (7-11 yrs) from 1 industrial community and 3 non-industrial community	Pikhart <i>et al.</i> 2000



*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

**Table 3-19 Human Health Effects – Annual Exposure**

<b>Concentration µg/m<sup>3</sup> (ppm)</b>	<b>Concentration Type</b>	<b>Effects</b>	<b>Study Details</b>	<b>Reference</b>
6.3 and 72.6 (0.002 and 0.03)	10-year average concentration	Significant increase in respiratory disease with an increase in concentration. Significant increase in lung cancer mortality with an increase in concentration. Single pollutant model.	63,500 individuals in Japan	Katanoda <i>et al.</i> 2011
10 and 15 (0.004 and 0.005)	Annual average concentrations	Significant link between SO <sub>2</sub> and allergic rhinitis, single pollutant analysis		Bhattacharyya 2009
50 (0.02)	Three-year average concentration	Significant link with allergic rhinitis in a single pollutant analysis, but no significance in the multi-pollutant analysis		Dong <i>et al.</i> 2011

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Table 3-20 Human Health Effects – Epidemiological Study Results

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Concentration Details	Effects	Study Details	Reference
<b>Respiratory Effects</b>				
5 to 13.7 (0.002 to 0.005)		Increased prevalence of “usual” cough and phlegm, but no connection with asthma prevalence	Older adults in France	Bentayeb <i>et al.</i> 2010
23 and 36 (0.008 to 0.013)		Negative effect on lung function parameters (forced vital capacity, forced expiratory volume, peak expiratory flow)	Children	Linares <i>et al.</i> 2010
60 to 641 (0.02 to 0.23)	Indoor concentrations	Significant association with asthma symptoms		Zhao <i>et al.</i> 2008
524 to 786 (0.19 to 0.28)		5-30% of subjects experienced decreased lung function	Exercising mild to moderate asthmatics	U.S. EPA 2008
> 2,620 (> 0.9)		Decreased lung function	Exercising individuals without asthma	U.S. EPA 2008
<b>Cardiovascular Effects</b>				
1.3, 75 <sup>th</sup> percentile 2.0 (0.0005, 0.0008)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean values)	No clear relationship between out-of-hospital cardiac arrests and SO <sub>2</sub> concentrations	Melbourne, Australia	Dennekamp <i>et al.</i> 2010
2.61 to 11.0 (0.001 to 0.004)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean values)	Daily non-trauma mortality significantly associated with an increase in SO <sub>2</sub> concentrations over 15 days. No significance found for 2-day average and 5-day average concentrations.	25,006 myocardial infarction survivors	Berglind <i>et al.</i> 2009
2.71, 95 <sup>th</sup> percentile 7.0 (0.001, 0.003)	24-hr average concentrations	positive but not statistically significant association for activations of cardioverter defibrillators among patients in London, UK.		Anderson <i>et al.</i> 2010
3.0 mean, range 2.0 to 8.9 (0.001 mean, range 0.0007 to 0.003)		Association with lipoprotein-associated phospholipase A2	200 survivors of myocardial infarction	Bruske <i>et al.</i> 2011
3.4, 95 <sup>th</sup> percentile 5.2 (0.001, 95 <sup>th</sup> percentile 0.0018)	Mean estimated residential exposure	Increasing trend of pulse wave velocity (an indicator of vascular damage and arterial stiffness) with increasing concentrations. No association with carotid artery intima-media thickness (an indicator of preclinical atherosclerosis).	Young adults	Lenters <i>et al.</i> 2010

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Concentration Details	Effects	Study Details	Reference
6.3 to 29.3 (0.002 to 0.01)	Mean hourly average	No significant effect on heart rate variability (HRV) or blood pressure	40 non-smoking patients with cardiovascular disease	Huang <i>et al.</i> 2012
6.6 (0.002)	Mean concentration	Significant positive association (0 lag days) with ischemic stroke in female patients. No significant association found for longer lag times in female patients or for male patients. After adjustment for O <sub>3</sub> and for CO (both 3 lag days) significant positive association with ischemic stroke in all patients. Link still significant in 3-pollutant analysis.	Patients in Vancouver	Szyszkowicz <i>et al.</i> 2012
7.3 +/- 1.3 (0.003 +/- 0.0005)	Mean concentrations	Statistically significant negative correlation for fibrinogen. No association for C-reactive protein and white blood cells.	2,203 healthy male participants. No statistically significant associations found for 1,456 female participants.	Steinvil <i>et al.</i> 2008
7.7 to 12 (0.003 to 0.004)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean values)	Linked a marker of inflammation (interleukin-6) with increased concentrations. No link with fibrinogen (another marker of inflammation).	45 healthy non-smoking adults	Thompson <i>et al.</i> 2010
9.2, interquartile range of 5.6 (0.003, interquartile range of 0.002)	Daily average SO <sub>2</sub> concentration (median value)	Higher sulphate concentrations had no association with increased fatality risk for acute myocardial infarction, stroke, or different subtypes of stroke.	Acute case fatality (within 28 days), multi-pollutant model	Turin <i>et al.</i> 2012
11.4, range 0.34 to 46.6 (0.004, range 0.0001 to 0.017)	Daily average SO <sub>2</sub> concentrations (mean value)	No significant association for hospital admissions for myocardial infarction in Taiwan.		Hsieh <i>et al.</i> 2010
13.6 (0.005)		No significant effects on electrocardiograms with SO <sub>2</sub> exposure during or 10 hours before	580 men	Baja <i>et al.</i> 2010
14.1 (0.005)	Annual average concentration	Positive association between annual average SO <sub>2</sub> concentrations and cardio-respiratory mortality, using population data, mortality data, and socioeconomic	Brisbane, Australia	Wang <i>et al.</i> 2009

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Concentration Details	Effects	Study Details	Reference
		indices, with single and multi-pollutant modelling		
24.3, range of 2.4 to 81.8 (0.009, range of 0.001 to 0.03)	Mean value of daily average concentration	Significant association between SO <sub>2</sub> concentrations and hospital admissions on cool days but not warm days. There was no significant association after adjustment for particulate air pollution or for carbon monoxide (warm or cool days). After adjustment for NO <sub>2</sub> , a significant negative association was seen on cool days.	Hospital admissions for myocardial infarction in Taiwan	Cheng <i>et al.</i> 2009
73, range of 11 to 174 (0.03, range of 0.004 to 0.06)	Average concentrations	Significant increase in total, respiratory, and cardiovascular mortality associated with increased concentrations, with adjustment for other pollutants. Adjusting for demographic, medical, and lifestyle determinants found an increase of 10 µg/m <sup>3</sup> in SO <sub>2</sub> concentration associated with 1.8% increase in total mortality, 3.2% increase in cardiovascular and respiratory mortality.	70,947 individuals from 31 Chinese cities	Cao <i>et al.</i> 2011
<b>Cancer Effects</b>				
73, range of 11 to 174 (0.03, range of 0.004 to 0.06)	Average concentration	Significant 4.2% increase in lung cancer mortality per 10 µg/m <sup>3</sup> increase in SO <sub>2</sub> concentration. The significance remained after adjusting for total suspended particles and nitric oxides.	70,947 individuals from 31 cities in China	Cao <i>et al.</i> 2011
<b>Other Effects</b>				
5.3 (summer) to 23.1 (winter) (0.002, 0.009)	Daily average concentrations, varied seasonally	Increase in outpatient visits for non-specific conjunctivitis. Not clear if observed effects attributable to SO <sub>2</sub> or other pollutants.		Chang <i>et al.</i> 2012
6.5 to 26.2 (0.002 to 0.009)	Mean levels	Link between SO <sub>2</sub> and depression	Canadian cities	Szyszkowicz <i>et al.</i> 2009a
9.4 (0.004)	Mean	No association between SO <sub>2</sub> and emergency department visits for migraine or other headaches		Mukamal <i>et al.</i> 2009

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Concentration Details	Effects	Study Details	Reference
12.3 (0.004)	Median monthly average concentration	Statistical association between monthly average deaths by suicide	Taiwan	Yang <i>et al.</i> 2011
15.0, maximum 41.7, interquartile range 4.8 (0.005, maximum 0.015, interquartile range 0.002)	Mean concentration	Significant increase in risk of stillbirth with increasing concentrations during first, second, and third months of pregnancy. Results were consistent in the single- pollutant and three-pollutant models.	Taiwan	Hwang <i>et al.</i> 2011
15.2 to 15.4 (0.005)	Mean concentrations for each trimester	Significant increasing trend in risk of stillbirth with increasing concentration in 1 <sup>st</sup> and 3 <sup>rd</sup> trimesters of pregnancy	Completed in NJ, USA	Faiz <i>et al.</i> 2012
15.6 to 29.3 (0.006 to 0.01)	Mean daily average levels	Significant effect of SO <sub>2</sub> on daily number of hospitalizations for epilepsy. When other pollutants were accounted for in the analysis, the statistical significance was lost.	Seven urban centers in Chile	Cakmak <i>et al.</i> 2010
51.7 (0.02)	Mean concentration	Significant effect on daily numbers of preterm births. Single- and multi-pollutant analyses completed.	Chinese city	Zhao <i>et al.</i> 2011
196 (0.07)		Association between migraine and SO <sub>2</sub> during increased volcanic emissions		Longo <i>et al.</i> 2010

### 3.3 DISCUSSION – HUMAN HEALTH EFFECTS

The following sections provide a comparison of the above summarized data with the available WHO, U.S. EPA, Canada and British Columbia guidelines and criteria as well as the Metro Vancouver objective levels which have been presented in Section 2. There are many more criteria available as discussed in Section 2. However, these five jurisdictions were considered to provide the most relevant criteria.

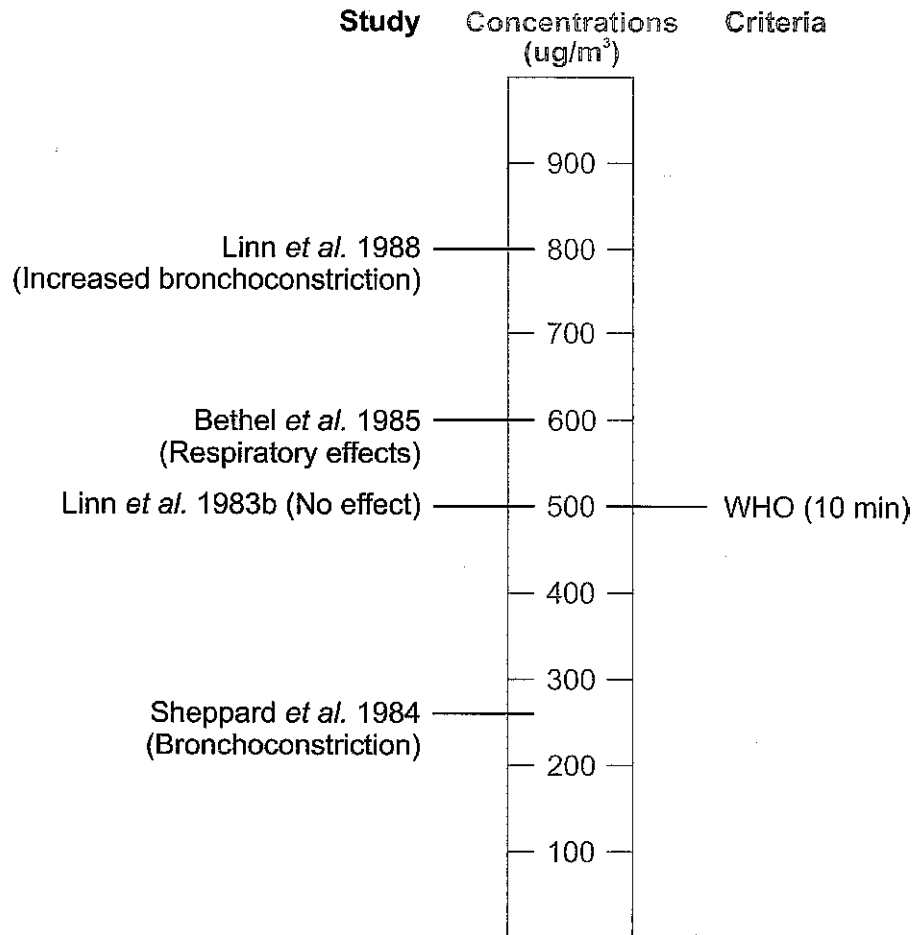
#### 3.3.1 Acute Exposure (<10 minutes)

The U.S. EPA (2008) has concluded that there is a clear, statistically significant increase in respiratory symptoms in exercising asthmatics after 5-10 minute exposures to 1,600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.6 ppm) to 2,660  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 ppm) concentrations of SO<sub>2</sub>. Less severe symptoms are observed at concentrations of 1,064  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.4 ppm) to 1,330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.5 ppm) in human clinical studies (U.S. EPA 2008). The U.S. EPA (2008) concluded that the severity and occurrence of respiratory symptoms in exercising asthmatic adults increases with increasing concentrations, between 532  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.2 ppm) and 1,600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.6 ppm), with statistically significant increases in symptoms at concentration greater than or equal to 1,064  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.4 ppm).

Regarding lung function, U.S. EPA (2008) concluded that effects were observed in exercising asthmatics with 5-10 minute exposures to 532  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.2 ppm) to 1,330  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.5 ppm) concentrations of SO<sub>2</sub>. An even greater percentage of the exercising asthmatics were affected at concentrations from 1,600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.6 ppm) to 2,660  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 ppm). An increase in sputum eosinophil counts (related to airways inflammation) was found in exercising asthmatics after 10-minute exposure to 2,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.75 ppm) (U.S. EPA 2008). Effects were observed 2 hours after the exposure.

Figure 3-1 provides a summary of selected values presented in Table 3-13 for acute duration exposure effects from SO<sub>2</sub> in comparison with the available air quality criteria. The WHO SO<sub>2</sub> guideline of 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for a 10-minute average (Table 2-5) is considered for comparison with acute exposures. As indicated in the figure, the WHO guideline is generally supported by the literature studies as it is less than levels associated with effects from literature. However, one study (Sheppard *et al.* 1984) indicated effects at a concentration of 260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  related to bronchoconstriction in adults with asthma or other chronic pulmonary disease with a 3-minute exposure. Effects were more pronounced in dry air than in humidified warm air (Alberta Health and Wellness 2006).

Figure 3-1 Summary of Acute Exposure (<10 minutes) Data



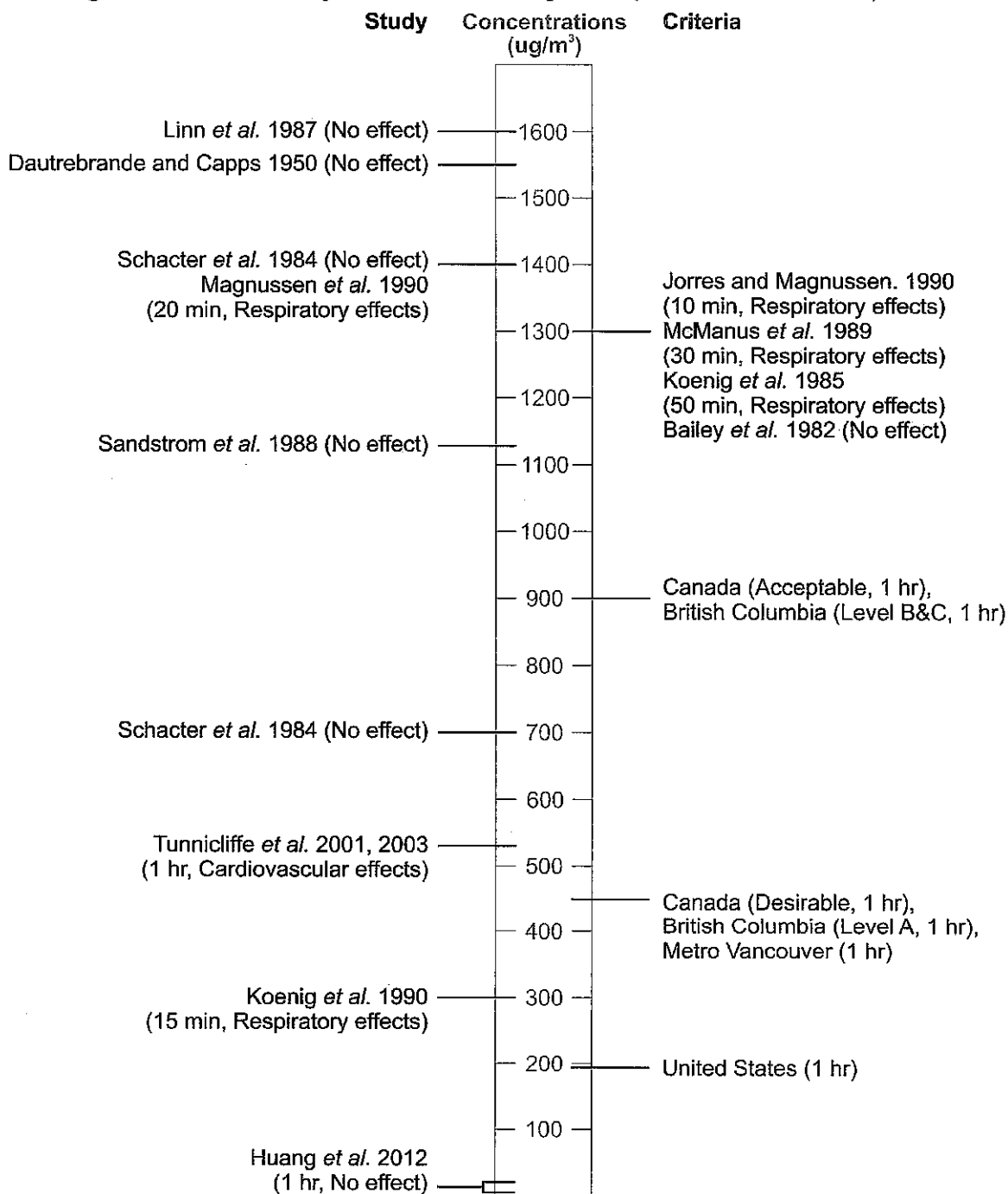
3.3.2 Short-Term Exposure (10 minutes to 1 hour)

Figure 3-2 provides a summary of selected values presented in Table 3-14 for short-term exposure effects from SO<sub>2</sub> in comparison with the available air quality criteria. Objectives for 1-hour average concentrations are available for Canada and British Columbia (Table 2-2). These are indicated on the figure along with the 1-hour average concentration standard for the United States (Table 2-5). As indicated in the figure, the United States standard of 196 µg/m<sup>3</sup> adopted in 2010 is lower than any of the available data from Table 3-14, as well as the other objectives from Canada and British Columbia. The “desirable” Canadian and British Columbia “Level A” objectives as well as the Metro Vancouver objective level of 450 µg/m<sup>3</sup> are below most of the available data from studies presented in Table 3-14. The exception is a study on adolescent asthmatics exposed for 15 minutes to SO<sub>2</sub> and a slight decrease in forced expiratory volume in 1-second and maximum flow calculated at 50% vital capacity was observed (Koenig *et al.* 1990).

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

The figure shows that the B.C and Canadian 1-hour objectives as well as the Metro Vancouver objective level may not be protective of all sensitive individuals.

**Figure 3-2 Summary of Short-Term Exposure (10 minutes to 1 hour) Data**





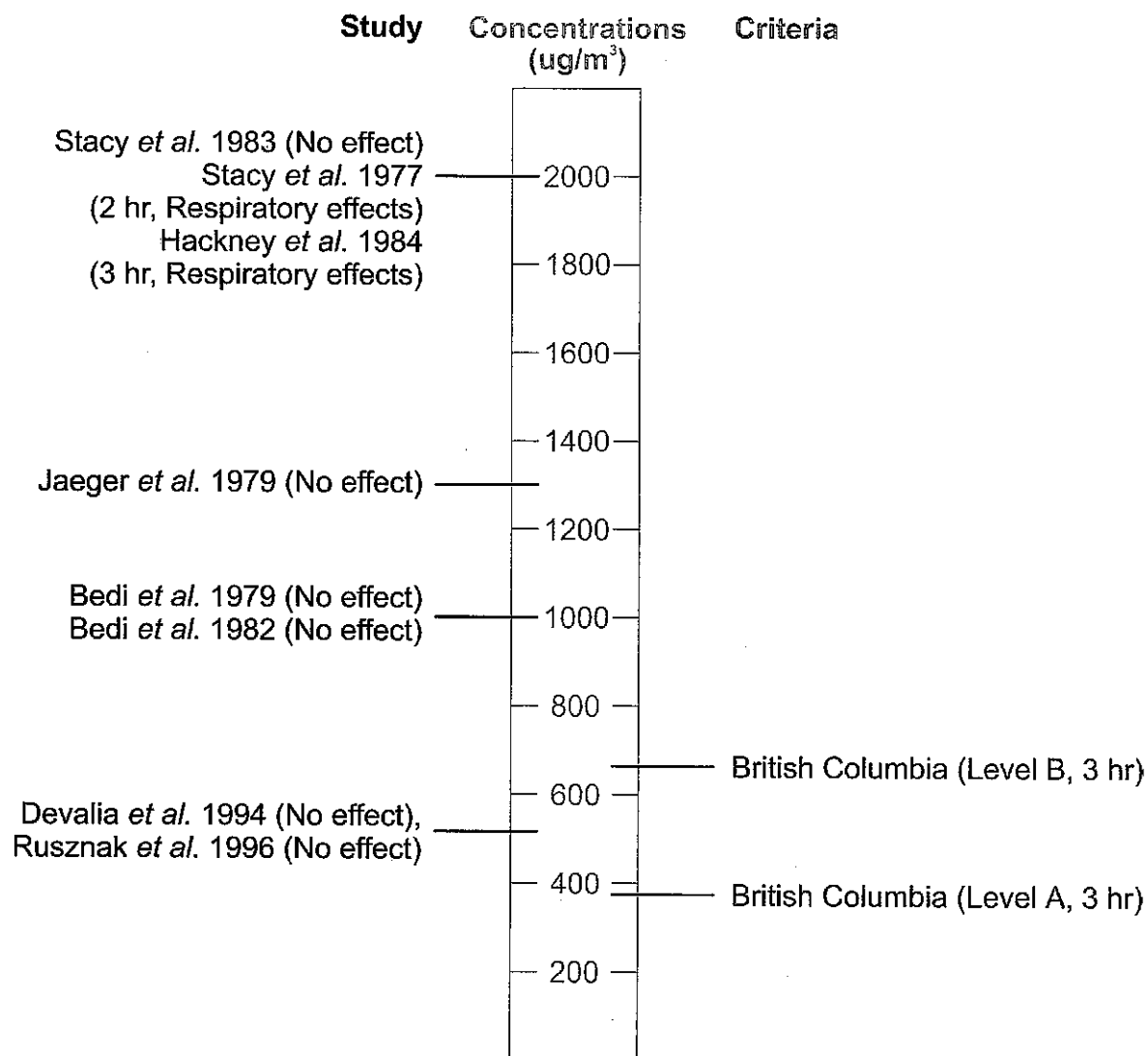
### 3.3.3 Moderate Exposure (>1 hour to 6 hours)

Epidemiologic studies reviewed in U.S. EPA (2008) supported an association between ambient SO<sub>2</sub> concentrations and increased respiratory symptoms in children, especially asthmatic children or those with other chronic respiratory symptoms. An observed association at a median range of 45 µg/m<sup>3</sup> (17 ppb) to 100 µg/m<sup>3</sup> (37 ppb) across cities for 3-hour average concentrations. Enhanced airways hyperresponsiveness to an inhaled antigen was observed with concurrent 6-hour exposure to 530 µg/m<sup>3</sup> (0.2 ppm) SO<sub>2</sub> and 0.4 ppm NO<sub>2</sub> among resting asthmatics (U.S. EPA 2008). The U.S. EPA (2008) found this to be consistent with other limited epidemiologic evidence that found an association with SO<sub>2</sub> and airways hyperresponsiveness in atopic individuals.

Figure 3-3 provides a summary of selected values presented in Table 3-15 for effects from moderate duration SO<sub>2</sub> exposure in comparison with the available air quality criteria. The British Columbia SO<sub>2</sub> criteria of 375 µg/m<sup>3</sup> and 665 µg/m<sup>3</sup> for a 3-hour average (Table 2-2) is considered for comparison with moderate duration exposures. As indicated in the figure, the British Columbia criteria are within the range of levels tested in studies that have shown no effect on pulmonary function. An increase in specific airway resistance was reported at a concentration of 2,000 µg/m<sup>3</sup> (Stacy *et al.* 1977, Hackney *et al.* 1984) in healthy adults after 2-hour exposure and asthmatic adults after 3-hour exposure. This figure shows that the B.C. objectives are protective of human health as most of the epidemiologic studies are related to no effects in the humans studied.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

**Figure 3-3 Summary of Moderate Exposure (>1 hour to 6 hour) Data**



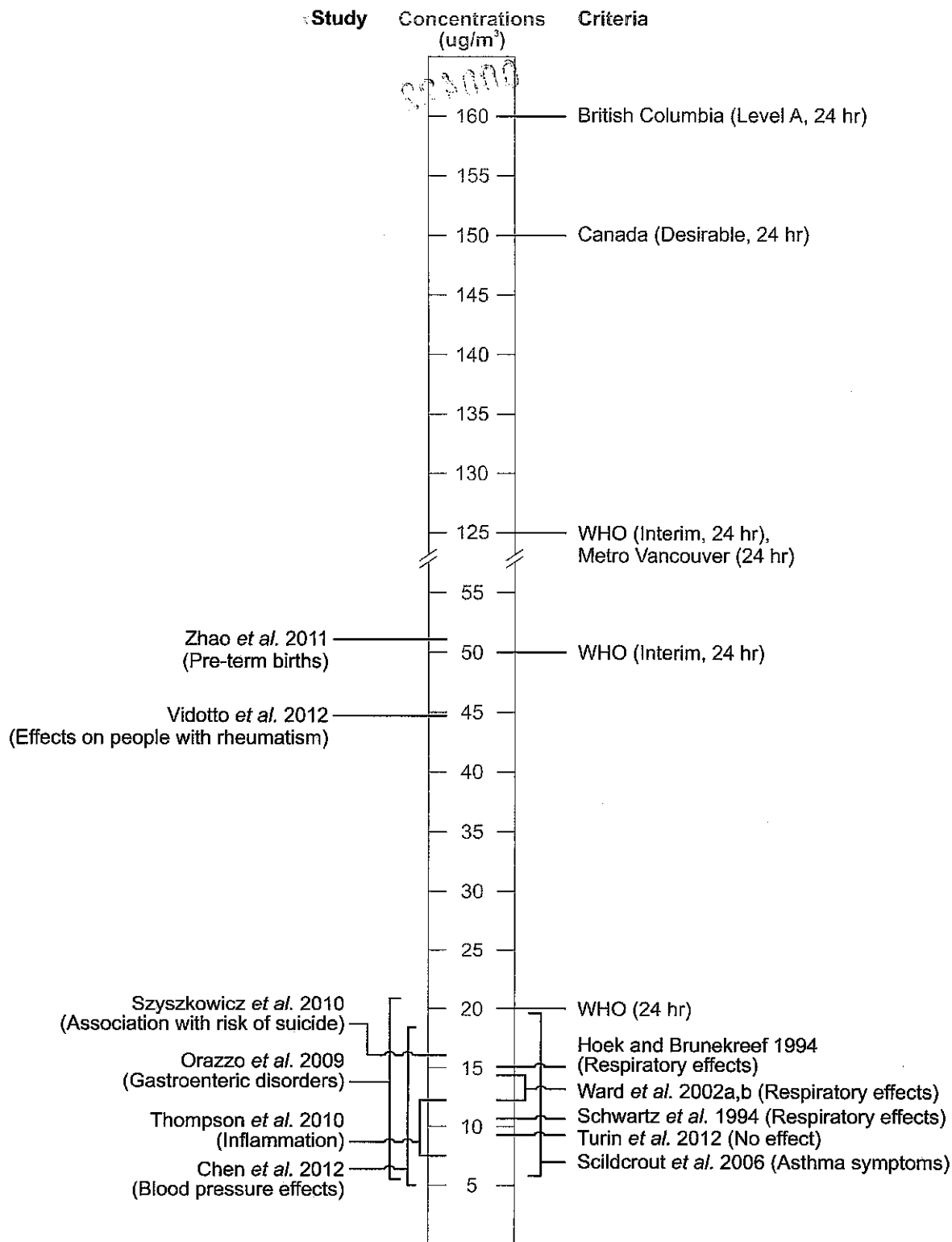
### 3.3.4 24-Hour Exposure

The U.S. EPA (2008) found that epidemiological studies consistently show aggravation of bronchitis at 24-hour average SO<sub>2</sub> concentrations of 505 µg/m<sup>3</sup> (0.19 ppm) to 612 µg/m<sup>3</sup> (0.23 ppm), and with some studies showing effects at levels below these concentrations. An association between ambient SO<sub>2</sub> concentrations of 5.8 µg/m<sup>3</sup> (2.2 ppb) to 19.7 µg/m<sup>3</sup> (7.4 ppb) and increased respiratory symptoms in children was also observed (U.S. EPA 2008). There is inconsistent epidemiological evidence for a similar connection for respiratory effects in adults, as well as for declines in lung function for children and adults (U.S. EPA 2008).

Based on epidemiologic studies, the U.S. EPA (2008) concluded that there was inadequate information to infer a causal relationship between short-term exposure to SO<sub>2</sub> and cardiovascular morbidity. There was some evidence of a positive association between 24-hour average SO<sub>2</sub> exposure and heart rate variability in epidemiological studies, but the evidence was weak and inconsistent from two human clinical studies. However, the U.S. EPA (2008) did conclude the possibility of causal relationship between SO<sub>2</sub> and mortality, with recent epidemiologic studies showing a positive association between mortality and SO<sub>2</sub> at mean 24-hour average concentrations less than 26.6 µg/m<sup>3</sup> (10 ppb). Respiratory mortality showed a stronger association with SO<sub>2</sub> than cardiovascular mortality (U.S. EPA 2008). There may be confounding influences of other pollutants in the studies.

Figure 3-4 provides a summary of selected values presented in Table 3-16 for daily exposure effects from SO<sub>2</sub> in comparison with the available air quality criteria. The Canadian guideline (“Desirable”) of 150 µg/m<sup>3</sup> (Table 2-2) is above the WHO guidelines for 24-hour SO<sub>2</sub> exposure (20, 50, and 125 µg/m<sup>3</sup>) (Table 2-5). The Level A British Columbia guideline (160 µg/m<sup>3</sup>) is higher than the Canadian “Desirable” guideline and the WHO guidelines. The Metro Vancouver 24-hour rolling average objective level is at the upper end of the WHO guideline. As indicated in the figure, the lowest WHO guideline of 20 µg/m<sup>3</sup> is generally supported by the literature studies as it is around effects levels associated with epidemiological studies, although numerous studies showed effects at lower concentrations. Thus, the approach by the WHO to steadily lower the 24 hour guideline to 20 µg/m<sup>3</sup> is supported by the epidemiological data. Any value above 50 µg/m<sup>3</sup> is not supported by the health effects data and would generally be considered a risk managed level since there are no supporting data.

**Figure 3-4 Summary of 24-Hour Average Exposure Data**



000473

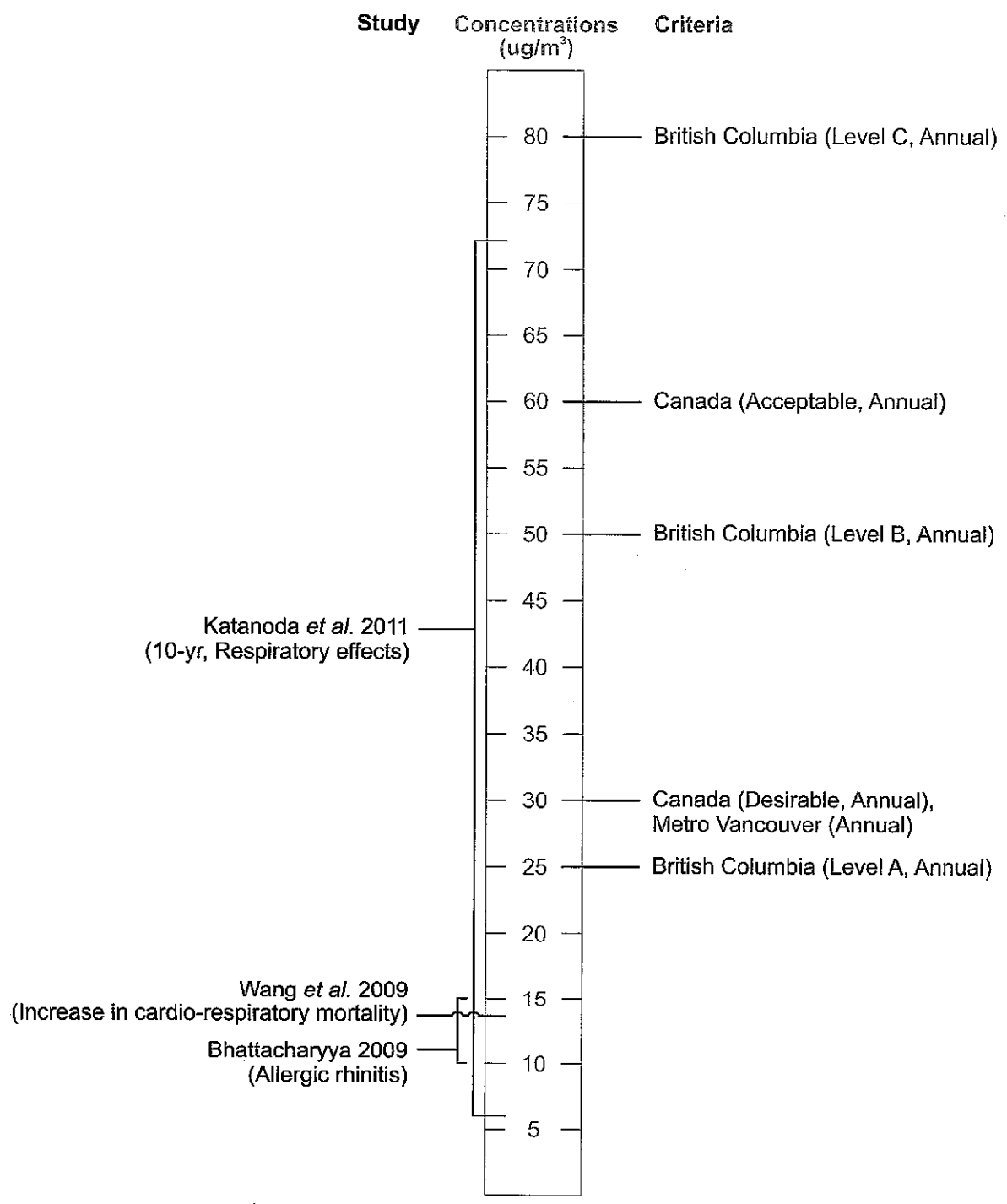
V7A

### 3.3.5 Annual Exposure

The U.S. EPA (2008) determined that there was inadequate evidence to suggest a causal relationship associated with long-term exposure to SO<sub>2</sub> and respiratory morbidity and other morbidity. There was also inadequate support to establish a causal relationship with mortality (U.S. EPA 2008).

Figure 3-5 provides a summary of selected values presented in Table 3-17 for annual exposure effects from SO<sub>2</sub> in comparison with the available air quality criteria. The available guidelines for British Columbia and Canada (Table 2-2) as well as the Metro Vancouver annual average objective level are indicated. The annual guideline from WHO (Table 2-5) is not a human health based value but is based on vegetation protection and is discussed in Section 3.5. The WHO indicate that, as long as exposure concentrations fall below the 24-hour guideline, then they are considered to be protective of annual exposures. As indicated in the figure, the guidelines from British Columbia and Canada generally fall within the range of observed potential effects from long-term exposure to SO<sub>2</sub>. The Metro Vancouver annual objective of 30 µg/m<sup>3</sup> is the same as the Canadian guideline. Several studies fall below the “Desirable” and Level A guidelines. These were long-term epidemiological studies and in some cases, co-pollutant effects potentially confound the results.

Figure 3-5 Summary of Annual Exposure Data



*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

### 3.4 SUMMARY OF AVAILABLE DATA – ECOLOGICAL EFFECTS

Tables 3-19 and 3-20 provide a summary of the available data related to effects on laboratory animals and vegetation, respectively, from exposure to sulphur dioxide.

**Table 3-19 Ecological Effects – Laboratory Animals**

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
80 (0.03)	4 wk	More rapid and more severe inflammatory response to influenza infection	Mice	Ukai 1977
260 (0.1)	5 hr/d for 5 d	Increased respiratory pause	Guinea pigs	Park <i>et al.</i> 2001
260 (0.1)	70 hr	Slight reduction in lung clearance	Rats	Ferin and Leach 1973
260 (0.1)	8 hr/d for 5 d	Increased antigen-specific antibodies in serum and bronchoalveolar fluid	Guinea pigs	Riedel <i>et al.</i> 1988
1,300 (0.5)	45 min	Dose-dependent increase in lung resistance	Rabbits	Barthelemy <i>et al.</i> 1988
2,600 (1)	1 hr	Increased respiratory resistance, decreased compliance	Guinea pigs	Amdur <i>et al.</i> 1983
2,600 (1)	10 min	Dose-dependent increase in bronchoconstriction; decreased proportion of macrophages in white cells	Guinea pigs	Halinen <i>et al.</i> 2000
7,000 to 28,000 (2.5 to 10)	NR	Increases in molecular indices of inflammation and injury to the heart and brain	Rats	Sang <i>et al.</i> 2010, Yun <i>et al.</i> 2011
8,900 (3.4)	7 d	Increased incidence of pneumonia after exposure to SO <sub>2</sub>	Mice	Fairchild <i>et al.</i> 1972
10,000 (4)	4 hr	Increased airway reactivity in asthmatic sheep 24 hr after exposure	Sheep	Abraham <i>et al.</i> 1981
16,000 (6)	7 d	Inhibition of virus growth	Mice	Fairchild 1977
26,000 (10)	1 hr	Inhibition of ciliary movement	Rabbits	Blanquart <i>et al.</i> 1995
26,000 (10)	4 hr	Increased airway reactivity in asthmatic sheep 24 hr after exposure	Sheep	Abraham <i>et al.</i> 1980
26,000 (10)	4 to 72 hr	Lesions of olfactory and respiratory epithelium; decrease in thickness of olfactory mucosa, severe rhinitis	Mice	Giddens and Fairchild 1982
26,000 (10)	1 hr/d for 30 d	Increased concentrations of cholesterol, total lipids,	Guinea pigs	Haider 1985

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
		gangliosides, and decreased phospholipids		
39,000 (15)	2 to 6 min	Dose-dependent increase in ciliary activity	Guinea pigs	Oomichi and Kita 1974
44,000 (17)	10 min	Dose-dependent respiratory depression	Mice	Alairie <i>et al.</i> 1973
52,000 (20)	4 hr	Delayed early clearance of upper respiratory tract	Rats	Mannix <i>et al.</i> 1983
85,000 (32)	24 hrs/day	No effect on birth weight following prenatal exposure	Mice	Singh (1989)
105,000 (40)	2 hr	Dose-dependent decrease in %SO <sub>2</sub> retention, respiratory rate, minute volume, increase in tidal volume	Rats	Leong and MacFarland 1965
131,000 (50)	NR	Reduction in pulmonary macrophage endocytosis	Hamsters	Skornik and Brain 1990
131,000 (50)	15 min	Reduced dynamic compliance	Dogs	Atzori <i>et al.</i> 1992
172,000 (65)	24 hrs/day	Statistically significant reduced birth weight following prenatal exposure	Mice	Singh (1989)
262,000 (100)	60 min	Increase in minute volume	Chickens	Fedde and Kuhlmann 1979
262,000 (100)	5 hr/d for 7 to 28 d	Decreased glutathione concentration and inflammation	Rats	Langley-Evans <i>et al.</i> 1996
393,000 (150)	12 x 3 hr	Increased lung resistance, decreased breathing frequency	Rabbits	Davies <i>et al.</i> 1978
524,000 (200)	15-20 min	Decreased breathing frequency, increased tidal volume	Rabbits	Davenport <i>et al.</i> 1984
1,310,000 (500)	60 min	Decreased specific airway resistance	Chickens	Fedde and Kuhlmann 1979
1,310,000 (500)	75 min	Changes to bioelectric properties and increased nonelectrolyte permeability	Dogs	Man <i>et al.</i> 1986
1,572,000 (600)	30 to 100 hr	Increased mucosal permeability	Rats	Vai <i>et al.</i> 1980
1,573,000 (600)	3 hr/d for 9, 18 or 30 d	Increase in solid material recovered by bronchial lavage	Rats	Knauss <i>et al.</i> 1976
2,096,000 (800)	8 hr	Gradient of decreasing damage in the tracheobronchial tree	Rats	Stratmann <i>et al.</i> 1991
2,096,000 (800)	1 hr	Reduction in minimal and maximal pulmonary surface tension	Rats	Kahana and Aronovitch 1968
2,620,000 (1,000)	60 min	Initial decrease then increase in specific airway resistance, increased respiratory frequency, decreased minute	Chickens	Fedde and Kuhlmann 1979



Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
		volume		
3,210,000 (1,225)	2 hr	Pulmonary edema, greater reduction in surface tension	Rats	Kahana and Aronovitch 1968

Table 3-20 Ecological Effects – Vegetation

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
10 (0.004)	NR	Community changes	Cryptogam	Will-Wolf 1981
19 (0.007)	42-d	Visible injury	Moss ( <i>Dicranum polysetum</i> )	Dueck <i>et al.</i> 1992
21 (0.008)	42-d	Growth reduction	Moss ( <i>Hypnum cupressiforme</i> )	Dueck <i>et al.</i> 1992
30 (0.01)	NR	Eradication of most sensitive taxa	Cryptogam	WHO 2000
50 (0.02)	42-d	Foliar injury	Mouse-ear Hawkweed ( <i>Hieracium pilosella</i> )	Dueck <i>et al.</i> 1992
50 to 60 (0.02)	Long-term, 4 <sup>th</sup> growing season	Reductions in fine roots	Beech ( <i>Fagus sylvatica</i> )	Wollmer and Kottke 1990
50 to 60 (0.02)	Long-term, 4 <sup>th</sup> growing season	Reductions in fine roots and net photosynthesis	Silver Fir ( <i>Abies alba</i> )	Wollmer and Kottke 1990, Schweizer and Arndt 1990
75 (0.03)	42-d	Growth reduction	Mountain Everlasting ( <i>Antennaria dioica</i> )	Dueck <i>et al.</i> 1992
120 (0.05)	Long-term	Decreased photosynthesis and transpiration	Silver Fir ( <i>Abies alba</i> )	Krupa and Arndt 1990
345 (0.13)	8-hr	Foliar injury	Quaking Aspen ( <i>Populus tremuloides</i> )	NRC 1978
557 (0.21)	8-hr	Foliar injury	White Birch ( <i>Betula papyrifera</i> )	NRC 1978
689 (0.26)	4-hr	Foliar injury	Quaking Aspen ( <i>Populus tremuloides</i> )	NRC 1978
689 (0.26)	8-hr	Foliar injury	Larch ( <i>Larix</i> sp.)	NRC 1978
689 (0.26)	8-hr	Foliar injury	Balsam Poplar ( <i>Populus balsamifera</i> )	NRC 1978
743 (0.28)	4-hr	Foliar injury	White Birch ( <i>Betula papyrifera</i> )	NRC 1978
796 (0.30)	8-hr	Foliar injury	Willow ( <i>Salix</i> sp.)	NRC 1978
875 (0.33)	4-hr	Foliar injury	Willow ( <i>Salix</i> sp.)	NRC 1978
902 (0.34)	4-hr	Foliar injury	Larch ( <i>Larix</i> sp.)	NRC 1978
1,008 (0.38)	2-hr	Foliar injury	Willow ( <i>Salix</i> sp.)	NRC 1978
1,008 (0.38)	2-hr	Foliar injury	Larch ( <i>Larix</i> sp.)	NRC 1978
1,008 (0.38)	2-hr	Foliar injury	White Birch ( <i>Betula papyrifera</i> )	NRC 1978
1,035 (0.39)	2-hr	Foliar injury	Quaking Aspen ( <i>Populus tremuloides</i> )	NRC 1978
1,035 (0.39)	8-hr	Foliar injury	Raspberry ( <i>Rubus idaeus</i> )	NRC 1978

Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review

Concentration µg/m <sup>3</sup> (ppm)	Exposure Duration	Effects	Study Details	Reference
1,090 (0.41)	1-hr	Foliar injury	Willow ( <i>Salix</i> sp.)	NRC 1978
1,090 (0.41)	1-hr	Foliar injury	Larch ( <i>Larix</i> sp.)	NRC 1978
1,114 (0.42)	1-hr	Foliar injury	Quaking Aspen ( <i>Populus tremuloides</i> )	NRC 1978
1,194 (0.45)	4-hr	Foliar injury	Balsam Poplar ( <i>Populus balsamifera</i> )	NRC 1978
1,220 (0.46)	1-hr	Foliar injury	White Birch ( <i>Betula papyrifera</i> )	NRC 1978
1,326 (0.50)	8-hr	Foliar injury	White Spruce ( <i>Picea glauca</i> )	NRC 1978
1,406 (0.53)	4-hr	Foliar injury	Raspberry ( <i>Rubus idaeus</i> )	NRC 1978
1,671 (0.63)	2-hr	Foliar injury	Raspberry ( <i>Rubus idaeus</i> )	NRC 1978
1,724 (0.65)	2-hr	Foliar injury	Balsam Poplar ( <i>Populus balsamifera</i> )	NRC 1978
1,857 (0.70)	4-hr	Foliar injury	White Spruce ( <i>Picea glauca</i> )	NRC 1978
2,016 (0.76)	1-hr	Foliar injury	Raspberry ( <i>Rubus idaeus</i> )	NRC 1978
2,096 (0.79)	2-hr	Foliar injury	White Spruce ( <i>Picea glauca</i> )	NRC 1978
2,176 (0.82)	1-hr	Foliar injury	Balsam Poplar ( <i>Populus balsamifera</i> )	NRC 1978
2,308 (0.87)	1-hr	Foliar injury	White Spruce ( <i>Picea glauca</i> )	NRC 1978

Note: Values from NRC (1978) were reported in Rio Tinto (2013) as µg/m<sup>3</sup>, converted from values in ppm presented in NRC (1978) using a conversion factor of 2,620 µg/m<sup>3</sup>/ppm. The values in Rio Tinto (2013) were converted into ppm using the stated conversion factor of 2,620 µg/m<sup>3</sup>/ppm and then concentrations in µg/m<sup>3</sup> were calculated for the current report using a conversion factor of 2,660 µg/m<sup>3</sup>/ppm

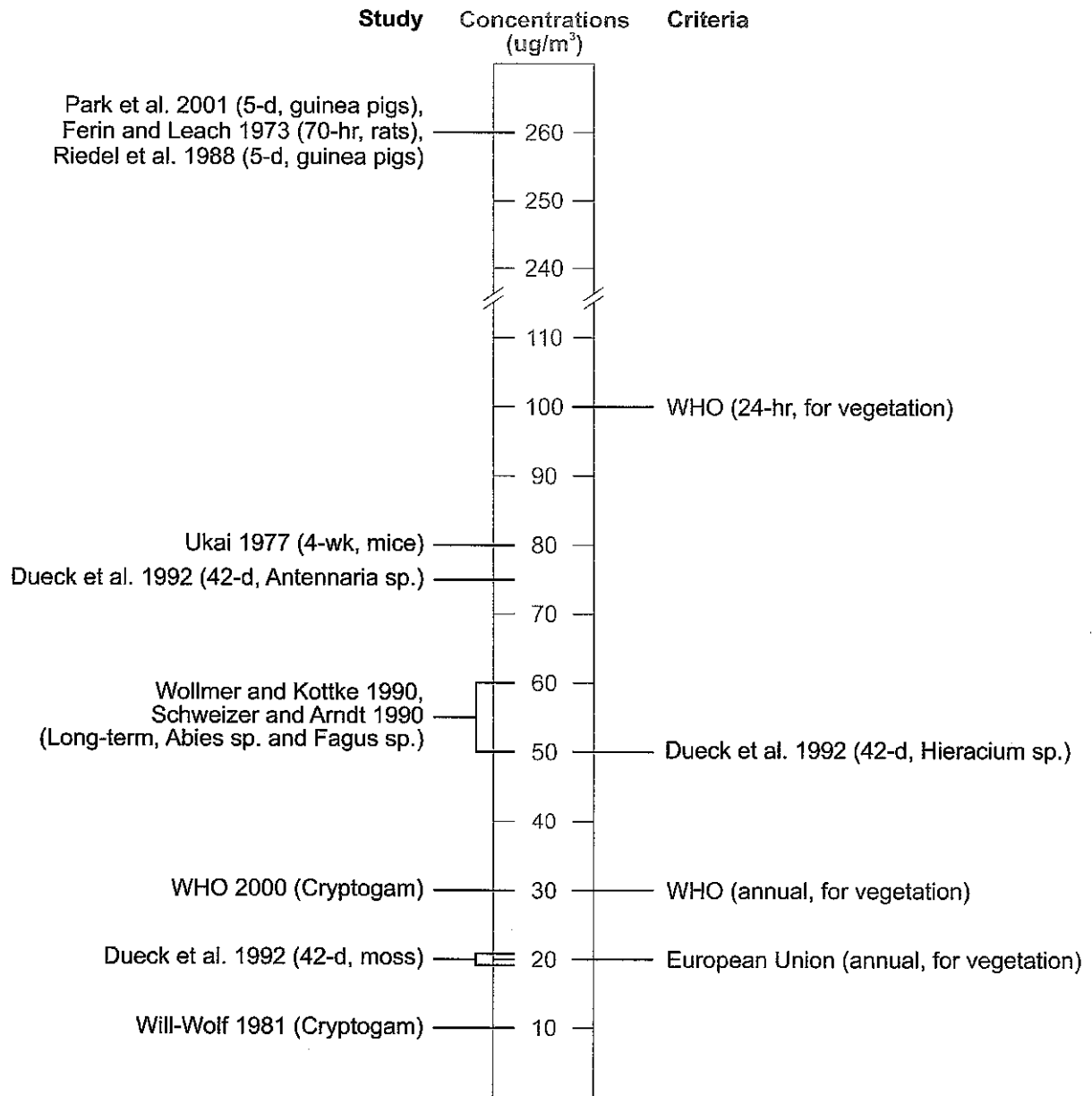
### 3.5 DISCUSSION – ECOLOGICAL EFFECTS

This section provides a comparison of the summarized data for ecological effects with the available WHO and European Union guidelines and criteria which have been presented in Section 2. There are more criteria for ecological effects available as discussed in Section 2. However, these two jurisdictions were considered to provide the most relevant criteria.

Figure 3-6 shows the comparison of the ecological effects data with the available ecologically-based protection levels from WHO and the European Union (Table 2-5). The figure shows that effects on cryptogams and mosses have been indicated at concentrations less than or equal to the European Union standard of 30 µg/m<sup>3</sup>, which is lower than the WHO guidelines for 24-hour exposure and annual exposure. The WHO and European Union annual guidelines are protective of other plant species tested, as well as below effects levels indicated in laboratory animals. There are no literature studies to support an ecological protection level lower than 10 µg/m<sup>3</sup>. The lowest concentration reported in the literature was 10 µg/m<sup>3</sup> for a no-effect level in vegetation. Thus, any level lower than this value, for example, the Swedish ecological target level of 5 µg/m<sup>3</sup>, is unduly conservative.

Greaver *et al.* (2012) concluded that gaseous SO<sub>2</sub> may not cause direct effects in vegetation, but the acidification of the environment from SO<sub>2</sub> may be what is responsible for any vegetation effects.

**Figure 3-6 Summary of Ecological Effects Data**



## **4.0 DIMETHYLSULPHIDE (DMS) FROM BIOGENIC SOURCES**

Dimethylsulphide ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S) is a biologically-produced organosulphur compound that is emitted by marine phytoplankton which synthesize dimethylsulphoniopropionate (DMSP), a precursor to DMS. DMS is the most abundant biological sulphur compound emitted to the atmosphere from marine environments (Bates et al. 1992), representing approximately 95% of the natural marine flux of sulphur gases to the atmosphere, and 50% of the global biogenic contribution of sulphur to the atmosphere (Bucher Norris 2003). DMS is oxidized in the atmosphere to form sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and subsequently to sulphate (SO<sub>4</sub>) over a time span of hours-to-days. The presence of elevated concentrations of methanesulphonic acid (MSA), an intermediate compound in the formation of sulphuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), in marine environments is considered to be a marker for DMS oxidation and biogenic sulphate formation (Langley et al. 2010).

### **4.1 DMS EMISSIONS FROM COASTAL WATERS**

DMS production is not particularly high in coastal waters as compared with the open ocean, and DMS from coastal marine environments is generally thought to be a small contributor to atmospheric SO<sub>2</sub> downwind of large industrial or population centres and ship combustion sources (Church and Jickells 2004). However, DMS emission from marine environments exhibits both diurnal (related to solar radiation, phytoplankton productivity and tidal effects on phytoplankton species populations) and seasonal cycles, and may increase substantially in the vicinity of algal blooms, such that DMS emissions and oxidation to SO<sub>2</sub> may increase to levels that can be locally more important for short periods of time.

For example, Turner et al. (1988) showed that the DMS flux in the near shore waters of the North Sea was an order of magnitude higher in summer (935 µg S/m<sup>2</sup> per day) than in winter (16 µg S/m<sup>2</sup> per day), and increased by a factor of 2-5 times during an algal bloom over the average DMS flux rate in the absence of a bloom. Kwint and Kramer (1996) reported that from 30% to 50% of the total annual DMS emission in a tidal inlet in the Waddell Sea occurred over a time span of just six weeks, closely related to a phytoplankton bloom. Leck and Rodhe (1991) noted that whereas annual biogenic sulphur emissions from coastal areas of the North Sea were negligible (i.e., <1%) compared with anthropogenic emissions, the biogenic emissions from the seas surrounding the Scandinavian peninsula could reach levels as high as 20-70% of the anthropogenic emissions in Scandinavia in summer months. Consequently, from the perspective of understanding the contribution of biogenic DMS to the concentrations of SO<sub>2</sub> in a coastal environment, the determination of average DMS emission rates may be much less important than understanding the maximum emission rates which can occur from time-to-time on a seasonal or even episodic basis.

Nemcek, Ianson and Tortell (2008) reported that DMS concentrations in coastal waters of British Columbia varied dramatically over short distances and showed no significant correlations with any single physical or biological processes studied. DMS concentrations ranged from undetectable ( $<1 \times 10^{-6} \text{ mol/m}^3$ ) to almost  $3.0 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^3$  and appeared to vary independently of other parameters over large spatial scales, while exhibiting synchronous change with various physical and biological parameters across smaller scale features such as sharp mixing fronts. Ribalet *et al.* (2010) provided evidence for the episodic formation of phytoplankton 'hot spots' in the coastal waters of British Columbia off the coast of Vancouver Island which exerted a strong influence on the biogeochemistry of marine ecosystems in this region, and by extension, on DMS emission rates.

Sharma *et al.* (2003) reported on DMS measurements in the Strait of Georgia conducted in November 1999, April 2000 and August 2000. Concentrations of DMS and DMSP were highest in the spring (April) near Denman Island, an area of high phytoplankton productivity. Relatively high DMS concentrations were also found in the southern portion of Georgia Strait from the northern Gulf Islands to Boundary Bay in Delta. The DMS concentrations in water samples were averaged to provide seasonal ranges as listed in Table 4-1.

**Table 4-1 Biogenic DMS Concentrations in Georgia Strait**

Season	DMS Concentration (nmol/litre)
Fall/Winter	0.02 - 0.3
Spring	0.4 - 29.5
Summer	0.5 - 14.2

With respect to diurnal variations in DMS concentrations in Georgia Strait, Brewer *et al.* (2001) suggested that late afternoon peak levels were related to algal reproduction during the day in response to increased sunlight, while peak concentrations in the early morning were likely due to the release of DMS from zooplankton grazing. The authors reported that DMS concentrations in air were higher during the night time hours and were on the order of 2-10% of concentrations in water.

Using calculated flux estimates, Sharma *et al.* estimated that the total annual biogenic DMS emissions in Georgia Strait at about 100 Gigagrams (Gg) per year. This emission rate was estimated to account for approximately 48% of the total biogenic and anthropogenic sulphur emissions in the region. However, because of wet and dry deposition during long range transport from ocean sources to the west coast, the actual fraction of total sulphur in coastal regions that could be attributed to biogenic sources was estimated to be closer to 10% in the spring (March-

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

May), 5% in the summer (June-October) and 0.14% in the fall/winter (November-February) period. For onshore winds, the contribution to total sulphur levels that was deemed to be from local biogenic sources in Georgia Strait was reported to be 26% in the spring, 16% in the summer and 0.06% in the winter.

However, whereas the biogenic emissions of DMS were considered to be contributors to regional sulphate concentrations, the shorter residence time of SO<sub>2</sub> over the ocean resulted in rendering the oxidation of DMS from biogenic sources as a negligible contributor to atmospheric concentrations of SO<sub>2</sub> in the region. For example, the mean 24-hour averaged SO<sub>2</sub> concentration measured at Saturna Island in Georgia Strait in 2012 was 1.5 µg/m<sup>3</sup> while the 98<sup>th</sup> percentile concentration was about 5 µg/m<sup>3</sup> (SENES 2013). However, the SO<sub>2</sub> concentrations at Saturna Island are influenced by a number of anthropogenic sources including ship emissions and emissions from a pulp and paper mill in Crofton on Vancouver Island and oil refineries at Cherry Point, WA. According to R. Vingarzan<sup>23</sup>, the measured annual average SO<sub>2</sub> concentration of 0.4 µg/m<sup>3</sup> provides a closer approximation of the contribution from local marine biogenic sources to ambient SO<sub>2</sub> concentrations than do the levels of SO<sub>2</sub> measured at Saturna Island.

The summer DMS concentrations in Georgia Strait reported by Sharma *et al.* (2003) were similar to those reported by Cantin *et al.* (1996) for summertime DMS concentrations in the Gulf of St. Lawrence (<0.9-9 nM). A second study in the Labrador Sea between Newfoundland and Labrador and Greenland conducted in the spring (May-June) of 1997 estimated DMS production rates in seawater of 0.4-23.0 nM/hour (Cantin *et al.* 1999).

Amouroux *et al.* (2002) reported that biogenic DMS emissions exhibited a strong gradient between the open waters of the Black Sea and the estuarine waters of the Danube River, with DMS emissions increasing from open water to the river plume and being largely related to phytoplankton species rather than to total biomass. Extrapolating from measurements made during the summer of 1995, Amouroux *et al.* estimated the upper bound DMS emission rates as:

Open waters	0.0060-0.0017 mol/m <sup>2</sup> per year
Shelf waters	0.0008-0.0019 mol/m <sup>2</sup> per year
River plumes	0.0020-0.0044 mol/m <sup>2</sup> per year

Similar gradients in DMS emissions may also exist in the Strait of Georgia in relation to the Fraser River, but were not identified in the study by Sharma *et al.* (2003).

---

<sup>23</sup> R. Vingarzan, Head, Air Quality Science Unit, Meteorological Services of Canada, Environment Canada, personal communication, 19 November 2013.

#### 4.2 DMS EMISSIONS FROM COASTAL WETLANDS

Whereas there is some information about biogenic DMS from open waters off Vancouver Island and in Georgia Strait, the literature search for this study identified no research on DMS emissions from tidal mud flats, salt marshes or estuaries in the Lower Fraser Valley. The information summarized below is derived for other regions of eastern North America, Europe and Asia.

Aneja (1990) provided a summary of DMS emissions from coastal wetlands, as summarized in Table 4-2. The available data indicated a wide range of emission rate values which, according to Aneja, suggested there were many sources of variability and large uncertainties in the magnitude of the measured flux rates. For warm season months (May-October), values range from a low of 0.06 g S/m<sup>2</sup> per year to a high of at least 0.91 g S/m<sup>2</sup> per year, and possibly 1.87 g S/m<sup>2</sup> per year.

**Table 4-2 Biogenic DMS Emission Rates from Salt Marshes**  
(Source: Aneja 1990)

Month of Year	DMS Emission Rate (g S/m <sup>2</sup> per year)	Location
Oct/Nov	0.15	New York
Jul-Sep	0.66	North Carolina
May/Jul/Oct	0.54	
Aug	0.83	
n/a	0.10	
Nov	0.02	
Aug	0.48	Delaware
Aug	0.91	
Aug	0.06	Massachusetts
1 year	0.16	
n/a	1.87	Virginia

n/a - not available

Giblin and Kelman Wieder (1990c) noted that research into sulphur gas fluxes from coastal wetlands had been complicated by analytical, methodological and logistical difficulties. As a result, estimates of both individual gases and total gaseous sulphur fluxes spanned more than two orders of magnitude. Although methodological problems with measurement of fluxes were acknowledged to be part of the reason for such a high degree of variability in the results, the authors noted that a high degree of both spatial and temporal variability in flux measurements should be expected in these ecosystems which are characterized by dynamic sulphur cycles.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

Table 4-3 summarizes the reported DMS flux rates for mid-latitude coastal wetlands as summarized by Giblin and Kelman Wieder.

**Table 4-3 Biogenic DMS Flux Rates**  
(Source: Giblin and Kelman Wieder c1990)

Location	DMS Flux ( $\mu\text{g S/m}^2$ per hour)
<b>Saline Wetlands</b>	
Florida	
black mangrove	0.3 - 10
<b>Salt Marshes</b>	
Florida	
<i>Distichlis spicata</i>	0.7 - 1
<i>B. maritima</i>	1 - 7
<i>Juncus</i>	0.1 - 6.4
sand flat	6.3
<i>Spartina alterniflora</i>	51
<i>Juncus/Spartina</i> (Cedar Island)	0.8 - 179
North Carolina (Cox Hole)	
vegetated marsh	46
marsh flat	<1
Delaware (Canary Marsh)	
frequently flooded	8
infrequently flooded	104
Massachusetts (Great Sippwisset)	
marsh ( <i>Spartina sp.</i> )	328
creek	18
Delaware-Texas	
12 marshes	0.9 - 213
<b>Freshwater Wetlands</b>	
Florida	
marshes	0.7 - 1
North Carolina	
marshes	<1
New York	
temperate swamp (stagnant)	0.05
New York, North Carolina, Georgia, Ontario	
9 temperate swamps	4 - 21
Ontario	
bogs (3 areas)	3 - 9



A more recent study of a salt marsh estuary in South Carolina (Kulkarni *et al.* 2005) indicated that DMSP concentrations (and by extension DMS concentrations) were not constant and varied by tidal action. DMSP to chlorophyll-a ratios<sup>24</sup> were highest in the estuary at high slack tide and lowest at low slack tide. The authors concluded that the increase in the ratio at high tide was due to the an increased contribution of DMSP-rich phytoplankton taxa that enter the creeks from coastal waters during flood tide, while low ratios were the result of low DMSP-containing re-suspended benthic microalgae which were advected from the adjacent salt marsh into the tidal creeks during ebb tide. This type of variability in DMS concentrations may also be present in the tidal estuaries of the Fraser River, adding complexity to the estimation of DMS contributions to total atmospheric SO<sub>2</sub> concentrations in the Lower Fraser Valley.

#### 4.3 SUMMARY OF BIOGENIC DMS EMISSIONS

Although not extensive, there have been a number of studies completed within the past decade on DMS emissions from coastal waters off Vancouver Island and Georgia Strait. These studies suggest that the contribution of biogenic sulphur from DMS emissions to regional sulphur budgets can be significant at times, especially in the late spring-early summer months. These emissions may play a role in measured concentrations of sulphate and secondary fine particulate matter in the air shed of the Lower Fraser Valley. However, the relative magnitude of these emissions to overall SO<sub>2</sub> concentrations is limited to <0.5 µg/m<sup>3</sup> on an annual average basis as determined by Sharma *et al.*, and probably <1.0 µg/m<sup>3</sup> on a 24-hour average basis as determined from average SO<sub>2</sub> concentrations measured at Saturna Island of 1.5 µg/m<sup>3</sup> (which include some contribution from anthropogenic sources).

On the other hand, there is no information on DMS emissions from coastal wetlands in Georgia Strait. All of the available information on DMS emissions is based on measurements made on the east coast of North America or in Europe and Asia, and it is not clear to what extent those studies provide representative DMS emission rates for the Georgia Basin. The large degree of variability in the reported emission rates, spanning two orders of magnitude, makes it difficult to determine the relative importance of DMA emissions from wetlands in the Fraser River delta to the SO<sub>2</sub> and sulphate concentrations observed in the Lower Fraser Valley.

---

<sup>24</sup> Modelling studies have suggested that there is a close linkage between DMS and chlorophyll-a concentrations in open ocean waters, however attempts to correlate the two have not proven to be robust because they vary on different time scales and because the cycle of DMS in seawater is controlled by complex physical, chemical and biological processes (Masotti *et al.* 2010).

## 5.0 CONCLUSIONS

The literature review of regulatory criteria for SO<sub>2</sub> that have been adopted in various jurisdictions in Canada and around the world indicates that there exists a wide degree of variation between jurisdictions. Very few jurisdictions currently apply criteria for averaging periods less than 20 minutes, but even within this small set of criteria, numerical levels range from 265 µg/m<sup>3</sup> (15-minute average) as defining good air quality in Hawaii and the UK to 530 µg/m<sup>3</sup> (4-minute average) in Quebec. The most common short-term criterion currently in use is the WHO guideline value of 500 µg/m<sup>3</sup> (10-minute average) used by three countries, as well as by VIHA in Victoria and by Metro Vancouver in respect to the emissions from an oil refinery. There is evidence from health effects studies for increased airway resistance and decreased lung function for SO<sub>2</sub> concentrations above the WHO guideline level for adults with asthma or other chronic pulmonary disease, and no effects, or limited effects, at lower concentrations than the WHO guideline level or averaging periods less than 10 minutes.

A total of 52 countries (including Canada, and the 28 member EU block) have defined regulatory criteria for 1-hour average SO<sub>2</sub> concentrations. The numerical levels for the criteria range from 150 µg/m<sup>3</sup> up to 900 µg/m<sup>3</sup>. Metro Vancouver's current AAQO of 450 µg/m<sup>3</sup> falls within the mid-range of these jurisdictions, and is within the range of levels tested in research studies that have shown no effect on pulmonary function. This suggests that the current criteria in B.C. and Metro Vancouver are protective of human health as most of the epidemiologic studies at these concentrations are related to no effects in the humans studied. However, some studies have also shown an association between median ambient SO<sub>2</sub> concentrations of 45-100 µg/m<sup>3</sup> (3-hour average) and increased respiratory symptoms in children, especially asthmatic children or those with chronic respiratory symptoms. Edmonton has recently adopted a trigger level of 113 µg/m<sup>3</sup> to be used for initiating mitigative measures to reduce SO<sub>2</sub> emissions in that city.

Numerically, the new NAAQS adopted by the U.S. EPA in 2010 represents one of the more stringent hourly averaged SO<sub>2</sub> criterion amongst all jurisdictions, except for Singapore (196 µg/m<sup>3</sup>) and China (150 µg/m<sup>3</sup> for specially protected areas). The stated intent of the U.S. EPA's decision to adopt the new SO<sub>2</sub> NAAQS of 196 µg/m<sup>3</sup> (75 ppb; 99<sup>th</sup> percentile averaged over 3 consecutive years) was to protect against short-term exposures ranging from 15 minutes to 24 hours.<sup>25</sup> The U.S. EPA revoked the previous 24-hour average and annual average NAAQS because the scientific evidence appeared to indicate that short-term exposures were of greater concern, and because the previous standards for 24-hour average and annual average SO<sub>2</sub> concentrations would not provide any additional health benefits. The Clean Air Scientific Advisory Committee (CASAC) supported the U.S. EPA's initial proposed range of 50-150 ppb

<sup>25</sup> <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/0/F137260029B9B4F385257737004E521B>

---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

(131-392  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for hourly averaged concentrations, and stated that the risk and exposure assessment compiled by the U.S. EPA provided sufficient rationale for the range of proposed levels beginning at a lower limit of 50 ppb (131  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (CASAC 2009). CASAC also concurred with the U.S. EPA that the risk and exposure assessment did not support levels greater than 150 ppb (392  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), and noted that there was some ambiguity as to whether the 1-hour daily maximum SO<sub>2</sub> NAAQS should replace the 24-hour and annual standards.

During the NAAQS review process, the American Lung Association (2009) advocated for the adoption of a 5-minute NAAQS, but acknowledged that a new 1-hour average NAAQS would be a major step forward toward protecting the health of the public, specifically asthmatics. However, rather than the final standard chosen by the U.S. EPA, the American Lung Association advocated for a more stringent 1-hour average standard of 131  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (50 ppb; 99<sup>th</sup> percentile). In addition, it is worth noting that Greaver et al. (2012) have concluded that, although the current NAAQS is intended to provide protection from gas-phase effects on vegetation and to minimize impacts on human health, the 1-hour average NAAQS adopted in 2010 does not protect ecosystems from the effects of sulphur deposition in many parts of the United States.

A total of 79 countries (including Canada, and the 28 member EU block) have adopted 24-hour averaging criteria for ambient SO<sub>2</sub> exposure management. The numerical levels range from as low as 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Mongolia to 367  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Argentina. Singapore has proposed adopting the level of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  by 2020. Metro Vancouver's current AAQO of 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is consistent with the less stringent WHO Interim Target level for human health protection. Fifteen countries and the State of California have more stringent criteria than Metro Vancouver, although the criteria in a few of those countries are only slightly more stringent. The lowest WHO guideline of 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is generally supported by the literature studies as it is in the range of effects levels associated with epidemiological studies, although numerous studies showed effects at lower concentrations. Thus, the approach by the WHO to steadily lower the 24 hour guideline to 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is supported by the epidemiological data. Any value greater than 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is not supported by the health effects data and would generally be considered a risk managed level.

A total of 59 countries (including Canada and the 28 member EU block) have adopted annual average SO<sub>2</sub> criteria. There is a 20-fold difference between the most stringent criterion of 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Sweden and the 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  value adopted by five countries. Some long-term epidemiologic studies have demonstrated an association between annual average SO<sub>2</sub> concentrations as low as 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and allergenic rhinitis and cardio-respiratory mortality. From an ecological standpoint, the lowest SO<sub>2</sub> concentration level showing no effects in vegetation is an annual average concentration of 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Any phytotoxic criterion level lower than 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  would appear to be unduly conservative.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

With regard to biogenic sulphur emissions and their contribution to background SO<sub>2</sub> concentrations, the literature review indicates that DMS emissions from coastal waters contribute to ambient SO<sub>2</sub> concentrations of about <0.5 µg/m<sup>3</sup> on an annual average basis and <1.0 µg/m<sup>3</sup> on a 24-hour average basis. There is considerable variability in the seasonal emission rates from coastal waters, with the highest emissions occurring in the late spring and early summer period, and especially in association with periods of high phytoplankton productivity. Although biogenic DMS emissions from coastal waters result in relatively low ambient SO<sub>2</sub> concentrations, DMS emissions can contribute up to 10% of the total sulphur budget in coastal regions in the spring and about 5% during the summer months.

No research studies were identified in the literature review for DMS emissions from coastal wetlands in the Pacific Northwest Region. All of the available research is for areas of eastern North America or other regions of the world and it is unclear to what extent these studies would be representative of conditions in coastal wetlands of Georgia Strait. Furthermore, the variability in estimated DMS emissions from coastal wetlands in other regions spans two orders of magnitude, making it difficult to determine the relative importance of DMS emissions from wetlands in the Fraser River delta to ambient SO<sub>2</sub> and sulphate concentrations in the Lower Fraser Valley.

**REFERENCES**

## SECTION 1.0

Bates, D.V. and R.B. Caton 2002. A Citizen's Guide to Air Pollution. Second Edition. Published by the David Suzuki Foundation, Vancouver, B.C.

World Health Organization (WHO) 2005. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment.

## SECTION 2.0

Alberta Environment and Sustainable Development Resource 2012. Capital Region Air Quality Framework for Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) and Ozone (O<sub>3</sub>). Edmonton, AB

Clean Air Initiative for Asian Cities Center 2010. Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Standards in Asia. Fact Sheet No. 4.

Environment Canada 1991. *The State of Canada's Environment*. Government of Canada, Ministry of Supply and Services, Ottawa.

C. Gagnon, C. Bessette, D. Boulet, Y. Garneau, P. Paquette and R. Mallet (2007). Air Quality in Montréal. 2007 Annual Report, City of Montreal, Service des infrastructures, transport et environnement, Direction de l'Infrastructure et du développement durable, Division de la planification et du suivi environnemental, RSQA, 12p.

Government Gazette No. 32816 2009. National Ambient Air Quality Standards. Department of Environmental Affairs, Notice 1210, 24 December 2009.

Loeb, A.P. 2001. Considerations for Revising Air Quality Standards in Egypt. Prepared for the U.S. Agency for International Development, Cairo and the Egyptian Environmental Affairs Agency, Task Order No. 832, Contract No. PCE-I-00-96-00002-00.

Metro Vancouver 2008. Permit GVA0117.

Ministry of Environment and Forests 2013. Guidelines for the Measurement of Ambient Air Pollutants. Volume-I. Central Pollution Control Board. National Ambient Air Quality Series:

NAAQMS/36/2012-13

Presidency of Meteorology and Environment 2012. Environmental Standards Ambient Air Quality. Kingdom of Saudi Arabia National Environmental Standard.

Republic of Trinidad and Tobago 2001. The Air Pollution Rules. The Environmental Management Act 2000.

Sweden Ministry of Environment 2001. The Swedish Environmental Objectives - Interim Targets and Action Strategies. Summary of Gov. Bill 2000/01:130

Vahlsing, C. and K.R. Smith 2011. Global review of national ambient air quality standards for PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> (24 h). Air Quality and Atmospheric Health.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3505502/>

World Health Organization (WHO) 2000. Air quality guidelines for Europe. 2<sup>nd</sup> Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, Copenhagen, Denmark.

World Health Organization (WHO) 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02

### **SECTION 3.0**

Abraham, W., W. Oliver, M. Welkner, M. King, G. Chapman, L. Yerger, D. Maurer, M. Sielczak, A. Wanner, and M. Sackner. 1980. Sulfur dioxide induced airway hyperreactivity in allergic sheep. American Journal of Industrial Medicine 1:383-390.

Abraham, W., W. Oliver, M. Welkner, M. King, A. Wanner, and M. Sackner. 1981. Differences in airway reactivity in normal and allergic sheep after exposure to sulfur dioxide. Journal of Applied Physiology 51:1651-1656.

Alarie, Y., I. Wakisaka, and S. Oka. 1973. Sensory irritation by sulfur dioxide and chlorobenzilidene malonitrile. Environmental and Physiological Biochemistry :53-64.

Alberta Health Services 2012. Acute Exposure Health Effects of Hydrogen Sulphide and Sulphur Dioxide. June. <http://www.albertahealthservices.ca/eph.asp>

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Alberta Health and Wellness 2006. Health Effects Associated with Short-Term Exposure to Low Levels of Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) – A Technical Review. Health Surveillance, Health Strategies Division.

Amdur, M., J. McCarthy, and M. Gill. 1983. Effect of mixing conditions on irritant potency of zinc oxide and sulfur dioxide. *Journal of the American Industrial Hygiene Association* 44:7-13.

Andersen, I., P. Jensen, S. Reed, J. Wallace, D. Proctor, and G. Adams. 1977. Induced rhinovirus infection under controlled exposure to sulfur dioxide. *Archives of Environmental Health* 35:120-126.

Anderson, H. R., B. Armstrong, S. Hajat, R. Harrison, V. Monk, J. Poloniecki, A. Timmis, and P. Wilkinson. 2010. Air pollution and activation of implantable cardioverter defibrillators in London. *Epidemiology*. 21(3):405-413.

Atzori, L., G. Bannenberg, A.M. Corrigan, P. Moldeus, and A. Ryrfeldt. 1992. Sulfurdioxide-induced bronchoconstriction in the isolated perfused and ventilated guinea-pig lung. *Respiration* 59:16-21.

Bailey, R. D. Shamoo, T. Venet, L. Wightman, and J. Hackney. 1982. Respiratory responses of young adult asthmatics to sulfur dioxide exposure under simulated ambient conditions. *Environmental Research* 29:220-232.

Baja, E. S., J. D. Schwartz, G. A. Wellenius, B. A. Coull, A. Zanobetti, P. S. Vokonas, and H. H. Suh. 2010. Traffic-related air pollution and QT interval: modification by diabetes, obesity, and oxidative stress gene polymorphisms in the normative aging study. *Environ Health Perspect* 118(6):840-846.

Balmes, J., J. Fine, and D. Sheppard. 1987. Symptomatic bronchoconstriction after shortterm inhalation of sulfur dioxide. *American Review of Respiratory Disease* 136:1117-1121.

Barthelemy, P., M. Badier, and Y. Jammes. 1988. Interaction between SO<sub>2</sub> and cold induced bronchospasm in anesthetized rabbits . *Respiration Physiology* 71:1-10.

Bedi, J., L. Folinsbee, S. Horvath, and R.Ebenstein. 1979. Human exposure to sulphur dioxide and ozone: absence of synergistic effect. *Archives of Environmental Health* 39:233-239.

Bedi, J., S. Horvath, and L. Folinsbee. 1982. Human exposure to sulfur dioxide and ozone in a high temperature-humidity environment. *Journal of the American Industrial Hygiene Association* 43:26-30.

Bedi, J., and S. Horvath. 1989. Inhalation route effects on exposure to 2.0 parts per million sulfur dioxide in normal subjects. *Journal of the Air Pollution Control Association* 39:1448-1452.

Bentayeb, M., C. Helmer, C. Raheison, J. F. Dartigues, J. F. Tessier, and I. Annesi-Maesano. 2010. Bronchitis-like symptoms and proximity air pollution in French elderly. *Respir. Med* 104(6):880-888.

Berglind, N., T. Bellander, F. Forastiere, K. S. von, P. Aalto, R. Elosua, M. Kulmala, T. Lanki, H. Lowel, A. Peters, S. Picciotto, V. Salomaa, M. Stafoggia, J. Sunyer, and F. Nyberg. 2009. Ambient air pollution and daily mortality among survivors of myocardial infarction. *Epidemiology*. 20(1):110-118.

Bethel, R., D. Erle, J. Epstein, D. Sheppard, J. Nadel, and H. Boushey. 1983. Effect of exercise rate and route of inhalation on sulfur-dioxide induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. *American Review of Respiratory Disease* 128:592-596.

Bethel, R., D. Sheppard, B. Geffroy, E. Tam, J. Nadel, and H. Boushey. 1985. Effect of 0.25 ppm sulfur dioxide on airway resistance in freely breathing, heavily exercising, asthmatic subjects. *American Review of Respiratory Disease* 131:659-661.

Bhattacharyya, N. 2009. Air quality influences the prevalence of hay fever and sinusitis. *Laryngoscope*. 119(3):429-433.

Blanquart, C., I. Giuliani, O. Houcine, C. Jeulin, C. Guennou, and F. Marano. 1995. *In vitro* exposure of rabbit tracheal epithelium to SO<sub>2</sub>: effects of morphology and ciliary beating. *Toxicology In Vitro* 9:123-132.

Bruske, I., R. Hampel, Z. Baumgartner, R. Ruckerl, S. Greven, W. Koenig, A. Peters, and A. Schneider. 2011. Ambient air pollution and lipoprotein-associated phospholipase A(2) in survivors of myocardial infarction. *Environ Health Perspect* 119(7):921-926.

Burton, G., M. Corn, J. Gee, C. Vasallo, and A. Thomas. 1969. Response of healthy men to inhaled low concentrations of gas-aerosol mixtures. *Archives of Environmental Health* 18:681-692.

Cakmak, S., R. E. Dales, and C. B. Vidal. 2010. Air pollution and hospitalization for epilepsy in Chile. *Environ Int* 36(6):501-505.



*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

- Cao, J., C. Yang, J. Li, R. Chen, B. Chen, D. Gu, and H. Kan. 2011. Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study. *J Hazard. Mater.* 186(2-3):1594-1600.
- Chang, C. J., H. H. Yang, C. A. Chang, and H. Y. Tsai. 2012. Relationship between air pollution and outpatient visits for nonspecific conjunctivitis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci* 53(1): 429-433.
- Chen, S. Y., T. C. Su, Y. L. Lin, and C. C. Chan. 2012. Short-term effects of air pollution on pulse pressure among nonsmoking adults. *Epidemiology.* 23(2): 341-348.
- Cheng, M. F., S. S. Tsai, and C. Y. Yang. 2009. Air pollution and hospital admissions for myocardial infarction in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A.* 72(19): 1135-1140.
- Davenport, P., A. Freed, and K. Rex. 1984. The effect of sulfur dioxide on the response of rabbits to expiratory loads. *Respiration Physiology* 56:359-368.
- Davies, A., M. Dixon, R. Penman, J. Widdicombe, and J. Wise. 1978. Effect of repeated exposures to high concentrations of sulphur dioxide on respiratory reflexes in rabbits. *Bulletin of European Physiopathology and Respiration* 14:41-52.
- Dautrebrande, L., and R. Capps. 1950. Studies on aerosols. IX. Enhancement of irritating effects of various substances on the eye, nose, and throat by particulate matter and liquid aerosols in connection with pollution of the atmosphere. *Arch. Int. Pharmacodyn. Ther.* 82(4):505-528.
- Dennekamp, M., M. Akram, M. J. Abramson, A. Tonkin, M. R. Sim, M. Fridman, and B. Erbas. 2010. Outdoor air pollution as a trigger for out-of-hospital cardiac arrests. *Epidemiology.* 21(4): 494-500.
- Devalia, J., C. Rusznak, M. Herdman, C. Trigg, H. Tarraf, and R. Davies. 1994. Effect of nitrogen dioxide and sulphur dioxide on airway response of mild asthmatic patients to allergen inhalation. *The Lancet* 344:1668-1671.
- Dong, G. H., T. Chen, M. M. Liu, D. Wang, Y. N. Ma, W. H. Ren, Y. L. Lee, Y. D. Zhao, and Q. C. He. 2011. Gender differences and effect of air pollution on asthma in children with and without allergic predisposition: northeast Chinese children health study. *PLoS One* 6(7): e22470.
- Dueck, T.A. et al. 1992. Estimation of SO<sub>2</sub> effect thresholds for heathland species. *Functional ecology*, 6: 291-296.

- Fairchild, G., J. Roan, and J. McCarroll. 1972. Atmospheric pollutants and the pathogenesis of viral respiratory infection: sulfur dioxide and influenza infection. *Archives of Environmental Health* 25:174-182.
- Fairchild, G. 1977. Effects of ozone and sulfur dioxide on virus growth in mice. *Archives of Environmental Health* 32:28-33.
- Faiz, A. S., G. G. Rhoads, K. Demissie, L. Kruse, Y. Lin, and D. Q. Rich. 2012. Ambient air pollution and the risk of stillbirth. *Am J Epidemiol* 176(4): 308-316.
- Fedde, M., and W. Kuhlmann. 1979. Cardiopulmonary responses to inhaled sulfur dioxide in the chicken. *Poultry Science* 58:1584-1591.
- Ferin, J., and L. Leach. 1973. The effect of SO<sub>2</sub> on lung clearance of TiO<sub>2</sub> particles in rats. *Journal of the American Industrial Hygiene Association* 34:260-263.
- Frank, N.R., M.O. Amdur, J. Worcester, and J.L. Whittenberger. 1962. Effects of acute controlled exposure to SO<sub>2</sub> on respiratory mechanics in healthy male adults. *J. Appl. Physiol.* 17:252-258.
- Frank, N.R., M.O. Amdur, and J.L. Whittenberger. 1964. A comparison of the acute effects of SO<sub>2</sub> administered alone or in combination with NaCl particles in the respiratory mechanics of healthy adults. *Air Water Pollut.* 8:125-133.
- Giddens, W., and G. Fairchild. 1972. Effects of sulfur dioxide on the nasal mucosa of mice. *Archives of Environmental Health* 25:166-173.
- Gokemeijer, J., K.de Vries, and N. Orie. 1973. Response of the bronchial tree to chemical stimuli. *Review of the Institute of Hygiene in Mines (Hasselt)* 28:195-197.
- Gong, H., P. Lachenbruch, P. Harber, and W. Linn. 1995. Comparative short-term health responses to sulfur dioxide exposure and other common stresses in a panel of asthmatics. *Toxicology and Industrial Health* 11:467-487.
- Greaver, T.L., T.J. Sullivan, J.D. Herrick, M.C. Barber, J.S. Baron, B.J. Cosby, M.E. Deerhake, R.L. Dennis, J.B. Dubois, C.L. Goodale, A.T. Herlihy, G.B. Lawrence, L. Liu, J.A. Lynch, and K.J. Novak. 2012. Ecological effects of nitrogen and sulfur air pollution in the US: what do we know? *Front Ecol Environ* 2012; 10(7): 365-372.

Hackney, J., W. Linn, R. Bailey, C. Spier, and L. Valencia. 1984. Time course of exercise induced bronchoconstriction in asthmatics exposed to sulfur dioxide. *Environmental Research* 34:321-327.

Haider, S. 1985. Effects of exhaust pollutant sulfur dioxide on lipid metabolism of guinea pig organs. *Industrial Health* 23:81-87.

Halinen, A., R. Salonen, A. Pennanen, and V.-M. Kosma. 2000. Combined respiratory effects of cold air with SO<sub>2</sub> or NO<sub>2</sub> in repeated 10-minute exposures of hyperventilating guinea pigs. *Inhalation Toxicology* 12:671-691.

Hoek, G., and B. Brunekreef. 1993. Acute effects of a winter air pollution episode on pulmonary function and respiratory symptoms of children. *Arch. Environ. Health* 48(5):328-335.

Horstman, D., J. Roger, H. Kehrl, and M. Hazucha. 1986. Airway sensitivity of asthmatics to sulfur dioxide. *Toxicology and Industrial Health* 2:289-298.

Horstman, D.H., E. Seal, L.J. Folinsbee, P. Ives, and L.J. Roger. 1988. The relationship between exposure duration and sulfur dioxide-induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 49(1):38-47.

Hsieh, Y. L., Y. H. Yang, T. N. Wu, and C. Y. Yang. 2010. Air pollution and hospital admissions for myocardial infarction in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 73(11): 757-765.

Huang, W., T. Zhu, X. Pan, M. Hu, S.E. Lu, Y. Lin, T. Wang, Y. Zhang, and X. Tang. 2012. Air pollution and autonomic and vascular dysfunction in patients with cardiovascular disease: interactions of systemic inflammation, overweight, and gender. *Am. J. Epidemiol.* 176(2): 117-126.

Hwang, B. F., Y.L. Lee, and J.J. Jaakkola. 2011. Air pollution and stillbirth: a population-based case-control study in Taiwan. *Environmental Health Perspectives* 119(9): 1345-1349.

Islam, M., J. Oberbarnscheidt, and H.-W. Schlipkoter. 1994. Non-specific airway responsiveness to hyperventilation of low doses of sulfur dioxide and cold air or non-smoking healthy volunteers of different ages. *Zbl. Hyg.* 195:556-566.

Jaeger, M., D. Tribble, and H. Wittig. 1979. Effect of 0.5 ppm sulfur dioxide on the respiratory function of normal and asthmatic subjects. *Lung* 156:119-127.

Jorres, R., and P. Magnussen. 1990. Airways response of asthmatics after a 30 min exposure, at resting ventilation, to 0.25 ppm NO<sub>2</sub> or 0.5 ppm SO<sub>2</sub>. *European Respiratory Journal* 3:132-137.

Kahana, L., and M. Aronovitch. 1968. Pulmonary surface tension after sulfur dioxide exposure. *American Review of Respiratory Disease* 98:311-314.

Katanoda, K., T. Sobue, H. Satoh, K. Tajima, T. Suzuki, H. Nakatsuka, T. Takezaki, T. Nakayama, H. Nitta, K. Tanabe, and S. Tominaga. 2011. An association between long-term exposure to ambient air pollution and mortality from lung cancer and respiratory diseases in Japan. *J Epidemiol.* 21(2): 132-143.

Kehrl, H., J. Roger, M. Hazucha, and D. Horstman. 1987. Differing Response of asthmatics to sulfur dioxide exposure with continuous and intermittent exercise. *American Review of Respiratory Disease* 135:350-355.

Kienast, K., H. Riechelmann, M. Knorst, J. Schlegel, J. Muller-Quernheim, J. Schellenberg, and R. Ferlinz. 1994. An experimental model for the exposure of human ciliated cells to sulfur dioxide at different concentrations. *Clinical Investigations* 72:215-219.

Kienast, K., H. Riechelmann, M. Knorst, B. Haffner, J. Muller-Quernheim, J. Schellenberg, and R. Ferlinz. 1996. Combined exposures of human ciliated cells to different concentrations of sulfur dioxide and nitrogen dioxide. *European Journal of Medical Research* 1:533-536.

Kleinbeck, S., M. Schaper, S. A. Juran, E. Kiesswetter, M. Blaszkewicz, K. Golka, A. Zimmermann, T. Bruning, and T. C. van. 2011. Odor thresholds and breathing changes of human volunteers as consequences of sulphur dioxide exposure considering individual factors. *Saf. Health Work.* 2(4): 355-364.

Knauss, H., W. Robinson, T. Medici, and S. Chodosh. 1976. Cell vs. noncell airway temporal response in rats exposed to sulfur dioxide. *Archives of Environmental Health* 31:241-247.

Knorst, M., K. Kienast, J. Muller-Quernheim, and R. Ferlinz. 1996. Effect of sulphur dioxide on cytokine production of human alveolar macrophages in vitro. *Archives of Environmental Health* 51:150-156.

Koenig, J., M. Morgan, M. Horike, and W. Pierson. 1985. The effects of sulfur oxides on nasal and lung function in adolescents with extrinsic asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 76:813-818.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

- Koenig, J., D. Covert, Q. Hanley, G. van Belle, and W. Pierson. 1990. Prior exposure to ozone potentiates subsequent response to sulfur dioxide in adolescent asthmatic subjects. *American Review of Respiratory Disease* 141:377-380.
- Kreisman, H., C. Mitchell, H. Hosein, and A. Bouhuys. 1976. Effect of low concentrations of sulfur dioxide on respiratory function in man. *Lung* 154:25-34.
- Krupa, S.G. and Arndt, U. 1990. Special Issue on the Hohenheim Long Term Experiment. *Environmental pollution*, 68: 193-478.
- Langley-Evans, S., G. Phillips, and A. Jackson. 1996. Sulphur dioxide: a potent glutathione depleting agent. *Comparative Biochemistry and Physiology* 114C:89-98.
- Lenters, V., C. S. Uiterwaal, R. Beelen, M. L. Bots, P. Fischer, B. Brunekreef, and G. Hoek. 2010. Long-term exposure to air pollution and vascular damage in young adults. *Epidemiology* 21(4): 512-520.
- Leong, K., and H. MacFarland. 1965. Pulmonary dynamics and retention of toxic gases. 1. Sulfur dioxide: concentration and duration of effects in rats. *Archives of Environmental Health* 11:555-563.
- Linares, B., J. M. Guizar, N. Amador, A. Garcia, V. Miranda, J. R. Perez, and R. Chapela. 2010. Impact of air pollution on pulmonary function and respiratory symptoms in children. Longitudinal repeated-measures study. *BMC. Pulm. Med.* 10: 62.
- Linn, W., D. Shamoo, C. Spier, L. Valencia, U. Anzar, T. Venet, and J. Hackney. 1983. Respiratory effects of 0.75 ppm sulfur dioxide in exercising asthmatics: influence of upper-respiratory defenses. *Environmental Research* 30:340-348.
- Linn, W., F. Shanty, T. Vinet, C. Spier, L. Valencia, U. Anzar, and J. Hackney. 1984. Combined effect of sulfur dioxide and cold in exercising asthmatics. *Archives of Environmental Health* 39:339-346.
- Linn, W., D. Shamoo, C. Spier, L. Valencia, U. Anzar, T. Venet, E. Avol, J. Hackney. 1985b. Controlled exposures of volunteers with chronic obstructive pulmonary disease to sulphur dioxide. *Environmental Research* 37:445-451.
- Linn, W.S., D.A. Shamoo, K.R. Anderson, J.D. Whynot, E.L. Avol, and J.D. Hackney. 1985b. Effects of heat and humidity on the responses of exercising asthmatics to sulfur dioxide exposure. *Am. Rev. Respir. Dis.* 131(2):221-225.

Linn, W., E. Avol, R.-C. Peng, D. Shamoo, and J. Hackney. 1987. Replicated dose-response study of sulfur dioxide effects in normal, atopic, and asthmatic volunteers. *American Review of Respiratory Disease* 136:1127-1134.

Linn, W., E. Avol, D. Shamoo, R.-C. Peng, C. Spier, M. Smith, and J. Hackney. 1988. Effect of metaproterenol sulfate on mild asthmatics' response to sulfur dioxide exposure and exercise. *Archives of Environmental Health* 43:399-406.

Lippmann, M. 2006. Update on Sulfur Dioxide: Its Health Effects and Its Role as a Surrogate Exposure Index of Other Toxicants. Professor of Environmental Medicine, New York University School of Medicine. Presented at the 2006 Health Effects Institute Annual Conference, Session on New Research on Health Effects of Air Pollutants. San Francisco, CA. April 11.

Longo, B. M., W. Yang, J. B. Green, F. L. Crosby, and V. L. Crosby. 2010. Acute health effects associated with exposure to volcanic air pollution (vog) from increased activity at Kilauea Volcano in 2008. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 73(20): 1370-1381.

Magnussen, H., R. Jorres, H.M. Wagner, and G. von Nieding. 1990. Relationship between the airway response to inhaled sulfur dioxide, isocapnic hyperventilation, and histamine in asthmatic subjects. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 62(7):485-491.

Man, S., W. Hulbert, K. Mok, T. Ryan, and A. Thomson. 1986. Effects of sulfur dioxide on pore populations of canine tracheal epithelium. *Journal of Applied Physiology* 60:416-426.

Mannix, R. R. Phalen, R. Walters, and T. Kurosaki, 1983. Effects of sulfur dioxide and formaldehyde on particle clearance in the rat. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 12:429-440

McManus, M., J. Koenig, L. Altman, and W. Pierson. 1989. Pulmonary effects of sulphur dioxide exposure and ipratropium bromide pretreatment in adults with nonallergic asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 83:619-626.

Melville, N. 1970. Changes in specific airway conductance in healthy volunteers following nasal and oral inhalation of SO<sub>2</sub>. *W. I. Medical Journal* 19:231-235.

Metro Vancouver 2012. The Burrard Inlet Area Local Air Quality Study: Monitoring Program Results. Air Quality Policy and Management Division of Metro Vancouver. December.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

- Metro Vancouver 2013. 2012 Lower Fraser Valley Air Quality Monitoring Report Summary. Air Quality Policy and Management Division of Metro Vancouver. June.
- Mukamal, K. J., G. A. Wellenius, H. H. Suh, and M. A. Mittleman. 2009. Weather and air pollution as triggers of severe headaches. *Neurology* 72(10): 922-927.
- National Research Council (NRC). 1978. Sulfur Oxides. National Academy of Sciences, Washington, DC. 209 p.
- National Research Council (NRC). 2010. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8. Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology. <http://www.nap.edu/catalog/12770.html>
- Neidell, M. and E. Lavaine 2012. Morbidity and Sulfur Dioxide: Evidence from French Strikes at Oil Refineries. PRELIMINARY.
- Oomichi, S., and H. Kita. 1974. Effect of air pollutants on ciliary activity of respiratory tract. *Bulletin of the Tokyo Medicine and Dentistry University* 21:327-343.
- Orazzo, F., L. Nespoli, K. Ito, D. Tassinari, D. Giardina, M. Funis, A. Cecchi, C. Trapani, G. Forgeschi, M. Vignini, L. Nasetti, S. Pigna, and A. Zanobetti. 2009. Air pollution, aeroallergens, and emergency room visits for acute respiratory diseases and gastroenteric disorders among young children in six Italian cities. *Environ. Health Perspect.* 117(11): 1780- 1785.
- Park, J.-K., Y.-K. Kim, S.-R. Lee, S.-H. Cho, K.-U. Min, and Y.-Y. Kim. 2001. Repeated exposure to low levels of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) enhances the development of ovalbumin-induced asthmatic reactions in guinea pigs. *Annals of Allergy, Asthma, and Immunology* 86:62-67.
- Pikhart H., M. Bobak, B. Kriz, J. Danova, M.A. Celko, V. Prikazsky, K. Pryl, D. Briggs, and P. Elliott 2000. Outdoor air concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide and prevalence of wheezing in school children. *Epidemiology*, 11, 153-160.
- Poplawski, K. and E. Setton 2010. MAML – Mobile Air Monitoring Laboratory, Data Collection Report – James Bay Air Quality Study, June – August 2009. Prepared by University of Victoria, Spatial Sciences Lab, Prepared for Vancouver Island Health Authority and British Columbia Ministry of the Environment. January 25.
- Riedel, F., M.Kramer, C. Scheibenbogen, and C. Rieger. 1988. Effects of SO<sub>2</sub> exposure on allergic sensitization in the guinea pig. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 82:527-534.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Rio Tinto Alcan 2013. Sulphur Dioxide Technical Assessment Report in Support of the 2013 Application to Amend the P2-00001 Multimedia Permit, Kitimat Modernization Project, Volume 2: Technical Report. Prepared by ESSA Technologies Ltd. April.

Rusznak, C., J.L. Devalia, and R.J. Davies. 1996. Airway response of asthmatic subjects to inhaled allergen after exposure to pollutants. *Thorax* 51(11):1105-1108.

Sandstrom, T., B. Kolmodin-Hedman, N. Stjernberg, M.C. Andersson, and G. Löfvenius. 1988. Challenge test for sulfur dioxide-symptom and lung function measurements. *Scand. J. Work Environ. Health* 14(Suppl. 1):77-79.

Sandstrom, T., N. Stjernberg, M.-C. Andersson, B. Kolmodin-Hedman, R. Lundgren, and T. Angstrom. 1989a. Is the short term limit value for sulphur dioxide exposure safe? Effects of controlled chamber exposure investigated with bronchoalveolar lavage. *British Journal of Industrial Medicine* 46:200-203.

Sandstrom, T., N. Stjernberg, M.-C. Andersson, B. Kolmodin-Hedman, R. Lundgren, L. Rosenhall, and T. Angstrom. 1989b. Cell response in bronchoalveolar lavage fluid after exposure to sulfur dioxide: a time-response study. *American Review of Respiratory Disease* 140:1828-1831.

Sang, N., Y. Yun, H. Li, L. Hou, M. Han, and G. Li. 2010. SO<sub>2</sub> inhalation contributes to the development and progression of ischemic stroke in the brain. *Toxicol. Sci.* 114(2): 226-236.

Schachter, E.N., T. Witek, G. Beck, H. Hosein, G. Colice, B. Leaderer, and W. Cain. 1984. Airway effects of low concentrations of sulfur dioxide: dose-response characteristics. *Archives of Environmental Health* 39:34-42.

Schildcrout J.S., L. Sheppard, T. Lumley, J.C. Slaughter, J.Q. Koenig and G.G.Shapiro, 2006. Ambient air pollution and asthma exacerbations in children: an eight-city analysis. *Am J Epidemiol*, 164, 505- 517.

Schwartz, J., D.W. Dockery, L.M. Neas, D. Wypij, J.H. Ware, J.D. Spengler, P. Koutrakis, F.E. Speizer, and B.G. Ferris, Jr. 1994. Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 150(5 Pt.1):1234-1242.

Schweizer, B. and Arndt, U. 1990. CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gas exchange parameters of one and two year old needles of spruce and fir. *Environmental pollution*, 68: 275-292.



---

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Segala C., B. Fauroux, J. Just, L. Pascual, A. Grimfeld and F. Neukirch 1998. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. *Eur Respir J*, 11, 677-685.

Setton, E., K. Poplawski, C. Ma 2013. Analysis of Sulfur Dioxide Levels – James Bay Neighbourhood 2012. Prepared by University of Victoria – Geography, Spatial Sciences Research Lab, Prepared for British Columbia Ministry of Environment.

Setton, E. and K. Poplawski 2012. Analysis of Sulfur Dioxide Levels – James Bay Neighbourhood 2011. Prepared by University of Victoria – Geography, Spatial Sciences Research Lab, Prepared for British Columbia Ministry of Environment.

Sheppard, D., W. Wong, C. Uehara, J. Nadel, and H. Boushey. 1980. Lower threshold and greater bronchomotor responsiveness of asthmatic subjects to sulfur dioxide. *American Review of Respiratory Disease* 122:873-878.

Sheppard, D., J. Epstein, R. Bethel, J. Nadel, and H. Boushey. 1983. Tolerance to sulfur dioxide-induced bronchoconstriction in subjects with asthma. *Environmental Research* 30:412-419.

Sheppard, D., W. Eschenbacher, H. Boushey, and R. Bethel. 1984. Magnitude of the interaction between the bronchomotor effects of sulfur dioxide and those of dry (cold) air. *American Review of Respiratory Disease* 130:52-55.

Singh, J. 1989. Neonatal development altered by maternal sulfur dioxide exposure. *Neurotoxicology* 10(3): 523-7.

Skornik, W., and J. Brain. 1990. Effect of sulfur dioxide on pulmonary macrophage endocytosis at rest and during exercise. *American Review of Respiratory Disease* 142:655-659.

Snell, R., and P. Luchsinger. 1969. Effects of sulfur dioxide on expiratory flow rates and total respiratory resistance in normal human subjects. *Archives of Environmental Health* 18:693-698.

Speizer, F., and N. Frank. 1966b. A comparison of changes in pulmonary flow resistance in health volunteers acutely exposed to SO<sub>2</sub> by mouth and by nose. *British Journal of Industrial Medicine* 23:75-79.

Stacy, R., D. House, M. Friedman, M. Hazucha, J. Green, L. Raggio, and L. Roger. 1977. Effects of 0.75 ppm sulfur dioxide on pulmonary function parameters of normal human subjects. *Archives of Environmental Health* 36:172-178.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Stacy, R., E. Seal, D. House, J. Green, L. Roger, and R. Louis. 1983. A survey of effects of gaseous and aerosol pollutants on pulmonary function of normal males. *Archives of Environmental Health* 38:104-115.

Steinvil, A., L. Kordova-Biezuner, I. Shapira, S. Berliner, and O. Rogowski. 2008. Short-term exposure to air pollution and inflammation-sensitive biomarkers. *Environ. Res.* 106(1): 51- 61.

Stratmann, U., R. Lehmann, T. Steinbach, and G. Wessling. 1991. Effect of sulfur dioxide inhalation on the respiratory tract of the rat. *Zbl. Hyg.* 192:324-335.

Sunyer, J., F. Ballester, A. Le Tertre, R. Atkinson, J.G. Ayres, F. Forastiere, B. Forsberg, J.M. Vonk, L. Bisanti, J.M. Tenias, S. Medina, J. Schwartz, K. Katsouyanni 2003. The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The Aphea-II study). *European Heart Journal* 24: 752-760.

Szyszkowicz, M., B. H. Rowe, and I. Colman. 2009a. Air pollution and daily emergency department visits for depression. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 22(4): 355-362.

Szyszkowicz, M., J. B. Willey, E. Grafstein, B. H. Rowe, and I. Colman. 2010. Air pollution and emergency department visits for suicide attempts in Vancouver, Canada. *Environ. Health Insights* 4: 79-86.

Szyszkowicz, M., E. Porada, N. Tremblay, and E. Grafstein. 2012. Sulfur dioxide and emergency department visits for stroke and seizure. *Stroke. Res. Treat.* 2012: 824724.

Tam, E., J. Liu, B. Bigby, and H. Boushey. 1988. Sulfur dioxide does not acutely increase nasal symptoms or nasal resistance in subjects with rhinitis or in subjects with bronchial responsiveness to sulfur dioxide. *American Review of Respiratory Disease* 138:1559-1564.

Thompson, A. M., A. Zanobetti, F. Silverman, J. Schwartz, B. Coull, B. Urch, M. Speck, J. R. Brook, M. Manno, and D. R. Gold. 2010. Baseline repeated measures from controlled human exposure studies: associations between ambient air pollution exposure and the systemic inflammatory biomarkers IL-6 and fibrinogen. *Environ. Health Perspect.* 118(1): 120-124.

Trenga, C., J. Koenig, and P. Williams. 1999. Sulphur dioxide sensitivity and plasma antioxidants in adult subjects with asthma. *Occupational and Environmental Medicine* 56:544-547.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Tunnicliffe, W., M. Hilton, R. Harrison, and J. Ayres. 2001. The effect of sulphur dioxide exposure on indices of heart rate variability in normal and asthmatic adults. *European Respiratory Journal* 17:604-608.

Tunnicliffe, W.S., R.M. Harrison, F.J. Kelly, C. Dunster and J.G. Ayres (2003). The effect of sulphurous air pollutant exposures on symptoms, lung function, exhaled nitric oxide, and nasal epithelial lining fluid antioxidant concentrations in normal and asthmatic adults. *Occup Environ Med*, 60, e15.

Turin, T. C., Y. Kita, N. Rumana, Y. Nakamura, K. Ueda, N. Takashima, H. Sugihara, Y. Morita, M. Ichikawa, K. Hirose, H. Nitta, A. Okayama, K. Miura, and H. Ueshima. 2012b. Ambient Air Pollutants and Acute Case-Fatality of Cerebro-Cardiovascular Events: Takashima Stroke and AMI Registry, Japan (1988-2004). *Cerebrovasc. Dis.* 34(2): 130-139.

Ukai, K. 1977. Effect of SO<sub>2</sub> on the pathogenesis of viral upper respiratory infection in mice. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 154:591-596.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2008. Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria. Research Triangle Park, NC.

Vai, F., M. Fournier, J. Lafuma, E. Touaty, and R. Pariente. 1980. SO<sub>2</sub>-induced bronchopathy in the rat: abnormal permeability of the bronchial epithelium *in vivo* and *in vitro* after anatomic recovery. *American Review of Respiratory Disease* 121:851-858.

Vancouver Island Health Authority 2010. Health Review and Response to James Bay Phase III Air Quality Monitoring. Prepared by R. Stanwick.

Vidotto, J. P., L. A. Pereira, A. L. Braga, C. A. Silva, A. M. Sallum, L. M. Campos, L. C. Martins, and S. C. Farhat. 2012. Atmospheric pollution: influence on hospital admissions in paediatric rheumatic diseases. *Lupus* 21(5): 526-533.

Ward, D.J., K.T. Roberts, N. Jones, R.M. Harrison, J.G. Ayres, S. Hussain and S. Walters 2002a. Effects of daily variation in outdoor particulates and ambient acid species in normal and asthmatic children. *Thorax*, 57, 489-502.

Ward, D.J., K.T. Roberts, N. Jones, R.M. Harrison, J.G. Ayres, S. Hussain and S. Walters 2002b. Effects of daily variation in outdoor particulates and ambient acid species in normal and asthmatic children (correction). *Thorax*, 57, 752.

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Wang, X. Y., W. Hu, and S. Tong. 2009. Long-term exposure to gaseous air pollutants and cardiorespiratory mortality in Brisbane, Australia. *Geospat. Health* 3(2): 257-263.

Will-Wolf, S. 1981. Structure of corticolous lichen communities before and after exposure to emissions from a "clean" coal-fired generating station. *Bryologist*, 83: 281-295.

Witek, T., E.N. Schachter, G. Beck, W. Cain, G. Colice, and B. Leaderer. 1985. Respiratory symptoms associated with sulfur dioxide exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 55:179-183.

Wollmer, H. and Kottke, K. 1990. Fine root studies *in situ* and in the laboratory. *Environmental pollution*, 68: 383-407.

World Health Organization (WHO) 2000. Air quality guidelines 2<sup>nd</sup> Edition. Chapter 10, Effects of Sulphur Dioxide on vegetation: Critical levels. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, Copenhagen, Denmark.

World Health Organization (WHO) 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02

Yang, A. C., S. J. Tsai, and N. E. Huang. 2011. Decomposing the association of completed suicide with air pollution, weather, and unemployment data at different time scales. *J. Affect. Disord.* 129(1-3): 275-281.

Yun, Y., L. Hou, and N. Sang. 2011. SO<sub>2</sub> inhalation modulates the expression of proinflammatory and pro-apoptotic genes in rat heart and lung. *J. Hazard. Mater.* 185(1): 482-488.

Zhao, Z., Z. Zhang, Z. Wang, M. Ferm, Y. Liang, and D. Norback. 2008. Asthmatic symptoms among pupils in relation to winter indoor and outdoor air pollution in schools in Taiyuan, China. *Environ. Health Perspect.* 116(1): 90-97.

Zhao, Q., Z. Liang, S. Tao, J. Zhu, and Y. Du. 2011. Effects of air pollution on neonatal prematurity in Guangzhou of China: a time-series study. *Environ. Health* 10: 2.

**SECTION 4.0**

Amouroux, D., G. Roberts, S. Rapsomanikis and M.O. Andreae 2002. Biogenic Gas (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, DMS) Emission to the Atmosphere from Near-shore and Shelf Waters of the North-western Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54:575-587.

Aneja, V.P. 1990. Natural Sulfur Emissions into the Atmosphere. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40(4):469-476.

Bates, T.S., B.K. Lamb, A. Guenther, J. Dignon and R.E. Stoiber 1992. Sulfur Emissions to the Atmosphere from Natural Sources. U.S. Dept. of Commerce / NOAA / OAR / PMEL / Publications [www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/bate1229/bate1229.shtml#tab1](http://www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/bate1229/bate1229.shtml#tab1)

Brewer, R., S. Sharma, M. Henry, W. Belzer, B. Thomson and L. Barrie 2001. Dimethyl Sulphide Measurements in the Strait of Georgia near Vancouver, Canada. Presented at the 8th European Symposium on the Physico-Chemical of Atmospheric Pollutants, A Changing Atmosphere, European Commission and the Institute for Environment and Sustainability, 17-20 September 2001, Torino, Italy

<http://ies.jrc.ec.europa.eu/Units/cc/events/torino2001/torinocd/Documents/Marine/MP1.htm>

Bucher Norris, K. 2003. Dimethylsulfide Emission: Climate Control by Marine Algae? <http://www.csa.com/discoveryguides/dimethyl/overview.php>

Cantin, G., M. Levasseur, M. Gosselin and S. Michaud 1996. Role of zooplankton in the mesoscale distribution of surface dimethylsulfide concentrations in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Marine Ecology Progress Series*, 141:103-117.

Cantin, G., M. Levasseur, S. Schultes and S. Michaud 1999. Dimethylsulfide (DMS) production by size-fractionated particles in the Labrador Sea. *Aquatic Microbial Biology*, 19:307-312.

Church, T.M. and T.D. Jickells 2004. Atmospheric chemistry in the coastal ocean: A synopsis of processing, scavenging and inputs. *Indian Journal of Marine Sciences* 33(1):71-76.

Giblin, A.E. and R. Kelman Wieder c1990. Chapter 5: Sulphur Cycling in Marine and Freshwater Wetlands. In: *Sulphur Cycling on the Continents*.

<http://www.scopenvironment.org/downloadpubs.scope48/chapter05.html>

Kulkarni, N.R., D.L. White, A.J. Lewitus, R.G. Tymowski and D.C. Yoch 2005. Dimethylsulfoniopionate in a salt marsh estuary: correlation to tidal cycle and phytoplankton assemblage composition. *Marine Ecology Progress Series*, 289:13-25.

000440

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Kwint, R.L.J. and K.J.M. Kramer 1996. Annual cycle of the production and fate of DMS and DMPS in a marine coastal system. *Marine Ecology Progress Series*, 134:217-224.

Lana, A., T. G. Bell, R. Simó, S. M. Vallina, J. Ballabrera-Poy, A. J. Kettle, J. Dachs, L. Bopp, E. S. Saltzman, J. Stefels, J. E. Johnson, and P. S. Liss 2011. An updated climatology of surface dimethylsulfide concentrations and emission fluxes in the global ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 25, GB1004.

Langley, L., W.R. Leaitch, U. Lohmann, N.C. Shantz and D.R. Worsnop 2010. Contributions from DMS and ship emissions to CCN observed over the summertime North Pacific. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10:1287-1314.

Leck, C. And H. Rodhe 1991. Emissions of marine biogenic sulfur to the atmosphere of northern Europe. *Journal of Atmospheric Chemistry* 12(1):63-86.

Masotti, I., S. Belviso, S. Alvain, J.E. Johnson, T.S., Bates, P.D. Tortell, N.Kasamatsu, M. Mongin, C.A. Marandino, E.S. Saltzman and C. Moulin 2010. Spatial and temporal variability of dimethylsulfide to chlorophyll ratio in the surface ocean: an assessment based on phytoplankton group dominance determined from space. *Biogeosciences* 7:3215-3237

National Environment Protection Council 2004. Review of the Practicality of a 10 Minute Sulfur Dioxide Standard. Canberra, Australia

Nemcek, N., D. Ianson and P.D. Tortell 2008. A high-resolution survey of DMS, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/Ar distributions in productive coastal waters. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 22, GB2009, American Geophysical Union.

Ribalet, F., A. Marchetti, K.A. Hubbard, K. Brown, C.A. Durkin, R. Morales, M. Robert, J.E. Swalwell, P.D. Tortell and E.V. Armbrust 2010. Unveiling a phytoplankton hotspot at a narrow boundary between coastal and offshore waters. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(38):16571-16576.

SENES Consultants 2013. Air Quality in the Capital Regional District 2012 (Draft). Prepared for the British Columbia Ministry of Environment, Nanaimo, B.C.

Sharma, S., R. Vingarzan, L.A. Barrie, A. Norman, A. Sirois, M. Henry and C. DiCenzo 2003. Concentrations of dimethyl sulfide in the Strait of Georgia and its impact on the atmospheric sulfur budget of the Canadian West Coast. *Journal of Geophysical Research*, 108(D15):4459

000440

VTA

*Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Objective Literature Review*

---

Turner, S.M., G. Malin, P.S. Liss, D.S. Harbour and P.M Holligan 1988. The seasonal variation of dimethyl sulfide and dimethylsulfoniopropionate concentrations in nearshore waters. *Limnology and Oceanography* 33(3):364-375.

SECTION 5.0

American Lung Association 2009. Backgrounder: EPA Review of the National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Dioxide. J. Nolen and D. Shprentz January 2009.

Clean Air Scientific Advisory Committee (CASAC) 2009. Letter to L.P. Jackson, Administrator, U.S. Environmental Protection Agency, J. M. Samet, Chair, CASAC. *Review of EPA's Risk and Exposure Assessment (REA) to Support the Review of the SO<sub>2</sub> Primary National Ambient Air Quality Standards: Second Draft*

Greaver, T.L., T.J. Sullivan, J.D. Herrick, M.C. Barber, J.S. Baron, B.J. Cosby, M.E. Deerhake, R.L. Dennis, J.B. Dubois, C.L. Goodale, A.T. Herlihy, G.B. Lawrence, L. Liu, J.A. Lynch, and K.J. Novak. 2012. Ecological effects of nitrogen and sulfur air pollution in the US: what do we know? *Front Ecol Environ* 2012; 10(7): 365–372.

**NORMATIVA del PERÚ**

A continuación se adjunta la normativa del Perú relacionada con el dióxido de azufre:

- Estándares de calidad Ambiental para Aire, Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, Ministerio del Ambiente del Perú.
- Disposiciones complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire, Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, Ministerio del Ambiente del Perú.



**Artículo 2°.-** La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros, el Ministro de Agricultura y la Ministra de Justicia.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ  
Presidente del Consejo de Ministros

ISMAEL BENAVIDES FERREYROS  
Ministro de Agricultura

ROSARIO DEL PILAR FERNÁNDEZ FIGUEROA  
Ministra de Justicia

241991-4

## AMBIENTE

### Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire

#### DECRETO SUPREMO N° 003-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611- Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, estableciendo el literal d) de su artículo 7° como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiéndose aprobar mediante Decreto Supremo;

Que, los ECA se refieren a valores que no representen riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente, siendo que el concepto de valor guía de la calidad del aire, desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se refiere al valor de la concentración de los contaminantes en el aire por debajo del cual la exposición no representa un riesgo significativo para la salud;

Que, el numeral 33.2 del Artículo 33° de la Ley N° 28611, establece que la Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de elaboración de los ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental debe tomar en cuenta los establecidos por la Organización Mundial de la Salud o las entidades de nivel internacional especializadas en cada uno de los temas ambientales;

Que, asimismo, el numeral 33.4 del Artículo 33° de la mencionada Ley, establece que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de acuerdo a lo establecido en el Cronograma de Priorizaciones para la aprobación progresiva de ECA y LMP, aprobado por Decreto de Consejo Directivo del Consejo Nacional del Ambiente N° 029-2006-CONAM/CD, se elaboró la propuesta de los ECA a aprobarse, tomando en consideración las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y la opinión de los sectores involucrados;

Que, de conformidad con lo previsto en el Decreto Supremo N° 033-2007-PCM se han llevado a cabo los procesos de Consulta Pública aprobados por Resoluciones Presidenciales N°s 036 y 038-2008-CONAM/PCD, así como los talleres de coordinación interinstitucional

realizados los días 24 de abril, 21 de mayo y 4 de agosto del presente año, por lo que se recibió la opinión de los Ministerios de Salud, Producción, Vivienda y Construcción, Transportes y Comunicaciones y Energía y Minas; todos los Gobiernos Regionales; diversas Municipalidades y representantes de la sociedad civil, bajo el proceso de consulta pública;

Que la Segunda Disposición Transitoria del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, mediante el cual se aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, establece que el valor del estándar nacional de calidad ambiental del aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) para veinticuatro horas debe ser revisado en el período que se requiera, de detectarse que tienen un impacto negativo sobre la salud en base a estudios y evaluaciones continuas;

Que, tomando en consideración las nuevas evidencias halladas por la Organización Mundial de la Salud, resulta necesario aprobar nuevos Estándares de Calidad Ambiental de Aire para el Dióxido de Azufre, los mismos que entrarán en vigencia a partir del primero de enero del 2009, así como establecer Estándares Ambientales de Calidad de Aire para Benceno, Hidrocarburos Totales, Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras e Hidrógeno Sulfurado;

De conformidad con lo establecido en Ley N° 28611- Ley General del Ambiente y el Decreto Legislativo N° 1013 que aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

#### Artículo 1°.- Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Aprobar los Estándares de Calidad Ambiental para Aire que se encuentran contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo.

#### Artículo 2°.- Normas complementarias

El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire y para la correspondiente adecuación de los Límites Máximos Permisibles.

#### Artículo 3°.- Vigencia de Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos para el dióxido de azufre

Los Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos para el Dióxido de Azufre en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM mantienen su vigencia hasta el 31 de diciembre de 2008.

Conforme a lo establecido en el Anexo I del presente Decreto Supremo, los nuevos Estándares de Calidad Ambiental establecidos para el Dióxido de Azufre entrarán en vigencia a partir del primero de enero del 2009.

#### Artículo 4°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintidós días del mes de agosto del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

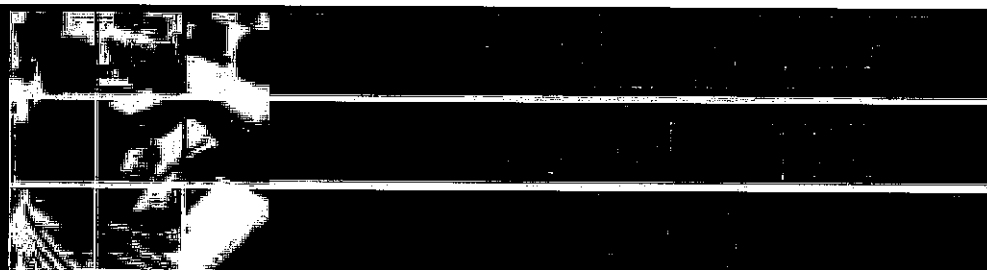
#### ANEXO 1

#### TABLA 1

#### ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE SO<sub>2</sub>

Parámetro	Periodo	Valor ug m	Vigencia	Formato	Método de análisis
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	80	1 de Enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de enero del 2014		

000442  
VTA



Descargado desde [www.elperuano.com.pe](http://www.elperuano.com.pe)

## Conozca la nueva normativa de contrataciones públicas - D.L. N° 1017

CONSUCODE lo invita a participar en su Programa de Capacitación:

EVENTO	FECHAS	LUGAR DEL EVENTO	INVERSIÓN
Seminario Nueva Normativa de Contrataciones del Estado	09 y 10 Septiembre (17:00 a 21:00 hrs.)	Av. San Luis 1771 San Borja (INICTEL)	S/. 60.00
Seminario Nueva Normativa de Contrataciones del Estado	15 y 16 Septiembre (17:00 a 21:00 hrs.)	Av. San Luis 1771 San Borja (INICTEL)	S/. 60.00
Seminario Nueva Normativa de Contrataciones del Estado	29 y 30 Septiembre (17:00 a 21:00 hrs.)	Av. San Luis 1771 San Borja (INICTEL)	S/. 60.00

### INFORMES:

Subdirección de Capacitación - Teléfax: 462-1011 / 460-2147

### INSCRIPCIONES:

Caja de CONSUCODE (Av. Gregorio Escobado Cdra. 7 s/n - Jesús María) o Banco de la Nación Cta. Cta. M.N. 0-000-870803 (Faxear comprobante de pago y Ficha de inscripción al Teléfax: 462-1011 / 460-2147)

También estaremos dictando este seminario en  
**PIURA, CUSCO, HUARAZ, AREQUIPA, HUANCAYO,  
TRUJILLO, TACNA, TARAPOTO, CHICLAYO,  
HUÁNUCO e IQUITOS**

**CONSUCODE**

Para descargar la Ficha de inscripción puede ingresar a  
[www.consucode.gob.pe](http://www.consucode.gob.pe)

TABLA 2

**ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL  
PARA COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES  
(COV); HIDROCARBUROS TOTALES (HT); MATERIAL  
PARTICULADO CON DIÁMETRO MENOR A 2,5  
MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)**

Parámetro	Periodo	Valor	Vigencia	Formato	Método de análisis
Benceno <sup>1</sup>	Anual	4 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Cromatografía de gases
		2 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2014		
Hidrocarburos Totales (HT) Expresado como Hexano	24 horas	100 mg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Ionización de la llama de hidrógeno
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2.5</sub> )	24 horas	50 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
	24 horas	25 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2014	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
Hidrógeno Sulfurado (H <sub>2</sub> S)	24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

<sup>1</sup> Único Compuesto Orgánico Volátil regulado (COV)  
**241991-1**

## COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO

Establecen la conformación del Comité Especial encargado de proponer el Plan Anual de Promoción y Desarrollo Turístico Nacional

### RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 138-2008-MINCETUR/DM

Lima, 20 de agosto de 2008

Visto el Memorándum N° 697-2008-MINCETUR/MT, de 12 de agosto de 2008, del Viceministro de Turismo;

#### CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 27889 - Ley que crea el Fondo y el Impuesto Extraordinario para la Promoción y Desarrollo Turístico Nacional, creó igualmente el Comité Especial encargado de proponer al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, el Plan Anual de Promoción y Desarrollo Turístico Nacional, integrado por el Ministro de Comercio Exterior y Turismo que lo preside y por representantes del sector público, del Gobierno Nacional y de los Gobiernos Regionales, y del sector privado;

Que, conforme al artículo 11° del Reglamento de la Ley N° 27889, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2003-MINCETUR, modificado por Decreto Supremo N° 006-2006-MINCETUR, los miembros del Comité Especial son designados por un año renovable; vencido dicho plazo continúan en sus cargos hasta que se designe a su reemplazante salvo renovación;

Que, los representantes de Sector Público son designados por las entidades correspondientes; y los representantes del Sector Turístico Privado son designados por Resolución del Titular de Comercio Exterior y Turismo, para cuyo efecto, los gremios legalmente constituidos representativos de los establecimientos de hospedaje y afines, de las agencias de viaje y operadores turísticos y de las líneas aéreas, presentan al MINCETUR las temáticas correspondientes;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 341-2005-MINCETUR/DM, publicada el 6 de noviembre de 2005, Oficio RE. (OPE-PTU) N° 2-14/17 del Ministerio de Relaciones Exteriores y Oficios N°s. 953-2006-EF/10 y 184-2008-EF/10, del Ministerio de Economía y Finanzas, se designaron a los integrantes del Comité Especial encargado de proponer el Plan Anual de Promoción y Desarrollo Turístico Nacional;

Que, a la fecha es necesario actualizar la conformación del referido Comité Especial, en cumplimiento del artículo 11° del Reglamento de la Ley N° 27889, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2003-MINCETUR, modificado por Decreto Supremo N° 006-2006-MINCETUR;

Que, a tal efecto, el Ministerio de Economía y Finanzas, el Ministerio de Relaciones Exteriores y los Gobiernos Regionales a través de la Secretaría de Descentralización de la Presidencia del Consejo de Ministros, han comunicado la designación de sus representantes; asimismo, las entidades del sector privado han presentado las temáticas correspondientes para la designación de sus representantes;

De conformidad con la Ley N° 27990 - Ley de Organización y Funciones del MINCETUR, Ley N° 27889 - Ley que crea el Fondo y el Impuesto Extraordinario para la promoción y desarrollo turístico nacional y los artículos 7° y 11° de su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2003-MINCETUR, modificado por Decreto Supremo N° 006-2006-MINCETUR, y Decreto Supremo N° 003-2007-MINCETUR;

De acuerdo con las propuestas formuladas por el Viceministerio de Turismo;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** El Comité Especial encargado de proponer el Plan Anual de Promoción y Desarrollo Turístico Nacional, creado por la Ley N° 27889, a partir de la fecha estará integrado por los siguientes miembros:

- Ministra de Comercio Exterior y Turismo, quien lo preside;
- Viceministro de Turismo;
- Señor Javier Roca Fabián, representante del Ministerio de Economía y Finanzas;
- Señor Embajador Javier León Olavarría, representante del Ministerio de Relaciones Exteriores;
- Señor Rafael Sunción Sabalú, Gerente Regional de Desarrollo Económico, del Gobierno Regional de Tumbes, representante del Circuito Turístico Norte - Nor Oriental;
- Señor José Luis Álvarez Ramos, Director Regional de Comercio Exterior y Turismo, del Gobierno Regional de Junín, representante del Circuito Turístico del Centro;
- Señor Joaquín Vásquez Rosales, Gerente Regional de Desarrollo Económico del Gobierno Regional del Cusco, representante del Circuito Turístico Sur;
- Directora de Promoción del Turismo de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ;
- Señora Betty Contreras Caballón, Directora Ejecutiva de Plan COPESCO Nacional;
- Señor Fernando Puga Castro, en representación de la Cámara Nacional de Turismo - CANATUR;
- Señor Juan Stoessel Flórez, en representación de los Establecimientos de Hospedaje y Afines del país;
- Señor Héctor Velit Núñez, en representación de las Agencias de Viajes y Operadores Turísticos; y
- Señor Daniel Ratti Vásquez, en representación de las Líneas Aéreas.

**Artículo 2°.-** Dar las gracias a los miembros salientes del Comité Especial creado por la Ley N° 27889, por los servicios prestados.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

MERCEDES ARAOZ FERNÁNDEZ  
Ministra de Comercio Exterior y Turismo

241616-1

## DEFENSA

Autorizan viaje de personal militar FAP para participar en la Segunda Reunión del Grupo de Trabajo Binacional Perú - Brasil

### RESOLUCIÓN SUPREMA N° 319-2008-DE/FAP

Lima, 21 de agosto de 2008

Vista la Papeleta de Trámite N° 1363-EMED-2008 de fecha 24 de julio de 2008, del Jefe del Estado Mayor General de la Fuerza Aérea del Perú; y, la Papeleta de Trámite N° 3225-SGFA de fecha 25 de julio de 2008, del Secretario General de la Fuerza Aérea del Perú;

#### CONSIDERANDO:

Que, es conveniente para los intereses institucionales autorizar el viaje al exterior en Comisión de Servicio a la

Aire para Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ), que como Anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.- Vigencia**

El presente Decreto Supremo entrará en vigencia al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

**Artículo 3°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciocho días del mes de junio del año dos mil trece.

OLLANTA HUMALA TASSO  
Presidente Constitucional de la República

MANUEL PULGAR VIDAL  
Ministro del Ambiente

**ANEXO**

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) DE AIRE**

**Artículo 1°.- Objeto**

El presente Decreto Supremo tiene por objeto establecer disposiciones complementarias para la aplicación del Estándar de Calidad Ambiental de Aire para Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ), aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.

**Artículo 2°.- Aplicación del ECA de Aire para Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )**

2.1 En aquellas ciudades o zonas en las que el Ministerio del Ambiente establezca que como resultado de los monitoreos ambientales continuos y representativos realizados en los doce meses anteriores al 01 de enero de 2014, registren valores diarios menores o iguales a  $20 \text{ ug/m}^3$  de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en el aire, se deberán continuar las acciones y desarrollar las medidas de prevención que permitan mantener las concentraciones por debajo del valor antes señalado. Los proyectos nuevos a realizarse en estas zonas cumplirán con lo dispuesto en el 2.4 del presente decreto supremo.

2.2. En aquellas ciudades o zonas en las que el Ministerio del Ambiente establezca que, como resultado de los monitoreos ambientales continuos y representativos de los últimos doce meses anteriores al 01 de enero de 2014, registren valores diarios superiores a  $20 \text{ ug/m}^3$  de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en el aire, se deberán considerar dentro de los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de sus cuencas atmosféricas las acciones, metas, plazos y mecanismos de adecuación que se requieran para lograr que dichas concentraciones se reduzcan de manera gradual y progresiva.

Para la determinación de las metas, plazos, cronogramas y mecanismos de reducción de concentraciones en los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, se debe analizar la viabilidad y disponibilidad tecnológica, necesaria para prevenir y reducir las emisiones de dióxido de azufre, así como también, los límites máximos permisibles aplicables. Se considerará asimismo la comercialización de combustibles diesel con contenido de azufre menor a 50 ppm, acorde a lo establecido en la Ley N° 28694 y sus normas reglamentarias.

2.3. En las cuencas atmosféricas señaladas en el numeral 2.2 del presente artículo, en tanto se culmine la implementación de sus Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, se mantendrá vigente, para todos los efectos administrativos incluyendo los procedimientos sancionadores, el Estándar de Calidad Ambiental de Aire para dióxido de azufre, cuyo valor diario es de  $80 \text{ ug/m}^3$ .

2.4. Para el otorgamiento de la certificación ambiental de proyectos nuevos, los instrumentos de gestión ambiental incorporarán el análisis de la viabilidad y disponibilidad tecnológica que permitan prevenir y reducir las emisiones de dióxido de azufre. Los titulares presentarán un plan de manejo ambiental del nuevo proyecto sobre el análisis de la viabilidad y disponibilidad tecnológica. En los casos que el análisis y el plan respectivo determinen la inexistencia de tecnología disponible y viable, se aplicará para proyectos nuevos, lo dispuesto en el inciso precedente.

Los titulares de los proyectos nuevos determinarán como parte de su Instrumento de Gestión Ambiental, las concentraciones de contaminantes del aire que caracterizan sus actividades, considerando las áreas de su emplazamiento y de influencia. Los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de la cuenca atmosférica en la que se ubicará el proyecto, incorporarán las medidas de prevención y gestión de la calidad del aire derivados de la certificación ambiental otorgada.

2.5 Complementariamente a lo señalado, los GESTA Zonal de Aire a que se refiere el inciso e) del artículo 3° del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, deberán formular y desarrollar las medidas de acción locales de los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire.

**Artículo 3°.- Excedencias Anuales Permitidas respecto al valor diario del ECA de Aire para Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )**

Con la finalidad de considerar en el análisis de las concentraciones diarias de dióxido de azufre las distorsiones derivadas de eventos no habituales, establézcase un máximo de tres (03) días al año de excedencias permitidas respecto al valor diario del Estándar de Calidad Ambiental de Aire para Dióxido de Azufre vigente, dentro de un período anual de monitoreos ambientales continuos, sin perjuicio de lo establecido en el Decreto Supremo N° 009-2003-SA, Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire y sus modificatorias.

952143-1

000444

VTA

## CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el artículo 31° de la mencionada Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según el artículo 34° de la Ley N° 28611, la Autoridad Ambiental Nacional, esto es, el Ministerio del Ambiente - MINAM, coordina con las autoridades competentes la formulación, ejecución y evaluación de los planes destinados a la mejora de la calidad ambiental o la prevención de daños irreversibles en zonas vulnerables o en las que se sobrepasen los ECA, y vigila según sea el caso, su fiel cumplimiento.

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, el MINAM tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM se aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, estableciéndose en su Segunda Disposición Transitoria que el valor del estándar nacional de calidad ambiental del aire de dióxido de azufre (24 horas), será revisado en el período que se requiera cuando se determine que genera un impacto negativo sobre la salud, en base a estudios y evaluaciones continuas;

Que, en ese contexto, se emitió el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, que aprueba el estándar de calidad ambiental de aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), precisándose un valor diario de 80 ug/m<sup>3</sup>, a partir del primero del 01 de enero de 2009; y, un valor diario de 20 ug/m<sup>3</sup>, a partir del 01 de enero de 2014;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 225-2012-MINAM, de fecha 28 de agosto de 2012, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el periodo 2012 - 2013, en el que se considera la actualización del Reglamento del ECA para Aire, la revisión de los LMP de emisiones para las actividades minero-metalúrgicas, y la elaboración de LMP de emisiones de actividades de generación, transmisión y distribución eléctrica;

Que, como consecuencia de los monitoreos de calidad ambiental del aire realizados, se ha determinado la situación actual respecto al estándar de calidad ambiental de aire para dióxido de azufre en las zonas de atención prioritarias, establecidas por el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, siendo necesario aprobar disposiciones complementarias para su aplicación;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

## DECRETA:

**Artículo 1°.- Aprobación de Disposiciones Complementarias para la Aplicación del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

Apruébese las Disposiciones Complementarias para la Aplicación del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de

**AMBIENTE**
**Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire**

DECRETO SUPREMO  
N° 006-2013-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

**NORMATIVA del JAPÓN**

A continuación se adjunta la normativa del Japón relacionada con el dióxido de azufre:

- Estándar de Calidad Ambiental en el aire en Japón, web del Ministerio del Medio Ambiente del Japón ( <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html> ).



[Empty box]

MOE > [Air & Transportation](#) > Environmental Quality Standards in Japan - Air Quality

**Air & Transportation**

**Environmental Quality Standards in Japan - Air Quality**

**1. Environmental Quality Standards in Japan**

Substance	Environmental conditions	Measuring method
Sulfur dioxide	The daily average for hourly values shall not exceed 0.04 ppm, and hourly values shall not exceed 0.1 ppm (Notification on May 16, 1973)	Conductometric method or ultraviolet fluorescence method
Carbon monoxide	The daily average for hourly values shall not exceed 10 ppm, and average of hourly values for any consecutive eight hour period shall not exceed 20ppm (Notification on May 8, 1973)	Nondispersive infrared analyzer method
Suspended particulate matter	The daily average for hourly values shall not exceed 0.10 mg/m <sup>3</sup> , and hourly values shall not exceed 0.20 mg/m <sup>3</sup> (Notification on May 8, 1973)	Weight concentration measuring methods based on filtration collection, or light scattering method; or piezoelectric microbalance method; or β-ray attenuation method that yields values having a linear relation with the values of the above methods.
Nitrogen dioxide	The daily average for hourly values shall be within the 0.04-0.06 ppm zone or below that zone (Notification on July 11, 1978)	Colorimetry employing Saltzman reagent (with Saltzman's coefficient being 0.84) or chemiluminescent method using ozone.
Photochemical oxidants	Hourly values shall not exceed 0.06 ppm (Notification on May 8, 1973)	Absorption spectrophotometry using a neutral potassium iodide solution; coulometry; ultraviolet absorption spectrometry; or chemiluminescent method using ethylene.

1. Suspended particulate matter is defined as airborne particles with a diameter smaller than or equal to 10 μm.
2. Photochemical oxidants are oxidizing substances such as ozone and peroxyacetyl nitrate produced by photochemical reactions (only those capable of isolating iodine from neutral potassium iodide, excluding nitrogen dioxide.)

**2. Environmental Quality Standards for Benzene, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene and Dichloromethane**

(Notification on February 4th, 1997)

Substance	Environmental conditions	Measuring method
Benzene	Annual average shall not exceed 0.003 mg/m <sup>3</sup> (Notification on February 4, 1997)	Preference method: gas chromatograph-mass spectrometer (sample gas should be collected with a canister or tube) or equivalent method.
Trichloroethylene	Annual average shall not exceed 0.2 mg/m <sup>3</sup> (Notification on February 4, 1997)	
Tetrachloroethylene		

In Focus

What's New

News Headline

Category

- [Environmental Policy](#)
- [Global Environment](#)
- [Waste & Recycling](#)
- [Air & Transportation](#)
- [Water / Soil / Ground Environment](#)
- [Health & Chemicals](#)
- [Nature & Parks](#)

Substance	Environmental conditions	Measuring method
	Annual average shall not exceed 0.2 mg/m <sup>3</sup> (Notification on February 4, 1997)	
Dichloromethane	Annual average shall not exceed 0.15 mg/m <sup>3</sup> (Notification on April 20, 2001)	

### 3. Environmental Quality Standards for Dioxins

(Notification on December 27, 1999)

Substance	Environmental conditions	Measuring method
Dioxins (PCDDs, PCDFs and coplanar PCBs)	Annual average shall not exceed 0.6pg-TEQ/m <sup>3</sup>	Using high resolution gas chromatograph - high resolution mass spectrometry (HRGC-HRMS). (Samples should be collected by an air sampler equipped with an inlet filter followed by a cartridge filled with polyurethane foam.)

### 4. Environmental Quality Standards for the PM<sub>2.5</sub>

Substance	Environmental conditions	Measuring method
Fine Particulate Matter (PM <sub>2.5</sub> )	The annual standard for PM <sub>2.5</sub> is less than or equal to 15.0 µg/m <sup>3</sup> . The 24 hour standard, which means the annual 98th percentile values at designated monitoring sites in an area, is less than or equal to 35µg/m <sup>3</sup> . (Notification on September 9, 2009)	Mass measurement with filter sample collection which is designated as a reference method, or alternative automated methods, designated as equivalent methods, which are proved to have measurement performance comparable to the corresponding reference method.

1. Fine Particulate Matter is defined as airborne particles that pass through a size-selective inlet with a 50 % efficiency cut-off at 2.5 µm aerodynamic diameter.

Page top



Ministry of the Environment Government of Japan  
 Godochoha No. 5, Kasumigaseki 1-2-2, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8975, Japan. Location  
 Tel: +81-(0)3-3581-3351 E-mail: <https://www.env.go.jp/en/moemail/>  
[Privacy Policy](#) | [Copyright](#) / [Link](#)

Copyright Ministry of the Environment Government of Japan. All rights reserved.



**NORMATIVA de CHINA**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en China:

- Estándar de Calidad Ambiental en China (GB3095-2012).
- Wang S., Hao J, 2012. Air quality management in China: Issues, challenges, and options.
- Zhao J., 2013. Country report: the people's Republic of China. The prevention and control of atmospheric pollution in China.

000448

附件:

ICS 13.040.20  
Z 50



# 中华人民共和国国家标准

GB 3095—2012

代替 GB 3095—1996 GB 9137—88

---

## 环境空气质量标准

**Ambient air quality standards**

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2012-02-29 发布

2016-01-01 实施

---

环 境 保 护 部 发 布  
国家质量监督检验检疫总局

GB 3095—2012

# 中华人民共和国环境保护部 公告

2012年 第7号

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，保护环境，保障人体健康，防治大气污染，现批准《环境空气质量标准》为国家环境质量标准，并由我部与国家质量监督检验检疫总局联合发布。

标准名称、编号如下：

环境空气质量标准（GB 3095—2012）

按有关法律规定，本标准具有强制执行的效力。

本标准自2016年1月1日起在全国实施。

在全国实施本标准之前，国务院环境保护行政主管部门可根据《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》（国办发〔2010〕33号）等文件要求指定部分地区提前实施本标准，具体实施方案（包括地域范围、时间等）另行公告；各省级人民政府也可根据实际情况和当地环境保护的需要提前实施本标准。

本标准由中国环境科学出版社出版，标准内容可在环境保护部网站（bz.mep.gov.cn）查询。

自本标准实施之日起，《环境空气质量标准》（GB 3095—1996）、《〈环境空气质量标准〉（GB 3095—1996）修改单》（环发〔2000〕1号）和《保护农作物的大气污染物最高允许浓度》（GB 9137—88）废止。

特此公告。

2012年02月29日

000449

V7A

GB 3095—2012

## 目 次

前 言 .....	iii
1 适用范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 环境空气功能区分类和质量要求 .....	2
5 监测 .....	3
6 数据统计的有效性规定 .....	4
7 实施与监督 .....	5
附录 A (资料性附录) 环境空气中镉、汞、砷、六价铬和氟化物参考浓度限值 .....	6

GB 3095—2012

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，保护和改善生活环境、生态环境，保障人体健康，制定本标准。

本标准规定了环境空气功能区分类、标准分级、污染物项目、平均时间及浓度限值、监测方法、数据统计的有效性规定及实施与监督等内容。各省、自治区、直辖市人民政府对本标准中未作规定的污染物项目，可以制定地方环境空气质量标准。

本标准中的污染物浓度均为质量浓度。

本标准首次发布于1982年。1996年第一次修订，2000年第二次修订，本次为第三次修订。本标准将根据国家经济社会发展状况和环境保护要求适时修订。

本次修订的主要内容：

- 调整了环境空气功能区分类，将三类区并入二类区；
- 增设了颗粒物（粒径小于等于 $2.5\ \mu\text{m}$ ）浓度限值和臭氧8小时平均浓度限值；
- 调整了颗粒物（粒径小于等于 $10\ \mu\text{m}$ ）、二氧化氮、铅和苯并[a]芘等的浓度限值；
- 调整了数据统计的有效性规定。

自本标准实施之日起，《环境空气质量标准》（GB 3095—1996）、《〈环境空气质量标准〉（GB 3095—1996）修改单》（环发〔2000〕1号）和《保护农作物的大气污染物最高允许浓度》（GB 9137—88）废止。

本标准附录A为资料性附录，为各省级人民政府制定地方环境空气质量标准提供参考。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境科学研究院、中国环境监测总站。

本标准环境保护部2012年2月29日批准。

本标准由环境保护部解释。

**GB 3095—2012****3.3**

**颗粒物**（粒径小于等于 10  $\mu\text{m}$ ） particulate matter ( $\text{PM}_{10}$ )

指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 10  $\mu\text{m}$  的颗粒物，也称可吸入颗粒物。

**3.4**

**颗粒物**（粒径小于等于 2.5  $\mu\text{m}$ ） particulate matter ( $\text{PM}_{2.5}$ )

指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 2.5  $\mu\text{m}$  的颗粒物，也称细颗粒物。

**3.5**

**铅** lead

指存在于总悬浮颗粒物中的铅及其化合物。

**3.6**

**苯并[a]芘** benzo[a]pyrene (BaP)

指存在于颗粒物（粒径小于等于 10  $\mu\text{m}$ ）中的苯并[a]芘。

**3.7**

**氟化物** fluoride

指以气态和颗粒态形式存在的无机氟化物。

**3.8**

**1 小时平均** 1-hour average

指任何 1 小时污染物浓度的算术平均值。

**3.9**

**8 小时平均** 8-hour average

指连续 8 小时平均浓度的算术平均值，也称 8 小时滑动平均。

**3.10**

**24 小时平均** 24-hour average

指一个自然日 24 小时平均浓度的算术平均值，也称为日平均。

**3.11**

**月平均** monthly average

指一个日历月内各日平均浓度的算术平均值。

**3.12**

**季平均** quarterly average

指一个日历季内各日平均浓度的算术平均值。

**3.13**

**年平均** annual mean

指一个历年内各日平均浓度的算术平均值。

**3.14**

**标准状态** standard state

指温度为 273 K，压力为 101.325 kPa 时的状态。本标准中的污染物浓度均为标准状态下的浓度。

**4 环境空气功能区分类和质量要求****4.1 环境空气功能区分类**

环境空气功能区分为二类：一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区。

## GB 3095—2012

## 4.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。一、二类环境空气功能区质量要求见表 1 和表 2。

表 1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	年平均	20	60	μg/m <sup>3</sup>
		24 小时平均	50	150	
		1 小时平均	150	500	
2	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	年平均	40	40	
		24 小时平均	80	80	
		1 小时平均	200	200	
3	一氧化碳 (CO)	24 小时平均	4	4	mg/m <sup>3</sup>
		1 小时平均	10	10	
4	臭氧 (O <sub>3</sub> )	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m <sup>3</sup>
		1 小时平均	160	200	
5	颗粒物 (粒径小于等于 10 μm)	年平均	40	70	
		24 小时平均	50	150	
6	颗粒物 (粒径小于等于 2.5 μm)	年平均	15	35	
		24 小时平均	35	75	

表 2 环境空气污染物其他项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	总悬浮颗粒物 (TSP)	年平均	80	200	μg/m <sup>3</sup>
		24 小时平均	120	300	
2	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	年平均	50	50	
		24 小时平均	100	100	
		1 小时平均	250	250	
3	铅 (Pb)	年平均	0.5	0.5	
		季平均	1	1	
4	苯并[a]芘 (BaP)	年平均	0.001	0.001	
		24 小时平均	0.002 5	0.002 5	

4.3 本标准自 2016 年 1 月 1 日起在全国实施。基本项目 (表 1) 在全国范围内实施; 其他项目 (表 2) 由国务院环境保护行政主管部门或者省级人民政府根据实际情况, 确定具体实施方式。

4.4 在全国实施本标准之前, 国务院环境保护行政主管部门可根据《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》等文件要求指定部分地区提前实施本标准, 具体实施方案 (包括地域范围、时间等) 另行公告; 各省级人民政府也可根据实际情况和当地环境保护的需要提前实施本标准。

## 5 监测

环境空气质量监测工作应按照《环境空气质量监测规范 (试行)》等规范性文件的要求进行。

## GB 3095—2012

## 5.1 监测点位布设

表 1 和表 2 中环境空气污染物监测点位的设置, 应按照《环境空气质量监测规范(试行)》中的要求执行。

## 5.2 样品采集

环境空气质量监测中的采样环境、采样高度及采样频率等要求, 按 HJ/T 193 或 HJ/T 194 的要求执行。

## 5.3 分析方法

应按表 3 的要求, 采用相应的方法分析各项污染物的浓度。

表 3 各项污染物分析方法

序号	污染物项目	手工分析方法		自动分析方法
		分析方法	标准编号	
1	二氧化硫(SO <sub>2</sub> )	环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法	HJ 482	紫外荧光法、差分吸收光谱分析法
		环境空气 二氧化硫的测定 四氯汞盐吸收-副玫瑰苯胺分光光度法	HJ 483	
2	二氧化氮(NO <sub>2</sub> )	环境空气 氮氧化物(一氧化氮和二氧化氮)的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ 479	化学发光法、差分吸收光谱分析法
3	一氧化碳(CO)	空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法	GB 9801	气体滤波相关红外吸收法、非分散红外吸收法
4	臭氧(O <sub>3</sub> )	环境空气 臭氧的测定 靛蓝二磺酸钠分光光度法	HJ 504	紫外荧光法、差分吸收光谱分析法
		环境空气 臭氧的测定 紫外光度法	HJ 590	
5	颗粒物(粒径小于等于10 μm)	环境空气 PM <sub>10</sub> 和 PM <sub>2.5</sub> 的测定 重量法	HJ 618	微量振荡天平法、β射线法
6	颗粒物(粒径小于等于2.5 μm)	环境空气 PM <sub>10</sub> 和 PM <sub>2.5</sub> 的测定 重量法	HJ 618	微量振荡天平法、β射线法
7	总悬浮颗粒物(TSP)	环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法	GB/T 15432	—
8	氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	环境空气 氮氧化物(一氧化氮和二氧化氮)的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ 479	化学发光法、差分吸收光谱分析法
9	铅(Pb)	环境空气 铅的测定 石墨炉原子吸收分光光度法(暂行)	HJ 539	—
		环境空气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 15264	—
10	苯并[a]芘(BaP)	空气质量 飘尘中苯并[a]芘的测定 乙酰化滤纸层析荧光分光光度法	GB 8971	—
		环境空气 苯并[a]芘的测定 高效液相色谱法	GB/T 15439	—

## 6 数据统计的有效性规定

6.1 应采取保证监测数据的准确性、连续性和完整性, 确保全面、客观地反映监测结果。所有有效数据均应参加统计和评价, 不得选择性地舍弃不利数据以及人为干预监测和评价结果。

6.2 采用自动监测设备监测时, 监测仪器应全年 365 天(闰年 366 天)连续运行。在监测仪器校准、



## GB 3095—2012

停电和设备故障，以及其他不可抗拒的因素导致不能获得连续监测数据时，应采取有效措施及时恢复。

6.3 异常值的判断和处理应符合 HJ 630 的规定。对于监测过程中缺失和删除的数据均应说明原因，并保留详细的原始数据记录，以备数据审核。

6.4 任何情况下，有效的污染物浓度数据均应符合表 4 中的最低要求，否则应视为无效数据。

表 4 污染物浓度数据有效性的最低要求

污染物项目	平均时间	数据有效性规定
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )、颗粒物 (粒径小于等于 10 μm)、颗粒物 (粒径小于等于 2.5 μm)、氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	年平均	每年至少有 324 个日平均浓度值 每月至少有 27 个日平均浓度值 (二月至少有 25 个日平均浓度值)
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )、一氧化碳 (CO)、颗粒物 (粒径小于等于 10 μm)、颗粒物 (粒径小于等于 2.5 μm)、氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	24 小时平均	每日至少有 20 个小时平均浓度值或采样时间
臭氧 (O <sub>3</sub> )	8 小时平均	每 8 小时至少有 6 小时平均浓度值
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )、一氧化碳 (CO)、臭氧 (O <sub>3</sub> )、氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	1 小时平均	每小时至少有 45 分钟的采样时间
总悬浮颗粒物 (TSP)、苯并[a]芘 (BaP)、铅 (Pb)	年平均	每年至少有分布均匀的 60 个日平均浓度值 每月至少有分布均匀的 5 个日平均浓度值
铅 (Pb)	季平均	每季至少有分布均匀的 15 个日平均浓度值 每月至少有分布均匀的 5 个日平均浓度值
总悬浮颗粒物 (TSP)、苯并[a]芘 (BaP)、铅 (Pb)	24 小时平均	每日应有 24 小时的采样时间

## 7 实施与监督

7.1 本标准由各级环境保护行政主管部门负责监督实施。

7.2 各类环境空气功能区的范围由县级以上 (含县级) 人民政府环境保护行政主管部门划分，报本级人民政府批准实施。

7.3 按照《中华人民共和国大气污染防治法》的规定，未达到本标准的大气污染防治重点城市，应当按照国务院或者国务院环境保护行政主管部门规定的期限，达到本标准。该城市人民政府应当制定限期达标规划，并可以根据国务院的授权或者规定，采取更严格的措施，按期实现达标规划。

GB 3095—2012

附录 A  
(资料性附录)

## 环境空气中镉、汞、砷、六价铬和氟化物参考浓度限值

## 污染物限值

各省级人民政府可根据当地环境保护的需要,针对环境污染的特点,对本标准中未规定的污染物项目制定并实施地方环境空气质量标准。以下为环境空气中部分污染物参考浓度限值。

表 A.1 环境空气中镉、汞、砷、六价铬和氟化物参考浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度(通量)限值		单位
			一级	二级	
1	镉(Cd)	年平均	0.005	0.005	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	汞(Hg)	年平均	0.05	0.05	
3	砷(As)	年平均	0.006	0.006	
4	六价铬(Cr(VI))	年平均	0.000 025	0.000 025	
5	氟化物(F)	1小时平均	20 <sup>①</sup>	20 <sup>①</sup>	$\mu\text{g}/(\text{dm}^2\cdot\text{d})$
		24小时平均	7 <sup>①</sup>	7 <sup>①</sup>	
		月平均	1.8 <sup>②</sup>	3.0 <sup>③</sup>	
		植物生长季平均	1.2 <sup>②</sup>	2.0 <sup>③</sup>	

注:①适用于城市地区;②适用于牧业区和以牧业为主的半农半牧区,蚕桑区;③适用于农业和林业区。



## Air quality management in China: Issues, challenges, and options

Shuxiao Wang, Jiming Hao\*

*School of Environment, and State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China. E-mail: shxwang@tsinghua.edu.cn*

### Abstract

This article analyzed the control progress and current status of air quality, identified the major air pollution issues and challenges in future, proposed the long-term air pollution control targets, and suggested the options for better air quality in China. With the continuing growth of economy in the next 10–15 years, China will face a more severe situation of energy consumption, electricity generation and vehicle population leading to increase in multiple pollutant emissions. Controlling regional air pollution especially fine particles and ozone, as well as lowering carbon emissions from fossil fuel consumption will be a big challenge for the country. To protect public health and the eco-system, the ambient air quality in all Chinese cities shall attain the national ambient air quality standards (NAAQS) and ambient air quality guideline values set by the World Health Organization (WHO). To achieve the air quality targets, the emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, and volatile organic compounds (VOC) should decrease by 60%, 40%, 50%, and 40%, respectively, on the basis of that in 2005. A comprehensive control policy focusing on multiple pollutants and emission sources at both the local and regional levels was proposed to mitigate the regional air pollution issue in China. The options include development of clean energy resources, promotion of clean and efficient coal use, enhancement of vehicle pollution control, implementation of synchronous control of multiple pollutants including SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, and PM emissions, joint prevention and control of regional air pollution, and application of climate friendly air pollution control measures.

**Key words:** regional air pollution; particulate matter; ozone; control strategy; China

**DOI:** 10.1016/S1001-0742(11)60724-9

### Introduction

China has experienced dramatic economic growth over the past three decades, accompanied by an annual growth rate of energy consumption as high as 10%. China has become the world's second largest energy consumer after United States, with an annual energy consumption of 2.275 billion tons of oil equivalent (toe) in 2010. Energy consumption, especially fossil fuel consumption, is the main source of anthropogenic air pollution emissions in Chinese cities. The urban air quality of China has been seriously polluted with high concentrations of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and total suspended particle (TSP) for many years mainly due to its coal-dominated energy structure. With rapid urbanization and development of transport infrastructure, vehicle exhaust pollution has also aggravated in China. Regional air pollution complex, coal-combustion pollution, vehicle exhaust, and pollution caused by multiple other pollutants were experienced in cities and regional city clusters of China. More than three-quarters of the urban population are exposed to air quality that does not meet the national ambient air quality standards of China (Shao et al., 2006). In recent years, intensive efforts have been made to reduce air pollution in China. The number of days reported as attaining the daily Chinese National Ambient Air Quality

Standard (NAAQS) for cities, called 'Blue Sky' days, has increased gradually. In this study, we review the current status, achievements, challenges and options of the air pollution control in China.

### 1 Control progress and current status of air quality in China

#### 1.1 Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>)

The SO<sub>2</sub> emission in China has changed dramatically since 2000. During the Chinese 10th Five-Year Plan period (2001–2005), the State Environmental Protection Administration (SEPA) targeted to reduce the national SO<sub>2</sub> emission level in 2000, i.e., 20 million tons (Mt)/year, by 10% by the year 2005 (i.e., to 18.0 Mt/year). However, due to the massive increase in fossil-fuel consumption, the lag of the introduction of desulfurization equipment, and the low efficiency of the installed desulfurization devices, the national SO<sub>2</sub> emission in 2005 increased to 25.5 Mt/year, 27% higher than that in 2000 (SEPA, 2006). The 11th Five-Year Plan set targets to reduce the national energy consumption per unit GDP output and SO<sub>2</sub> emissions of 20% and 10%, respectively, measured in 2010 against 2005 levels. To achieve the targets, several regulations have been enforced in the power sector: all new thermal power units as well as most existing ones must have flue

\* Corresponding author. E-mail: hjm-den@tsinghua.edu.cn

gas desulfurization (FGD) systems installed, and small units with low energy efficiency should be gradually shut down. By the year 2010, over 81% of coal-fired power plants, up to 560 gigawatts (GW) have installed FGD. The amount of coal washing has increased from 0.70 billion tons in 2005 to 1.65 billion tons in 2010, resulting in a coal washing ratio increase from 33.28% in 2005 to 50.8% in 2010. The control measures have had significant effect, i.e., national SO<sub>2</sub> emissions decreased 14.29% from 2005 to 2010 (MEP, 2011), in contrast with substantial increases every year during the prior five years, as shown in Fig. 1. Consequently, the annually average ambient SO<sub>2</sub> concentrations in 113 key cities decreased from 57 to 42 µg/m<sup>3</sup>. The large reduction in sulfur dioxide emissions from Chinese power plants were also observed by satellite monitoring instruments such as Ozone Monitoring Instrument (OMI) (Li et al., 2010).

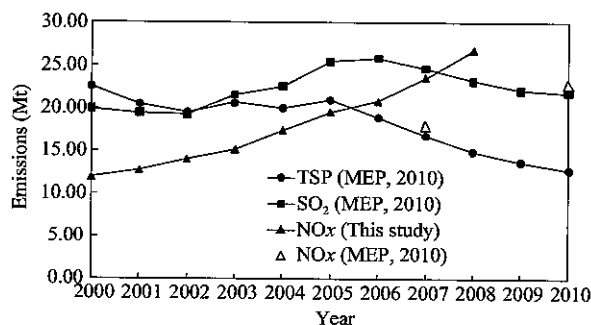


Fig. 1 Emission of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and TSP in China, 2000–2010. TSP: total suspended particle.

## 1.2 Nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>)

Current NO<sub>x</sub> emission control in China only involves power plants and on-road vehicles. By 2005, only about 46% of power plants had installed low NO<sub>x</sub> burners (LNB). Due to the lag of NO<sub>x</sub> emission control legislations, NO<sub>x</sub> emissions have been increasing dramatically during the past decade in China (Fig. 1). Intensive studies were conducted on NO<sub>x</sub> emissions in China (Streets et al., 2003; Wang et al., 2004, 2007; Zhang et al., 2007, 2009a, 2009b; Zhao et al., 2008; Zhao and Wang, 2009) in response to their fast growth. China's first nationwide pollution census reported that the NO<sub>x</sub> emission was 17.98 Mt in 2007 (MEP et al., 2010). Based on the census, MEP estimated that the NO<sub>x</sub> emission was over 22 Mt in 2010, exceeding that of United States and Europe. However, both previous studies and this study report a much higher NO<sub>x</sub> emission, i.e., 26.83 Mt/year in 2008, with an increase of 126% compared to that in 2000. The growth of NO<sub>x</sub> emissions is mainly from the constructions of new power plants and the rapid increase of vehicle population. During 2000–2010, the installed capacity of thermal power plants and the vehicle population increased 195% and 300%. Over the same period, NO<sub>x</sub> emissions from power plants and transport increased over 100% and 200%, respectively.

Observations of tropospheric column densities of NO<sub>2</sub> obtained from satellites such as Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) and Scanning Imaging

Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography (SCIAMACHY) also indicate the rapid increase of NO<sub>x</sub> emissions from east China (Ritcher et al., 2005; Zhang et al., 2007). Satellite even sees the increased emissions from newly built large power plants in north China (Wang et al., 2010a). The increase of NO<sub>x</sub> emissions also deteriorated the PM<sub>2.5</sub> pollution in megacities of China. The observations in Beijing find that the nitrate aerosol in PM<sub>2.5</sub> observations has experienced a solid growth by 20% from 2000 to 2008. In Guangzhou, the [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]/[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] ratio in PM<sub>2.5</sub> was as high as 2.1 in 2008, indicating the large contribution of NO<sub>x</sub> emissions. NO<sub>x</sub> is also one of the most important precursors of ozone. Regional NO<sub>x</sub> emissions are strong contributors to surface ozone mixing ratios in the megacities such as Beijing, Shanghai and Guangzhou. NO<sub>x</sub> control is more effective than anthropogenic VOC control during periods of heavy photochemical pollution (Xing et al., 2011a).

Considering the significant impact of NO<sub>x</sub> emissions on regional air quality, i.e., ozone formation, nitrate in fine particles and acid deposition, there is urgent needs to control NO<sub>x</sub> emissions in China.

## 1.3 Particulate matter (PM)

In China, the control of particulate matter has achieved noticeable progress. A strengthened PM emission standard for power plants was issued in 2003 (GB13223-2003). Since then, all new and rebuilt units have to meet the PM emission Standard with PM concentrations in flue gas less than 50 mg/m<sup>3</sup>. As a result, over 92% of pulverized coal units installed electrostatic precipitators (ESP). In addition, fabric filters have been put into commercial use for the units with a capacity of over 600 MW. With the PM control measures implemented, emission factors of PM<sub>2.5</sub> decreased by 7%–69% from 1990 to 2005 in different industry sectors of China, and emission factors of TSP decreased by 18%–80% as well (Lei et al., 2011). However, the effects of efficient PM control technologies were offset by the dramatic growth of the high PM emitting industries. For example, the production of steel, cement and aluminium has increased by 179%, 79% and 157% during 2000–2005, respectively. As a result, TSP emissions reached peaks of 20.94 Mt in 2005 (Fig. 1).

Measured by the frequency and degree of violations of the China's national ambient air quality standards (NAAQS), PM<sub>10</sub> is the most significant air pollutant in Chinese cities. The annually average of PM<sub>10</sub> concentrations in 113 key cities was 82 µg/m<sup>3</sup>, which is about 4–6 times that in the developed countries. In Beijing, the annual average level of PM<sub>10</sub> fluctuated around 114–127 µg/m<sup>3</sup> from 2005 to 2010 (Beijing EPB, 2011). In fact, only one percent of the country's urban population lives in cities with an annual average level of PM<sub>10</sub> that is below the European Union's air quality standard of 40 µg/m<sup>3</sup> (World Bank, 2007).

So far, there are only few data on PM<sub>2.5</sub> pollution in China. Limited researches show that the ratio of PM<sub>2.5</sub> to PM<sub>10</sub> is as high as 58%–77% in some big cities such as Guangzhou (Wu et al., 2008). PM<sub>2.5</sub> concentrations in

some northern cities reached as high as 80–100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , while those in the south were 40–70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5–6 times and 2–5 times higher, respectively, than the ambient air quality standard in the United States (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , annual average) (Yang et al., 2011). The simulation of Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) model, a regional air quality model developed by the United States Environmental Protection Agency (US EPA) indicate that large areas of China are covered with high  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations (Fig. 2), signifying that  $\text{PM}_{2.5}$  pollution is a severe regional environmental issue in China. At both urban and rural sites of east China, the sum of sulfate, nitrate and ammonia typically constituted high fractions (40%–57%) of  $\text{PM}_{2.5}$  mass, indicative of more local formation/production and regional transport of the secondary aerosols, thus an intensive characteristic of “complex atmospheric pollution” (Yang et al., 2011).

Fine particulates are one of the major factors responsible for regional haze, which is a common phenomenon characterized by large amounts of imperceptible dry dust particles that float in the air uniformly making the visibility lower than 10.0 km. Monitoring data indicated that the annual average visibility in China in 2005 decreased about 7–15 km compared with that in early 1960s. Visibility deteriorated most dramatically in Guangzhou, with the largest negative change of  $-2.174$  km per decade; a gradual decrease in annual mean visibility ( $-0.831$  km per decade) was also seen in Shanghai (Chang et al., 2009). The number of haze days increased in most parts of eastern China from 1961 to 2007 (Shi et al., 2010).

#### 1.4 Acid deposition

Acid deposition is still a serious issue in China. In 2010, 249 out of totally 494 monitored cities suffered from acid rain, accounting for 50.4% (MEP, 2011). During the period of 1995–2010, the areas with precipitation pH lower than 5.0 (also known as acid rain areas) remained stable and covered 30%–40% of the whole country. However, heavily polluted areas with precipitation pH lower than

4.5 increased. In recent years, the precipitations in some northern cities, such as Beijing, Tianjin, Dalian, Dandong, Tumen, Chengde, and Shangluo acquired a pH lower than 5.6. Another important change is that the ratio of the equivalent concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  to that of  $\text{NO}_3^-$  in wet precipitation in north, east, and south China decrease from 4–10 in 1990s' to 2–3 in 2009 (Tang et al., 2010). This is mainly because of the emission changes of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$ . As seen in Fig. 1, with the increase of  $\text{NO}_x$  emissions, the ratio of  $\text{SO}_2$  emission to  $\text{NO}_x$  emission has decreased from 1.7 in 2000 to less than 1 in 2008.

#### 1.5 Ozone and photochemical smog

As a result of large  $\text{NO}_x$  and volatile organic compounds (VOC) emissions, photochemical smog and high ozone concentration have been observed in many Chinese areas such as Beijing, Pearl River Delta, and Yangtze River Delta. For example, very high mixing ratios of  $\text{O}_3$  (1 hr  $\text{O}_3$  up to 286 ppbV) were also reported in urban plumes of Beijing in June (Wang et al., 2006). Besides, researchers at Tsinghua University measuring the diurnal variations of episodic ground-level ozone found that  $\text{O}_3$  concentrations often exceed 120 ppb in summer at Miyun, a rural station of Beijing (Wang et al., 2008). A similar study in the Yangtze River Delta region showed that high ozone concentrations are also often found at sites some distance removed from urbanized or industrial regions (Wang et al., 2005). Zhao et al. (2009) also found that all of East China suffers from high ozone concentrations with a maximum daily 8 hr average of 93 ppbV, which normally occurs in the urban and suburban regions in the United States. Both Aunan et al. (2000) and Wang et al. (2005) warn that ground-level ozone has already caused reductions in some crop yields. Ground-level ozone also causes damage to human health.

#### 1.6 Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) emissions

As a developing country of responsibility, China attaches great importance to the issue of climate change. The

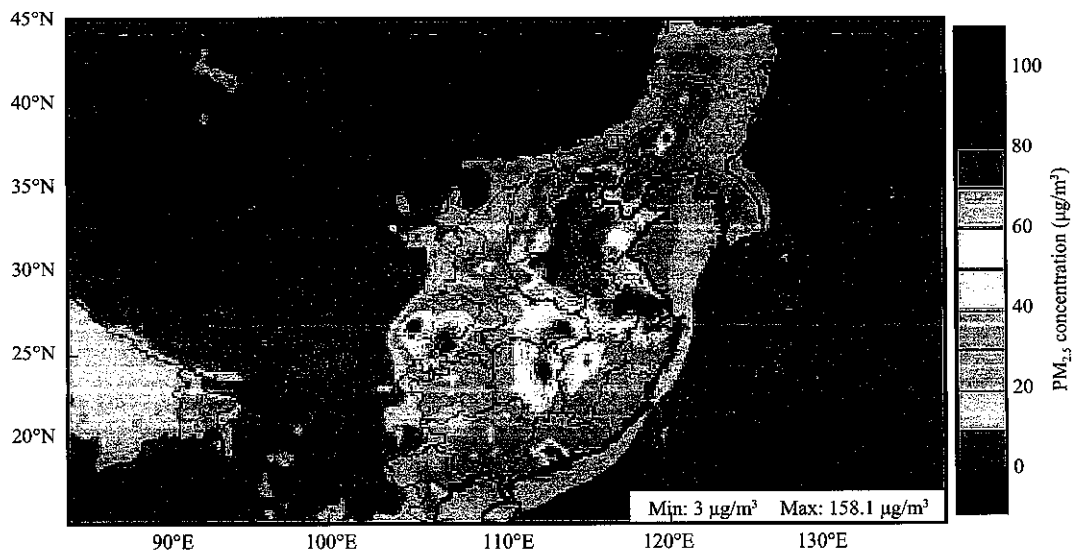


Fig. 2 Annual mean  $\text{PM}_{2.5}$  concentration in China, 2005.

National Coordination Committee on Climate Change was established, and a series of policies and measures to address climate change has been taken in the overall context of national sustainable development strategy, making positive contributions to the mitigation and adaptation to climate change. However, with the growth of energy consumption, China's CO<sub>2</sub> emissions also increase sharply. Statistics from the International Energy Agency (IEA) indicates that CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion are 7.7 billion tonnes in 2009. China has ranked as the largest CO<sub>2</sub> emitter in the world although its per capita CO<sub>2</sub> emissions (5.82 tons per capita) are only one third of United States (<http://www.eia.gov/>). On its current trajectory, China will emit 10 billion tonnes of CO<sub>2</sub> in 2015, the same as the United States and European Union combined. More actions shall be taken to lower energy intensity and improve energy efficiency.

## 2 Challenges, targets and strategies of air pollution control in China

### 2.1 Air pollution control challenges

China's air pollution control has made positive progress. However, the next 10–15 years is the critical period for China to complete the capital-intensive industrialization and the peak time of China's population. China has set the target as quadrupling GDP per capita by year 2020. It can be predicted that with the continuing growth of economy, China will face a more severe situation of energy consumption, electricity generation and vehicle population leading to increase in pollutant emissions. Compared to 2005, the energy consumption of power plants, industry and transportation in 2020 would increase sharply and coal remains as the dominated source of energy, as shown in Fig. 3 (Xing et al., 2011b). Therefore, China is facing with the task of controlling both air pollution and carbon emissions from fossil fuel consumption including both coal combustion and vehicle emissions.

High PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> concentrations have resulted in heavy regional air pollution in some populous areas, i.e., the Beijing-Tianjin-Hebei region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta. The air pollution in these areas is influenced by both local emissions and long-range transport from outside areas. Emission controls in a single city are hardly effective to solve the problem. Joint prevention and control of regional air pollution must be taken into consideration. A comprehensive control policy focused on multiple source categories at both the local and regional levels is necessary to mitigate the regional air pollution issue in China.

If no further actions taken to control air pollution, the emission of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC and NH<sub>3</sub> in 2020 will increase by 17%, 50%, 49% and 18%, respectively, on a basis of 2005. In that case, the surface concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, hourly maximum ozone in summer, PM<sub>2.5</sub>, total sulfur and nitrogen depositions will increase by 28%, 41%, 8%, 8%, 19% and 25%, respectively, over east China (Xing et al., 2011b). To protect human health and ecosystem, it is

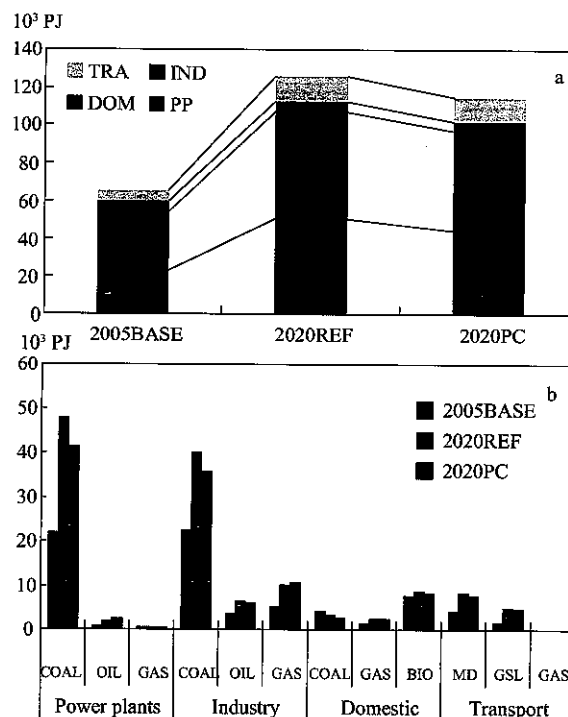


Fig. 3 Energy consumption in 2005 and 2020. (a) energy consumption by sectors in 2005 and 2020; (b) energy consumption by fuel type in 2005 and 2020.

necessary to set emission limits and air quality targets that are sufficiently ambitious to improve ambient air quality in the coming decades.

### 2.2 Suggested targets for air pollution control in China

We suggest that the national strategic target of atmospheric environmental protection be set towards the compliance, by 2050, with the national ambient air quality standard for the entire country, and attainment of the World Health Organization (WHO) ambient air quality guideline values (Table 1) for most areas of the country. The air quality targets for years 2020, 2030 and 2050 are listed in Table 2. These targets are proposed as incremental steps in a progressive reduction of air pollution. These targets aim to promote a shift from high air pollutant concentrations, which have acute and serious health consequences, to lower air pollutant concentrations. If these targets are achieved, one could expect significant reductions in risks for acute and chronic health effects from air pollution.

To achieve the targets above, the emissions of multi-pollutants shall be reduced. The 2005 levels of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, and volatile organic compounds (VOC) should decrease by 60%, 40%, 50%, and 40%, respectively. During 2010–2015, China has set the target to reduce SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions by 8% and 10%, respectively, on the basis of year 2010.

The establishment of systemic, scientific and dynamic national ambient air quality standards (NAAQS) will significantly contribute to the promotion of human health and the protection of ecological environment. NAAQS provides a clear-cut goal for air quality planners and establish a baseline target for environmental quality that is

**Table 1** WHO ambient air quality guideline values\*

	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Annual mean	24-hr mean	Annual mean	24-hr mean	8-hr mean	Annual mean	Hourly mean	Hourly mean	10-min mean
Interim target-1 (IT-1)	35	75	70	150	160	40	200	125	
Interim target-2 (IT-2)	25	50	50	100				50	
Interim target-3 (IT-3)	15	37.5	30	75					
WHO Guideline	10	25	20	50	100			20	500

\* WHO, 2006.

**Table 2** Air quality targets in 2020, 2030 and 2050

Year	2020	2030	2050
Urban air quality	Over 95% attainment of the national class II ambient air quality standard; Partially attainment of the Interim target-2 (IT-2) of WHO ambient air quality guideline	Over 80% attainment of the Interim target-3 (IT-3) of WHO ambient air quality guideline	Over 95% attainment of the WHO ambient air quality guideline

not compromised by cost considerations. China's NAAQS were put into effect in October 1996. An amendment to the air quality standards in 2000 actually relaxed the standard for NO<sub>2</sub> to help cities make compliance, and today 100% of cities attain the standard. The standard limits are categorized into three Grades, whereby different functional zones are expected to comply with specific Grade limits. Cities are required to comply with Grade II of the NAAQS. The NAAQS of China is compared with that of United States, Europe, and the international WHO air quality guidelines issued in 2005 (Table 3). We can see that the PM<sub>10</sub> standards are far above internationally recognized standards (WHO recommended daily limit for PM<sub>10</sub> exposure is 50 µg/m<sup>3</sup> while China sets 150 µg/m<sup>3</sup>, a three-fold difference). Another key point is that the air quality standards of United States, Europe and WHO emphasize limiting the PM<sub>2.5</sub> concentrations (which cause greater health impact). The international standards also use 8-hr standard for ozone instead of 1-hr average. China lacks an 8-hr standard for ozone as well as any standards for PM<sub>2.5</sub>. China needs a roadmap for ambient air quality standards. A roadmap would help to establish standards for pollutants not covered (specifically PM<sub>2.5</sub>), link ambient

air quality standards with emissions standards and catch up with US and EU standards and WHO guidelines, and improve monitoring and reporting of levels against standard. Therefore it is necessary to revise the current NAAQS, especially include the PM<sub>2.5</sub> concentration limits, substitute the 1-hr ozone standard with 8-hr standard, and delete the specific standard for industrial areas.

### 2.3 Clean air strategies

#### 2.3.1 Multiple pollutant control strategy

China is facing air pollution issues of both primary and secondary pollutants, i.e., NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, as well as the CO<sub>2</sub>. Therefore, the traditional, problem-oriented one-issue-at-a-time approach is far from enough in the next decades. What is not in question is that further emission reductions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and particles, as well as reductions of VOCs and possibly CO<sub>2</sub>, must occur synchronously to address health and environmental impacts of air pollution in China (Fig. 4). There are integrating requirements into a multiple pollutant control strategy, or a climate friendly air pollution control strategy, which calls for the development of a comprehensive emission control plan which considers various atmospheric environmental problems, including

**Table 3** Comparison of China's NAAQS with international standards

Pollutant	EU <sup>a</sup>	US <sup>b</sup>	WHO, 2006	China I <sup>c</sup>	China II <sup>c</sup>	China III <sup>c</sup>
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
24 hour average	125	365	20	50	150	250
Annual average		79		20	60	100
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
24 hour average				80	120	120
Annual average	40	100	40	40	80	80
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
24 hour average	50	150	50	50	150	250
Annual average	40		20	40	100	150
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
24 hour average		35	25			
Annual average	25	15	10			
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
1 hour average		240		160	200	200
8 hour average	120	160	100			

<sup>a</sup> <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.<sup>b</sup> <http://epa.gov/air/criteria.html>.<sup>c</sup> [http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqjhjb/dqjhjbz/199612/t19961206\\_67502.htm](http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqjhjb/dqjhjbz/199612/t19961206_67502.htm).

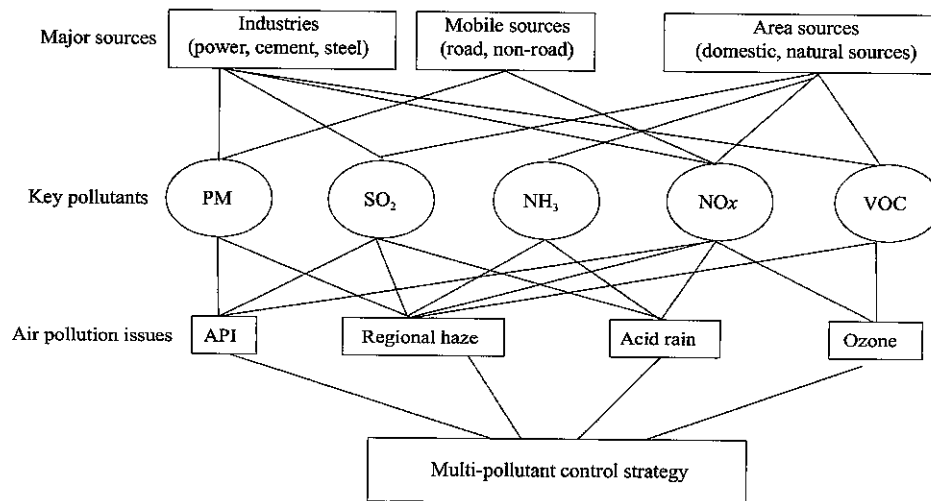


Fig. 4 Schematic illustration of the multiple pollutant control strategy.

acid deposition, ozone, fine particles, and greenhouse gases. In the immediate term, this strategy targets to start with the control of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, ammonia (NH<sub>3</sub>), and fine particles, with consideration of their co-benefits on global pollutants such as CO<sub>2</sub>, and establish corresponding multi-pollutant control regulations and management systems.

### 2.3.2 Pollution prevention strategy

China's air pollution control in last two decades has emphasized the end-of-pipe control. A typical example is the installation of air pollution devices including ESP, FGD and SCR in power plants. While end-of-pipe abatement is necessary, huge cost savings can be obtained if energy efficiency and renewable energy, as well as mass transit are encouraged, which have been proved in many developed countries. The "best" way to reduce emissions of air pollutants is to change the economic structure and optimize the process or technology, so as less air pollutants are produced. Interventions to reduce fossil fuel consumption and reduce many air pollutants are in one stroke. Economic regulation and pricing of pollution costs is an important avenue for reducing fossil fuel consumption.

### 2.3.3 Regional air pollution control strategy

Regional air pollution in city clusters has been one of the most challenging issues in pollution control of China. The impact of regional air pollution on human health, quality of life and the environment is an environmental problem likely to remain of great concern in the coming years. Effective decision-making support in regional air quality management based on reliable regional-scale modeling is urgently needed but the lack of an integrated, accurate emission database may be the biggest hurdle at present. There are also needs to establish regional air quality monitoring networks, develop regional air quality modeling and forecast systems, and set up regulations, systems and emergency response mechanisms on photochemical smog and heavy particulate pollution.

## 3 Future options for a better air quality

### 3.1 Development of clean energy resources

China's energy consumption heavily relies on coal, which is a major cause of air pollution in China. According to data collected in the 2000–2010 national survey by the China's Ministry of Land and Resources, the country's proven reserves of coal total 187 billion tones. For China, that is about 62 years' worth of coal – at 2009 rates of consumption (roughly 3 billion tones a year). This simple 'lifetime' calculation can generate a false sense of security over the actual state of reserves (Heinberg and Fridley, 2010). A 2009 report from China's Energy Research Institute forecast that coal demand would rise by 700 million to 1 billion tones by 2020, reducing the reserves lifetime to about 33 years. If coal demand grows in step with projected Chinese economic growth, the reserves lifetime would drop to just 19 years (2050 China Energy and CO<sub>2</sub> Emissions Research Team, 2009). Therefore, there is urgent need to limit the total energy consumption and develop clean energy, not only for air pollution control but also for energy security.

First, limits on energy consumption will be essential in all sectors of society. Energy efficiency is defined as the ratio of Gross Domestic Product (GDP) to energy consumption. In 2008, China's energy efficiency was 1291 dollars per metric ton of oil equivalent (toe), 40% of the world average, 25% of that of the United States or 12% of that of Japan, as shown in Table 4 (International Energy Agency, 2010). During 2005–2010, the GDP of China increased 11.2% annually while energy consumption increased 6.6% annually. The elasticity of energy consumption was about 0.6 during 2005–2010. In the next decade, if the elasticity of energy consumption is the same as that in the last five years and the GDP increase at an annual rate of 8%, the national total energy consumption will be over 5.2 billion tons of coal equivalent (tce) in



**Table 4** Comparison of energy indicators in China and other countries, 2008\*

Country	Population (million)	GDP (billion US\$ in 2000)	Energy consumption (million toe)	Energy efficiency (US\$/toe)
China	1333.00	2844.00	2203.00	1290.96
United States	304.53	11742.29	2340.45	5017.11
Japan	127.69	5166.27	507.55	10178.84
OECD	1190.00	30504.00	5629.00	5419.08
World	6688.00	40482.00	12369.00	3272.86

\* International Energy Agency, 2010.

2020. High priority should therefore be given to energy conservation. China has improved its energy efficiency by 20% during 2005–2010, with an annual growth rate of 4%. If the energy efficiency can be improved by 4% annually from 2010 to 2020, the energy efficiency in 2020 will be 1.4 times of that in 2010. In 2010, the GDP of China was 39,798 billion CNY and the energy consumption was 3.25 billion tce. Assuming the GDP will grow by 8% each year in the next decade, the GDP will be 2.15 times of that in 2010, that is, 85566 billion CNY. In that case, the national total energy consumption of China will be 5.0 billion tce and the energy consumption per capita will be about 3 tce.

Adjusting energy structure and speeding up the development of solar energy, wind energy, nuclear power, hydropower and other clean energies, will significantly reduce emissions of air pollutants. China has a five-year plan for renewable green energy to account for 15% of its energy mix on top of a 20% reduction in greenhouse gas emissions by 2020. It is also planned that coal will account less than 50% of total energy consumption by 2030. China has identified wind power as a key growth component of the country's economy. At the end of 2010, China's wind power accounted for 41.8 GW of electricity generating capacity. With its large land mass and long coastline, China has exceptional wind resources. Researchers from Harvard and Tsinghua University have found that China could meet all of their electricity demands from wind power through 2030 (McElroy et al., 2009). Solar power is another option of clean energy. The country's current solar capacity is 860,000 kW and aims for a 20 GW solar power capacity by 2020. The supply and consumption of natural gas also grows rapidly. Among fossil fuels, natural gas consumption has been growing faster than coal. In 2010, the natural gas consumption in China increased to 107.2 billion m<sup>3</sup>, 4.34 times of that in 2000. By 2020, the natural gas consumption will be over 300 billion m<sup>3</sup>. Correspondingly, the percentage of coal power will decrease by 4%–5% every five years, as shown in Fig. 5.

### 3.2 Clean and efficient coal use

Coal accounts for 70% of China's primary sources of energy. The direct burning of coal has significant impacts on air quality. Thus, the promotion of clean coal technologies is one of the most important measures to improve air quality. Coal washing is a relative cheap way to cut back pollution and that the government might need to implement relevant policies to encourage it. Integrated Gasification Combined Cycle is another clean coal option. Also known as carbon capture and storage, clean coal is one proposal for reducing

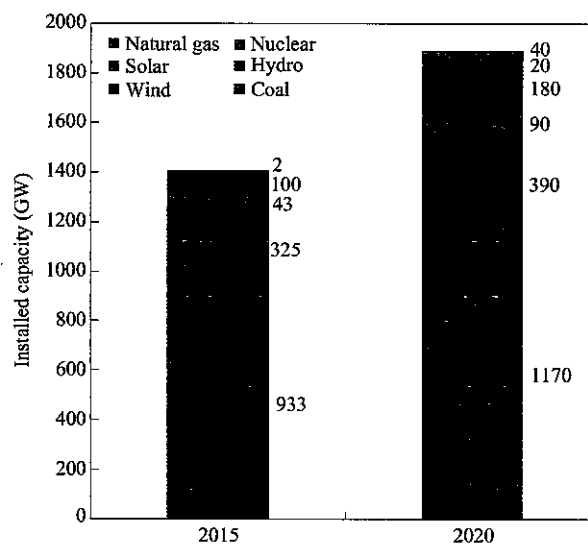


Fig. 5 Projection of installed power capacity in China, 2015–2020.

greenhouse gas emissions while growing energy supplies.

Another key point is the total coal consumption should be limited in heavily polluted regions such as Beijing and surrounding areas, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta. These three regions, accounting for less than 6% of national area, consume 40% of coal, produce 50% of iron and steel, and own 30% of vehicles. Such intensive coal combustion emits a large amount of air pollutants and results in the regional air pollution complex. Studies have unveiled the air pollution issues caused by fossil fuel burning, especially coal combustion, as fine particles, ozone, acid deposition, and regional haze. However, there might be other issues not monitored by current studies, including heavy metals such as mercury and other hazardous air pollutants. The limit on the total amount of coal consumption is one of the preconditions to solve the air pollution problem in these areas. In 2010, the coal consumption in Beijing was 27 Mt. The government plans to cap the total coal consumption in 2015 under 20 Mt. Yangtze River Delta sets a target to control the total coal consumption less than 470 Mt in 2015, with 58, 250, 160 Mt for Shanghai, Jiangsu and Zhejiang provinces, respectively. It is possible to meet the target through transmission of electricity instead of coal, coupled with the improvement of energy use structure, control of the development of coal-fired power plants and iron and steel plants, and the promotion of clean energy supply.

End-of-pipe control of pollutants from coal combustion is also very important considering there are huge numbers of coal-fired boilers in China. China has been putting a

lot of efforts to reduce the emissions from power plants and significant progress has been made. Currently the Emission Standard of Air Pollutants for Thermal Power Plants (GB 13223-2003) is being revised to strengthen the NO<sub>x</sub> and particle controls. However, the control in non-power industries such as industrial boilers and kilns shall be emphasized in future.

### 3.3 Enhancement of vehicle emission control

With the rapid economic development and urbanization, the vehicle population in China has been increasing quickly in recent years. In 2009, China's auto sales hit 13.64 million units, overtaking the United States as the world's top car market. By the end of 2010, the vehicle population in China exceeded 200 million, of which 90.86 million were civil motor vehicles, 19.3% higher than that in 2009. The number of private cars was 65.39 million, 25.3% higher than that in 2009. In 2009, the national vehicle emissions of CO, hydrocarbon (HC), NO<sub>x</sub> and particles were 40.19, 4.82, 5.83, and 0.59 million tons, respectively. NO<sub>x</sub> and HC emissions from motor vehicles accounted for over 25% of national total emissions. In megacities such as Beijing, Shanghai and Guangzhou, vehicle emissions have been one of the major sources of air pollution. In Beijing, the total vehicle population reached 4.87 million by the end of 2010. Researchers have identified mobile sources as one of the most important contributors to Beijing's air pollution. Westerdahl et al. (2009) found road traffic to be a major cause of ultrafine particles in Beijing. For the summer ozone problem, on-road vehicles are the leading contributors as the leading sources of ozone precursors, VOCs and NO<sub>x</sub> (Wang et al., 2010b). Many studies have confirmed that air pollution in Chinese megacities has shifted from being dominated by coal burning to a mix of coal burning and vehicle emissions.

Therefore, enhancement of vehicle pollution control in megacities is an important measure to improve air quality in China. Urban development and economic growth will bring constant increase of urban transport demand over a long period of time. Due to a lag in urban transport planning and public transport facility construction, the private car has played an important role in the urban transportation growth. An urban transportation crisis could not be solved by the mere constant expansion of transport lands and roads. It is necessary to enhance the vehicle pollution control through development of public transport, emission control on new vehicles, emission control on in-use vehicles, fuel quality improvements, alternative-fuel and advanced vehicles (Wu et al., 2011), which make a long-term sustainable transportation in urban areas possible.

The establishment of the "green transportation" system and the implementation of the strategy of public transportation priority are a must to achieve sustainable development of urban transportation. Shanghai has been practicing vehicle population control policy through a license auction system, which significantly contributes in controlling the growth of private cars in the city. However, it must be noted that the implementation of vehicle popula-

tion control at a large scale may have significant impacts on the automobile industry. Efforts to establish a good public transportation system and to guide the public in choosing more efficient public transportation and in switching from private vehicle to public transport, especially in the urban areas, will help reduce both motor vehicle travel mileage and pollution emissions.

Implementation of more stringent emission standards is the most cost-effective way to control emissions from new vehicles. China has issued emission standards for new vehicles and engines based on European Union Standards. As the capital city of China, Beijing began to introduce Euro I emission standards in 1999, Euro II standards in 2003, and Euro III in 2005. At national level, phase 1, 2 and 3 standards (similar to Euro 1, 2 and 3, respectively) began to be put into effect in 2000, 2004, and 2007 sequentially (MEP, 2010). Megacities including Beijing and Shanghai are subject to greater pressure for regulating vehicle emissions and have enforced phase 4 emission standard for new vehicles (similar to Euro 4) in 2008 and 2009, respectively. The emission factors of CO, HC, and NO<sub>x</sub> from phase 3 vehicles, compared with that of phase 1 vehicles, are decreased 44%, 70% and 70%, respectively. The more stringent emission regulations for new vehicles have been the most important control measures to decrease fleet-average emission factors in China. Studies indicate that due to the implementation of phase 1–4 emission standards since 1995, the fleet-average emission factors of CO, HC, NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> for light-duty gasoline cars were annually decreased by 12.5%, 10.0%, 5.8% and 13.0%, respectively (Wu et al., 2011). However, the emission standards for new vehicles in China are still 7 years behind those in developed countries. Therefore, more stringent emission standards for new vehicles shall be implemented in future. Recently, Beijing EPB began promoting regulations for new emission standards, i.e., Euro 5 in 2012 and Euro 6 in 2016.

Although the emission regulations to control new vehicles discussed above are directly toward reducing emissions from in-use vehicles ultimately, the pollution control of in-use vehicles has to be enhanced through the retrofit or retirement of high-emission vehicles and the improvement of the vehicle emissions inspection and maintenance (I/M) system. In China, the old vehicles before phase 1 standard which account for only 17.1% of national total vehicles contribute to over 50% of air pollutant emissions. On the contrast, the phase 3 vehicles accounting for 25.4% of national total vehicles contribute to less than 6% of air pollutant emissions. We can see that the effectiveness of retrofit or retirement of these high-emission vehicles. The I/M program was another effective means for reducing emissions of in-use vehicles. Beijing started preliminary I/M programs with two speed idle tests in 1995, and the complete I/M programs have been enforced since 1999. According to the accomplished study by Tsinghua University, the CO and HC emission from in-use vehicles has been significantly reduced by I/M programs in Beijing.

A close relationship between fuel quality and vehicle

emissions has been confirmed by several studies (Hao et al., 2006; ICCT, 2006). Major indicators of gasoline quality include octane, Reid vapor pressure (RVP), lead content, sulfur content, and shares of olefins, aromatics, and oxygenate. For diesel fuel, the sulfur content, cetane number, and shares of aromatics and additives are important indicators. Sulfur content in the fuel is expected to decrease in conjunction with the enhancement of vehicle emission standards (Table 5). There is a necessity to develop fuel quality standards in accordance with the emission standards for new vehicles to gradually decrease the sulfur content and improve fuel quality.

Finally, it is also vital to promote compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG), and other clean alternative fuel vehicles in the public transportation system before 2010, as well as to encourage the use of commercialized clean energy vehicles like the hybrid electric vehicles before 2015 through preferential policies such as the grant of tax subsidies and the gradual development of biodiesel and other clean alternative fuels, and to increase the proportion of clean alternative fuels after 2020. China has conducted several initiatives to promote electric vehicles.

**3.4 Synchronous control of multiple pollutants**

Emission control of SO<sub>2</sub> has been the focus of air pollution control in China and achieved big progress. However, in order to effectively control acid deposition and other regional environmental problems, further actions shall be taken. During 2011–2015, China is going to further control SO<sub>2</sub> emissions by 8% on the basis of that in 2010. Efforts to achieve the 8% reduction in SO<sub>2</sub> emissions will focus on further installation of FGD equipment, improving overall coal power plant performance and raising the desulfurization rate to 95%. Although 81% of Chinese power plants have installed FGD, the removal efficiencies and operation time of FGD are not satisfied. The small plant closure program will also be extended to shut an additional 50

GW of polluting coal units. The current SO<sub>2</sub> emission level of Chinese power plants is 2.9 g/kWh, which is expected to decrease to 1.5 g/kWh by the end of 2015 through the improvement of FGD operations and phase-out of small thermal power units with high emissions. However, with half of coal consumed outside the power sector, by industrial and small and medium sized users, greater efforts will be needed to regulate emissions from these sources. Industry processes including cement plants, lime plants, coking plants and sinter plants are important SO<sub>2</sub> sources as well. For cement plants, the units with out-of-date technology such as rotary kilns and vertical kiln will be shut down. By 2020, the percentage of advanced pre-calcining kilns will increase to 91% in the cement industry, which decreases the SO<sub>2</sub> emission factor by 53% compared to that in 2005. The lime plants using early kilns will decrease from 70% in 2005 to 13% in 2020, while those using modern kilns will increase from 30% in 2005 to 87% in 2020. All the indigenous coke plants will also be closed before 2020. For sinter plants, more effort will be made to improve the control technology and that emission factor will be decreased by 30% in 2020 compared to that in 2005.

During 2011–2015, China is going to further control NO<sub>x</sub> emissions by 10% on the basis of that in 2010, which is a big challenge. To meet the target, the quantity control of automobiles in China’s populous metropolises, and a cap on the discharge of NO<sub>x</sub> in power and cement industries shall be considered. Vehicle emission control was discussed in the above session. NO<sub>x</sub> emissions from thermal power plants, which account for 36% of the national total emissions and comprise a major source of NO<sub>x</sub> emissions in China, should be strictly controlled at national level. NO<sub>x</sub> pollution control of thermal power plants should focus on the following endeavors: (i) amendment of NO<sub>x</sub> emission standards; (ii) retirement of high-emission units; and (iii) application of NO<sub>x</sub> emission control technologies. Major flue gas de-NO<sub>x</sub> technologies

**Table 5** Changes of sulfur content in gasoline and diesel in China and its megacities (unit: mg/kg)

Gasoline												
Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
China	1500	1000			800			500				
Beijing	1500	1000	800			500				50		
Shanghai	1500	1000	800				500				50	
Guangzhou	1500	1000	800				500	150				
Diesel												
Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
China	2000/5000/10000			2000								
Beijing	2000/5000/10000			2000						50		
Shanghai	2000/5000/10000			2000							50	
Guangzhou	2000/5000/10000			2000								

including Selective Catalytic Reduction (SCR), Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR), and SNCR-SCR systems will be applied in power plants. In 2020, the application ratio of SCR will increase to over 55% in 2020 according to the emission standards under revision. For important regions, ozone shall be included in the air quality evaluation system.  $\text{NO}_x$  emission control plan shall be developed according to the regional ozone and  $\text{PM}_{2.5}$  targets. Additional measures will be considered during high ozone episodes. At local level,  $\text{NO}_x$  emissions shall meet both the limits in emission standards and regional/national requirements.

As shown in Fig. 1, China has made certain achievements on particle emission control. However, there is still a long way to go since the  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations are still very high. Primary particulate emissions contribute over 50% averagely to the high ambient particulate concentrations in Chinese cities. Therefore the particle emissions shall be further strengthened. Cement plants and iron and steel plants are important sources of particulate pollution in China. The particulate emission control of these sectors shall include phasing out old production processes with high energy consumption and serious pollution implication, recycling waste heat of dry kilns as low-temperature exhaust heat generation, installing CEMS to monitor the whole process of production, improving the management of current cement and steel plants, installing high efficiency dust removal facilities, and reducing fugitive dust emissions. Another important measure is to emphasize ecological construction and forestation, speed up the vireescence in urban areas, and gradually eliminate the bare land in cities.

Control of VOC emissions has not been initiated in China. Immediate efforts shall be made to develop VOC emission control laws and regulations, compile and issue a list of VOCs to be controlled, and establish ambient VOC standards, source emission limit standards, and solvent product standards of VOC contents. Moreover, VOC emissions from use of industrial organic solvents should comply with the national emission standards. Waste gas

from industrial process should be recycled. To prevent VOC emissions from industrial solvent use, the following steps should be taken: (i) store the organic solvents in sealed containers; (ii) minimize the toxic and hazardous gas emissions in the transportation of organic solvents; (iii) encourage and promote the use of low-volatile solvent; and (iv) prohibit VOC emissions from spraying, sand blasting, glass steel production, and vehicle friction chips in the open air and residential area. Oil/gas stations, oil storage tanks and oil tank trucks should use sealing technologies to control VOC emissions and achieve the national emission standards.

### 3.5 Joint prevention and control of regional air pollution

Regional air pollution has caught high attentions in China. On May 11, 2010, the General Office of the State Council of China issued the Guiding Opinions on Pushing Forward the Joint Prevention and Control of Air Pollution to Improve Regional Air Quality (hereinafter referred to as "Guiding Opinions"). The Guiding Opinions aimed to establish a joint prevention and control system for atmospheric pollution, formulate a system of regulations, standards and policies for regional atmospheric environmental management, significantly reduce the total amount of emissions from the main atmospheric pollutants, ensure that all key enterprises meet the emissions standards, and ensure that all cities in key regions maintain air quality at or better than the Grade II National Ambient Air Quality Standard, greatly reduce the acid rain, haze and photochemical smog pollution and improve regional air quality by 2015. The key regions for beginning the implementation of regional air pollution joint prevention and control are the Beijing-Tianjin-Hebei Region, the Yangtze River Delta Region and the Pearl River Delta Region. In Central Liaoning, the Shandong peninsula, Wuhan and its surrounding area, the Changsha, Zhuzhou and Xiangtan region, the Chengdu and Chongqing region, and the western coast of the Taiwan Strait governments should actively promote regional air pollution joint prevention and control. The

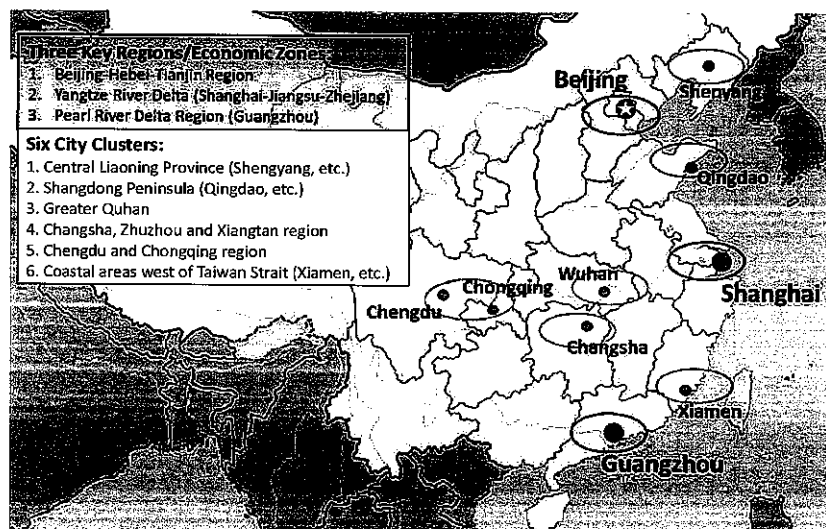


Fig. 6 Three key regions and six city clusters identified for regional air pollution control.

three key regions and six city-clusters (Fig. 6) are the population and economic centers of the country, in aggregate representing 64% of national GDP, 43% of total energy use, and 39% of the population. The key pollutants in joint prevention and control of air pollution include SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM and VOC. The key industries include thermal power plants, iron and steel, non-ferrous metals, petrochemicals, cement and chemicals, those key enterprises that heavily affect regional air quality. The key problems to be addressed are the acid rain, haze, photochemical smog, etc. In order to solve the important issues of regional air pollution, it is necessary to establish the mechanisms of unified planning, unified monitoring, unified supervision, unified evaluation and unified coordination for the joint prevention and control of regional atmospheric pollution. To provide a technology platform for urbanization in the future, study of technologies and methodologies on regional air quality monitoring, emission inventory, air quality forecasting and alarming, and regional air pollution control system should be undertaken.

### 3.6 Promotion of climate friendly air pollution control measures

Climate change is a big challenge to China. To achieve a given target in ambient air quality, China can dramatically save costs by adopting a smart mix of measures to reduce air pollution and greenhouse gas emissions. In many cases emissions of air pollutants and greenhouse gases are emitted from the same sources. Thus, controls directed at air pollutants frequently affect greenhouse gas emissions, and vice versa. Strategies to reduce greenhouse gas emissions can dramatically lower air pollution control costs. It has been demonstrated that the climate-friendly measures, e.g., energy efficiency improvements, co-generation of heat and power, fuel substitution, integrated coal gasification combined cycle (IGCC) plants, result in lower emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> at no additional costs. It was estimated that each percent of CO<sub>2</sub> reduction would typically reduce health impacts from PM air pollution by 1% (Amman et al., 2008). A smart mix of measures to simultaneously cut air pollution and greenhouse gas emissions will help combat climate change and air pollution more cheaply than tackling either issue separately.

In the near-term, the climate-friendly air pollution control strategy shall focus on the synergic control of black carbon and CO<sub>2</sub> with conventional air pollutants and in addition, strengthen the construction of abilities in combating climate change including greenhouse gases concentration monitoring, emissions inventory, cost-benefit analysis and synergic control policy making. Further studies are needed to evaluate the co-benefits and develop a strategy of air pollution management and climate change mitigation.

### Acknowledgments

This work was supported by the MEP's Special Funds for Research on Public Welfares (No. 201009001) and Chinese Academy of Engineering. We especially thank Prof. Fahe Chai, Jintian Yang, Min Shao, Changhong Chen, and Xiaoye Zhang for their valuable suggestions.

### References

- Amman M, Jiang K J, Hao J M, Wang S X, Zhuang X, Wei W et al., 2008. GAINS Asia: scenarios for cost-effective control of air pollution and greenhouse gases in China. <http://www.iiasa.ac.at/rains/reports/Asia/GAINS-Asia-China.pdf>.
- Aunan K, Berntsen T K, Seip H M, 2000. Surface ozone in China and its possible impact on agricultural crop yields. *Ambio*, 29(6): 294–301.
- Beijing EPB (Environmental Protection Bureau), 2011. Report on the environmental quality in Beijing 2010.
- Chang D, Song Y, Liu B, 2009. Visibility trends in six megacities in China 1973–2007. *Atmospheric Research*, 94(2): 161–167.
- Hao J M, Hu J N, Fu L X, 2006. Controlling vehicular emissions in Beijing during the last decade. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(8): 639–651.
- Heinberg R, Fridley D, 2010. The end of cheap coal. *Nature*, 468(7322): 367–369. DOI: 10.1038/468367a.
- ICCT (International Council on Clean Transportation), 2006. Costs and benefits of reduced sulfur fuels in China. [http://www.theicct.org/china/reduced\\_sulfur\\_fuels\\_in\\_china](http://www.theicct.org/china/reduced_sulfur_fuels_in_china).
- International Energy Agency, 2010. 2010 Key world energy statistics. [http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key\\_stats\\_2010.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf).
- Lei Y, Zhang Q, He K B, Streets D G, 2011. Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(3): 931–954. DOI: 10.5194/acp-11-931-2011.
- Li C, Zhang Q, Krotkov N A, Streets D G, He K B, Tsay S C et al., 2010. Recent large reduction in sulfur dioxide emissions from Chinese power plants observed by the Ozone Monitoring Instrument. *Geophysical Research Letters*, 37: L08807. DOI: 10.1029/2010GL042594.
- McElroy M B, Lu X, Nielsen C P, Wang Y X, 2009. Potential for wind-generated electricity in China. *Science*, 325(5946): 1378–1380. DOI: 10.1126/science.1175706.
- MEP (Ministry of Environment Protection of China), 2010. China vehicle emission control annual report 2010. <http://www.mep.gov.cn>.
- MEP (Ministry of Environment Protection of China), NBS (National Bureau of Statistics of China), MOA (Ministry of Agriculture of China), 2010. The first national pollution census report. [http://www.stats.gov.cn/tjgb/qttjgb/qgqttjgb/t20100211\\_402621161.htm](http://www.stats.gov.cn/tjgb/qttjgb/qgqttjgb/t20100211_402621161.htm).
- MEP (Ministry of Environment Protection of China), 2011. Report on environmental quality in China, 2010. <http://www.mep.gov.cn>.
- Richter A, Burrows J P, Nüß H, Granier C, Niemeier U, 2005. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space. *Nature*, 437(7055): 129–132.
- SEPA, 2006. Report on environmental quality in China, 2005. <http://www.mep.gov.cn>.
- Shao M, Tang X Y, Zhang Y H, Li W J, 2006. City clusters in China: air and surface water pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(7): 353–361. DOI: 10.1890/1540-9295(2006)004.
- Shi J, Cui L L, He Q S, Sun L, 2010. The changes and causes of fog and haze days in Eastern China. *Acta Geographica Sinica*, 65(5): 533–542.
- Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, Fernandes S D, Fu Q, He D et al., 2003. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. *Journal of Geophysical*

- Research-Atmosphere*, 108. DOI: 10.1029/2002JD003093.
- Tang J, Xu X B, Ba J, Wang S F, 2010. Trends of the precipitation acidity over China during 1992–2006. *Chinese Science Bulletin*, 55(17): 1800–1807.
- Wang H X, Kiang C S, Tang X Y, Zhou X J, Chameides W L, 2005. Surface ozone: A likely threat to crops in Yangtze delta of China. *Atmospheric Environment*, 39(21): 3843–3850.
- Wang S W, Streets D G, Zhang Q, He K B, Chen D, Kang S C et al., 2010a. Satellite detection and model verification of NO<sub>x</sub> emissions from power plants in Northern China. *Environmental Research Letters*, 5(4): 044007.
- Wang S X, Zhao M, Xing J, Wu Y, Zhou Y, Lei Y et al., 2010b. Quantifying the air pollutants emission reduction during the 2008 Olympic Games in Beijing. *Environmental Science and Technology*, 44(7): 2490–2496.
- Wang T, Ding A J, Gao J, Wu W S, 2006. Strong ozone production in urban plumes from Beijing, China. *Geophysical Research Letters*, 33: L21806. DOI: 10.1029/2006GL027689.
- Wang Y X, McElroy M B, Wang T, Palmer P I, 2004. Asian emissions of CO and NO<sub>x</sub>: Constraints from aircraft and Chinese station data. *Journal of Geophysical Research*, 109: D24304. DOI: 10.1029/2004JD005250.
- Wang Y X, McElroy M B, Martin R V, Streets D G, Zhang Q, Fu T M, 2007. Seasonal variability of NO<sub>x</sub> emissions over east China constrained by satellite observations: Implications for combustion and microbial sources. *Journal of Geophysical Research*, 112: D06301. DOI: 10.1029/2006JD007538.
- Wang Y X, McElroy M B, Munger J W, Hao J M, Ma H, Nielsen C P et al., 2008. Variations of O<sub>3</sub> and CO in summertime at a rural site near Beijing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(21): 6355–6363.
- Westerdahl D, Wang X, Pan X C, Zhang K M, 2009. Characterization of on-road vehicle emission factors and microenvironmental air quality in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 43(3): 697–705.
- WHO, 2006. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2006. [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE.PHE.OEH.06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE.PHE.OEH.06.02_eng.pdf).
- World Bank, 2007. Cost of Pollution in China. World Bank, Washington DC. [http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPENVIRONMENT/Resources/China\\_Cost\\_of\\_Pollution.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPENVIRONMENT/Resources/China_Cost_of_Pollution.pdf).
- Wu D, Bi X Y, Deng X J, Li F, Tan H B, Liao G L et al., 2008. Effect of atmospheric haze on the deterioration of visibility over the Pearl River Delta. *Acta Meteorologica Sinica*, 21(2): 215–223.
- Wu Y, Wang R J, Zhou Y, Lin B H, Fu L X, He K B et al., 2011. On-road vehicle emission control in Beijing: past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 45(1): 147–153.
- Xing J, Wang S X, Jang C, Zhu Y, Hao J M, 2011a. Nonlinear response of ozone to precursor emission changes in China: a modeling study using response surface methodology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(10): 5027–5044. DOI: 10.5194/acp-11-5027-2011.
- Xing J, Wang S X, Chatani S, Zhang C Y, Wei W, Hao J M et al., 2011b. Projections of air pollutant emissions and its impacts on regional air quality in China in 2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(7): 3119–3136. DOI: 10.5194/acp-11-3119-2011.
- Yang F M, Tan J H, Zhao Q, Du Z Y, He K B, Ma Y L et al., 2011. Characteristics of PM<sub>2.5</sub> speciation in representative megacities and across China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(11): 5207–5219. DOI: 10.5194/acp-11-5207-2011.
- Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, He K B, Huo H, Kannari A et al., 2009a. Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(14): 5131–5153. DOI: 10.5194/acp-9-5131-2009.
- Zhang Q, Streets D G, He K B, 2009b. Satellite observations of recent power plant construction in Inner Mongolia, China. *Geophysical Research Letters*, 36: L15809.
- Zhang Q, Streets D G, He K B, Wang Y X, Richter A, Burrows J P et al., 2007. NO<sub>x</sub> emission trends for China, 1995–2004: The view from the ground and the view from space. *Journal of Geophysical Research*, 112: D22306. DOI: 10.1029/2007JD008684.
- Zhao C, Wang Y H, 2009. Assimilated inversion of NO<sub>x</sub> emissions over east Asia using OMI NO<sub>2</sub> column measurements. *Geophysical Research Letters*, 36: L06805.
- Zhao C, Wang Y H, Zeng T, 2009. East China plains: a “basin” of ozone pollution. *Environmental Science and Technology*, 43(6): 1911–1915. DOI: 10.1021/es8027764.
- Zhao Y, Wang S X, Duan L, Lei Y, Cao P F, Hao J M, 2008. Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China: current status and future prediction. *Atmospheric Environment*, 42(36): 8442–8452.
- 2050 China Energy and CO<sub>2</sub> Emissions Research Team, 2009. 2050 China Energy and CO<sub>2</sub> Emissions Report. Science Press, Beijing, China.

## COUNTRY REPORT: THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

### The Prevention and Control of Atmospheric Pollution in China

JINGJING ZHAO\*

#### Introduction: Air Pollution in China

The People's Republic of China has recently suffered episodes of severe air pollution. According to statistics from the Ministry of Environmental Protection, long-lasting and large-scale hazy weather affects 600 million people living in 17 provinces covering one quarter of China's total land mass.<sup>1</sup> In response to the intense pressure on the Chinese government to address the issue, the Ministry of Environmental Protection and the General Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine (AQSIQ) issued the *Ambient Air Quality Standards* ('the Standards') on 29 February 2012.<sup>2</sup> The Standards take effect nationwide from 1 January 2016, however provincial governments can adopt them before then. The *Standards* include two classes of limit values on the density of air pollutants. Class 1 standards apply to special regions including reservation parks, scenic areas and other specially protected areas. Class 2 standards apply to all other regions, such as urban, rural, and industrial areas.<sup>3</sup> According to the Standards, the air quality in nearly two thirds of the 330 major cities fails to meet Class 2 standards.<sup>4</sup>

On 4 November 2013, the China Meteorological Administration and the Chinese Academy of Social Sciences released the *Annual Report on Actions to Address Climate Change* ('the Green Book').<sup>5</sup> The Green Book reported a constant increase in the number of smog days over the last five decades. It also stated that China experienced more smog days in the first

---

\* Doctoral Candidate, Part-time Lecturer and Tutor, the Law School, University of Strathclyde, UK. The author is also a member and activity coordinator of the Strathclyde Centre for Environmental Law and Governance. Email: daisyzhao2006@gmail.com or jingjing.zhao@strath.ac.uk.

<sup>1</sup> Found at: [http://news.xinhuanet.com/energy/2013-06/05/c\\_124812258.htm](http://news.xinhuanet.com/energy/2013-06/05/c_124812258.htm).

<sup>2</sup> Ambient Air Quality Standards (GB 3095-2012), available at <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhjbh/dqhjzlbz/201203/W020120410330232398521.pdf>. It replaces Ambient Air Quality Standards (GB 3095-1996).

<sup>3</sup> Ibid, at 2-3.

<sup>4</sup> Found at: [http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201302/t20130201\\_245846.htm](http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201302/t20130201_245846.htm).

<sup>5</sup> Found at: <http://www.cma.gov.cn/2011xzt/2013zhuant/20131107/>.

10 months of 2013 than in any other similar period since 1961 (29.9 in total).<sup>6</sup> Severe smog can affect air quality and human health, and cause economic loss for businesses affected by the forced closure of roads, airports and schools. The Green Book linked increasing smog days to changing weather patterns and a rise in human fuel consumption and air polluting activities.

### Relevant Law and Policy

Air pollution in China is primarily regulated by the *Law on the Prevention and Control of Atmospheric Pollution 1987* ('the LPCAP').<sup>7</sup> The aim of the LPCAP is to prevent and control air pollution. The LPCAP was last amended in 2000. Some affected people are concerned that LPCAP provisions are based on out-of-date data. For example, the LPCAP focuses on regulating activities that release large particulate matter into the atmosphere, such as coal burning and certain waste disposal.<sup>8</sup> The LPCAP is less concerned with regulating activities that release fine particulate matter into the air, such as metal processing and smelting. This raises concerns for some affected people who feel that fine particulate matter may pose a greater risk to human health than large particulate matter. The Ministry of Environmental Protection began a review of the LPCAP in 2006. The Ministry submitted a revised version of the law to the State Council in 2010. On 31 October 2013, the 12<sup>th</sup> National People's Congress Standing Committee announced that the revised version was scheduled for deliberation within the Committee's term of office.<sup>9</sup>

In addition to the LPCAP, there are numerous policies dealing with air pollution in China. On 29 October 2012, the State Council published its 12<sup>th</sup> *Five-Year Plan on the Prevention and Control of Atmospheric Pollution in Key Areas*. The Plan addresses fine particulate matter and introduces a new policy focus on improved air quality. This indicates a shift away from a focus on control of pollution causing activities.<sup>10</sup> On 10 September 2013, the State Council issued the *Action Plan on the Prevention and Control of Atmospheric Pollution* ('the Action Plan').<sup>11</sup> The broad aim of the Action Plan is to improve China's overall air quality within five years. Other aims include a significant reduction in smog days and a dramatic improvement in regional air quality. Targeted regions include Beijing-Tianjin-Hebei, Yangzi River Delta and

---

<sup>6</sup> Found at: <http://society.people.com.cn/n/2013/1104/c86800-23427944.html>.

<sup>7</sup> As amended by the Standing Committee of the National People's Congress respectively in 1995 and 2000.

<sup>8</sup> Found at: [http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2005-08/05/content\\_20945.htm](http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2005-08/05/content_20945.htm).

<sup>9</sup> Found at: [http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/sywxw/2013-10/31/content\\_1812101.htm](http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/sywxw/2013-10/31/content_1812101.htm).

<sup>10</sup> Found at: [http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201212/t20121205\\_243271.htm](http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201212/t20121205_243271.htm).

<sup>11</sup> Found at: [http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content\\_2486773.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content_2486773.htm).



Pearl River Delta. The Action Plan sets 2017 as the achievement date for two major goals: a 10 percent reduction in concentrations of large particulate matter in major cities; up to a 25 percent decrease in concentrations of fine particulate matter in targeted regions.

The Action Plan contains 10 major sections. Each section sets out measures to address specific problems or further certain goals. The following provides a brief overview of each section.

#### Section 1: Increase the effort of comprehensive control, reduce multi-pollutants emissions

The aim of Section 1 is to reduce the discharge of pollutants by:

- regulating the use of small coal-fired boilers
- accelerating desulfurization, de-nitrification and dust removal
- retrofit projects in key industries
- improving the quality of fuels
- controlling urban dusts
- eliminating high polluting yellow-sticker vehicles and old vehicles

#### Section 2: Adjust and optimize the industrial structure, promote industrial upgrading and restructure

This section introduces measures to:

- regulate new capacities in high energy consuming and high polluting industries
- accelerate the elimination of backward productivity in 21 key industries, such as iron and steel, cement, electrolytic aluminium, glass, *et cetera*
- reduce excess capacity
- halt illegal production projects in industry with over capacity

#### Section 3: Accelerate industrial technology transformation, improve the innovation capability

Section 3 promotes:

- the strengthening of scientific and technological development and promotion
- clean production
- a 30 percent reduction of emission intensity in key industries by 2017
- the development of a circular economy
- the fostering of energy saving and environmental protection industries

#### Section 4: Accelerate the adjustment of energy structure and increase clean energy supply

The plan here is to:

- limit the overall consumption of coal
- decrease the share of coal in total energy consumption to less than 65 percent by 2017
- accelerate clean energy utilization by increasing the supply of alternative energies like natural gas and coal-based methane
- promote the clean use of coal
- improve energy efficiency

#### Section 5: Strengthen energy-saving environmental thresholds and optimize industrial layout

Section 5 aims to strengthen the use of energy-saving environmental protection indicators by regulating industry actions. For example, projects which have not passed energy audits and environmental impact assessments will not be approved for construction, provided with land or credit support or supplied electricity or water.

#### Section 6: Elaborate the role of market mechanism and improve environmental economic policies

Tasks here include:

- the active promotion of new energy-saving and emission reduction mechanisms that integrate constraints with incentives
- increasing pollution charges
- encouraging banking and financial institutions to increase credit support for projects concerning the prevention and control of air pollution

#### Section 7: Integrate law and regulation systems, supervise and manage strictly based on the law

Section 7 is designed to achieve the Section 2 aim of 'promoting industrial upgrading and restructure' through the improvement of law and regulations. The focus here is on accelerating revision of the LPCAP and:

- considering possible criminal penalties for those who cause malicious pollution
- accelerating the establishment and revision of emission standards in key industries
- strictly implement environmental disclosure requirements

publishing urban air quality ranking at provincial level

Section 8: Establish a regional corporation mechanism and integrate regional environmental management

This section establishes a 'Beijing-Tianjin-Hebei-Yangzi River Delta-Pearl River Delta Regional Corporation Mechanism'. The Regional Mechanism allows provincial governments and State Council to:

- collaboratively resolve significant regional environmental problems
- better implement air pollution prevention and control measures
- report on the progress of prevention and control measures
- determine periodical work requirements, priorities and major tasks

Section 9: Establish monitoring and warning system, and properly cope with heavy pollution weather

Section 9 requires local governments to include a Heavy Pollution Weather Emergency Response in their emergency management system. Responses may include:

- production limits
- temporary closure of heavy polluting enterprises
- temporary closure of primary and secondary schools
- control over motor vehicle use
- relevant meteorological interventions

Section 10: Clarify the responsibilities of the government and society, encourage the public to participate in environmental protection

Section 10 vests local governments with responsibility for air quality within their jurisdictions. It requires relevant governmental sectors to closely cooperate with one another and to take unified action against air pollution. It acknowledges the role of enterprises and the public in tackling air pollution.

**Joint Efforts to Combat Air Pollution**

The Action Plan is the Chinese government's toughest plan so far to combat air pollution. It is likely to serve as the political benchmark for the nation's efforts to improve air quality.

Several challenges may arise in the implementation of the Plan. Firstly, implementation requires coordination and cooperation at the national, provincial, municipal and public level. In addition, implementation may require significant economic investment and industry reform. Consequently, it is uncertain to what extent the Action Plan will be implemented and to what extent it will deliver practical value to the people of China. On the positive side, the Ministry of Environmental Protection argues that the Plan is likely to benefit some industries, such as manufacturing and clean energy, and increase Gross Domestic Product by 1942.2 billion RMB (\$319 billion).<sup>12</sup>

Just after the Action Plan was published, the Ministry of Finance allocated 5 billion RMB (\$820 million) to the elimination of air pollution in six cities and provinces including Beijing, Tianjin, Hebei, Shanxi, Shangdong, Neimenggu and Hebei.<sup>13</sup> Several national Ministries and administrative bodies cooperated to develop and issue *Detailed Rules on the Implementation of the Action Plan in Beijing-Tianjin-Hebei and Adjacent Regions*. The Detailed Rules specifically address actions to reduce fine particulate matter. On 5 September 2013, Hebei province issued a document outlining 10 specific measures to eliminate air pollution.<sup>14</sup> One of these measures is the establishment of an Environmental Police team comprised of public security and environmental protection personnel.<sup>15</sup> Regional governments have also worked to review or create laws that complement the Action Plan. For example, the Shanghai Municipal Council has passed the *Measures for the Implementation of LPCAP*. The draft document is yet to be deliberated by the Standing Committee of Shanghai Municipal People's Congress.<sup>16</sup> On 20 November 2013, the Standing Committee of Beijing Municipal People's Congress considered the *Regulations on the Prevention and Control of Atmospheric Pollution in Beijing* for the third time. The *Regulations* will be deliberated by Beijing Municipal People's Congress in early 2014.<sup>17</sup>

As recognized by Section 10 of the Action Plan, air pollution cannot be eliminated without public participation. Effective public participation requires proper access to relevant

---

<sup>12</sup> Found at: [http://news.xinhuanet.com/fortune/2013-11/27/c\\_125768942.htm](http://news.xinhuanet.com/fortune/2013-11/27/c_125768942.htm).

<sup>13</sup> Found at: [http://www.gov.cn/jrzq/2013-10/14/content\\_2506559.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2013-10/14/content_2506559.htm).

<sup>14</sup> Special Projects and Measures, found at: <http://env.people.com.cn/n/2013/0905/c1010-22811817.html>.

<sup>15</sup> Ibid. The recent progress of the projects can be found at [http://www.gov.cn/gzdt/2013-10/13/content\\_2505855.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2013-10/13/content_2505855.htm).

<sup>16</sup> Found at: <http://fzb.sh.gov.cn/fzbChinese/page/legalinfo/locallegalinfo24449.htm>.

<sup>17</sup> Found at: [http://news.xinhuanet.com/local/2013-11/23/c\\_118265138.htm](http://news.xinhuanet.com/local/2013-11/23/c_118265138.htm).

information. To facilitate this access, the Chinese government has set up an official air quality monitoring programme and made relevant data available to the public.<sup>18</sup>

## Conclusion

Air pollution poses an incredible challenge for China. The recently published Action Plan looks at the prevention and control of air pollution at the national level. Its implementation depends upon different groups at different levels working successfully together. These groups include:

- central, provincial and municipal governments
- industry bodies
- commercial entities
- the public

Should this cooperation be achieved, the Action Plan can play an important role in the elimination of air pollution. The next step is to consider translating this policy into law. The stabilization, nominalization and institutionalization of air pollution control and prevention also depend upon the strengthening of environmental law. China is currently in the process of revising its *Environmental Protection Law*. These revisions may help address China's air pollution problem. Similarly, the revised LPCAP is likely to have a significant impact on China's approach to the problem of air pollution.

---

<sup>18</sup> Found at: <http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>; China National Environmental Monitoring Centre (CNEMC) under the auspices of the Ministry of Environmental Protection started to publish detailed information on the air quality of 74 national-wide cities from 28 December 2012 through its Real-Time National Urban Air Quality Publishing Platform; Report on the 74 Cities' Air Quality for October 2013, found at [http://www.cnemc.cn/publish/totalWebSite/news/news\\_38965.html](http://www.cnemc.cn/publish/totalWebSite/news/news_38965.html).; Real-time statistics on the density of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>-1h, O<sub>2</sub>-8h, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and Air Quality Index are accessible to the public at any time. The CNEMC also publishes monthly report on the monitored cities; also found at: [http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201309/t20130904\\_259477.htm](http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201309/t20130904_259477.htm).; In addition, China Meteorological Administration started to provide the public with forecast on the meteorological conditions for air pollution from 1 September 2013.

**NORMATIVA de MÉXICO**

A continuación se adjunta la normativa de México relacionada con el dióxido de azufre:

- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, con respecto al dióxido de azufre. Valor normado para la concentración de dióxido de azufre en el aire, como medida de protección a la salud de la población.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

MIGUEL ANGEL TOSCANO VELASCO, Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario con fundamento en lo dispuesto por los artículos 39 fracción XXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3 fracción XV, 13 apartado A) fracción I, 17 Bis fracción XI, 27 fracción I, 116 y 118 fracción I de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracciones I, XI, XII y XIII, 41, 43, 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 111 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 2 literal C fracción X del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud y 3 fracción I inciso i y 10 fracción IV del Reglamento de la Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios, he tenido a bien ordenar la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-SSA1-2010, SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>). VALOR NORMADO PARA LA CONCENTRACION DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION.

#### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Subcomité de Salud Ambiental presentó en el año del 2006 al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, el anteproyecto de norma oficial mexicana.

Que con fecha 18 de junio de 2009, en cumplimiento a lo acordado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario y lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-022-SSA1-2006, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, que modifica a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, a efecto de que dentro de los sesenta días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que con fecha previa, fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación, las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en los términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación de los integrantes del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-SSA1-2010, SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>). VALOR NORMADO PARA LA CONCENTRACION DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION**

#### INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones

000465

v TA

5. Métodos de prueba
6. Concordancia con normas internacionales y mexicanas
7. Bibliografía
8. Observancia de la Norma
9. Vigencia

#### PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes instituciones y organismos:

SECRETARIA DE SALUD

COMISION FEDERAL PARA LA PROTECCION CONTRA RIESGOS SANITARIOS

Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Programa Universitario de Medio Ambiente

SERVICIOS DE SALUD PUBLICA DEL DISTRITO FEDERAL

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Dirección General de Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

Instituto Nacional de Ecología (Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental)

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE DEL ESTADO DE MEXICO

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

ASOCIACION DE PRODUCTORES DE HIELO DEL NOROESTE, A.C.

SECRETARIA DE GOBERNACION

Centro Nacional de Prevención de Desastres

CAMARA MINERA DE MEXICO

PETROLEOS MEXICANOS

Gerencia de Normatividad Técnica

AGENCIA DE PROTECCION AL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

HOSPITAL INFANTIL DE MEXICO

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PUBLICA

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACION EN SALUD POBLACIONAL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PUBLICA

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD

HOLCIM APASCO, S.A. DE C.V.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA UNIDAD AZCAPOTZALCO



## 0. Introducción

La contaminación atmosférica a mediados del siglo XX e inicios del XXI ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de los automotores y de las industrias, principalmente. Para prevenir, reestablecer y mantener la calidad de aire, se realizan acciones para reducir la emisión de contaminantes.

La Ley General de Salud, en su artículo 116 establece que en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley con el objetivo claro de protección de la salud humana ante los riesgos sanitarios y daños dependientes de las condiciones del ambiente y determinarán, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para la población.

Durante el 2005 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado la actualización mundial de las Guías de Calidad del Aire (GCA); esta revisión se basa en una evaluación mundial y regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire. Atrajo la atención de la OMS la distribución geográfica y la escala del problema: más de dos millones de muertes prematuras al año se atribuyen a la contaminación del aire exterior urbano y a la contaminación del aire intramuros por la quema de combustibles sólidos y más de la mitad pesa sobre países en desarrollo (Informe de Salud Mundial 2002). OMS/OPS. Guías de Calidad del Aire. Actualización Mundial 2005.

El grupo de trabajo para la formulación de las nuevas guías de calidad del aire estableció su conceptualización en dos sentidos: Una revisión completa de los aspectos que afectan la aplicación de las guías en la evaluación de los riesgos y formulación de políticas y el otro, en la revisión de la prevalencia y los riesgos para la salud que trae el dióxido de azufre, para que con dicha revisión se establezcan los valores que protejan la salud de la población.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, señalan que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país.

La gestión de la calidad del aire a nivel internacional tiende hacia una reducción continua de los niveles máximos permisibles de los contaminantes en la atmósfera, por lo que la existencia de normas permite controlar la exposición de la población a sustancias contaminantes, además de fundamentar el diseño de las medidas de prevención y control.

Los avances recientes en el ámbito internacional y nacional con respecto a los estudios de efectos en salud por la exposición ambiental a sustancias tóxicas presentes en el aire ambiente, hace necesario crear, ampliar y actualizar las normas de calidad del aire sobre los niveles máximos permisibles que garanticen la protección de la salud de la población en general y de los grupos sensibles en particular.

El azufre está presente en el petróleo y el carbón en su estado natural, y se señala desde hace décadas al dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y a los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) como responsables en buena medida de las «lluvias ácidas» y de la contaminación del aire que afectan a las zonas urbanas e industriales. Recientemente, se han reconocido a las emisiones de  $\text{SO}_2$  por su contribución a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, partículas finas que son perjudiciales para la salud humana.

El dióxido de azufre se genera como emisión tanto de fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos lo que le confiere sus características potencialmente agresoras.

Se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria; constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con el material particulado (PST, PM10) y dar lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica.

Esta combinación, dióxido de azufre/partículas menores a 10 micrómetros de diámetro fracción inhalable de ( $\text{SO}_2/\text{PM}_{10}$ ), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, es la responsable de episodios poblacionales de mortalidad en diferentes partes del mundo, así como del incremento de la morbilidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias superiores.

El análisis del riesgo establece que la exposición a periodos cortos de tiempo (exposición aguda) a concentraciones de dióxido de azufre, afecta la capacidad ventilatoria, existe una relación entre exposición y respuesta para algunos individuos que se expresa en términos de reducción de la Frecuencia de Ventilación Expiratoria (FEV), después de una exposición por más de 15 minutos a concentraciones de SO<sub>2</sub>. Linn et. al (1987).

Información científica de estudios epidemiológicos sobre los efectos que se producen por la exposición a periodos de 24 horas de SO<sub>2</sub> de manera individual o asociado a material particulado o a otros contaminantes, establece la exacerbación en la sintomatología de pacientes sensibles, cuando se exceden los valores de 0,087 ppm (228 µg/m<sup>3</sup>) en presencia de materia particulada (Johnson A. et al. 2002).

Estudios recientes muestran de manera consistente que la mezcla de emisiones de SO<sub>2</sub> provenientes de fuentes industriales y fuentes vehiculares, presentes con mayor frecuencia en las áreas urbanas, causan un aumento en la mortalidad total en adultos mayores por padecimientos cardiovasculares y respiratorios (10 a 18 casos Aprox.) y eleva el ingreso a los servicios de emergencia (19-22) por causas respiratorias y obstrucción crónica pulmonar a niveles por debajo de la media anual 0,017 ppm o 45 µg/m<sup>3</sup> (Promedio anual). Schwartz, J. (1992).

Los valores criterio de la calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes, con base en la protección de la salud de la población, considerando a la más susceptible, además de que son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente, establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos.

### 1. Objetivo y campo de aplicación

#### 1.1 Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente para la protección de la salud humana.

#### 1.2 Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el territorio nacional.

### 2. Referencias

La presente norma se complementa con la siguiente norma oficial mexicana o la que la sustituya:

NOM-038-SEMARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

### 3. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se entiende por:

**3.1 ppm.** Partes por millón (1 ppm = 2620 µg/m<sup>3</sup>) a condiciones de referencia 298.16 °K de temperatura y 101.3 kPa (kilopascal) de presión.

**3.2 µg/m<sup>3</sup>.** Microgramo por metro cúbico.

**3.3 Aire ambiente.** Porción de la atmósfera a la que la población está expuesta, externa a las construcciones.

**3.4 Contaminante atmosférico.** Sustancia en el aire ambiente que, en alta concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales de forma aguda o crónica. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas y líquidas, gases o combinados. Generalmente se clasifican en los compuestos emitidos directamente por la fuente o contaminantes primarios y los compuestos producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios o por la reacción con los compuestos naturales encontrados en la atmósfera.

**3.5 Control de exposición.** Medidas adoptadas para mantener la exposición por debajo de un límite máximo. El proceso incluye el establecimiento del límite, basándose en la evaluación de riesgo y en el conocimiento de las relaciones entre la emisión y la exposición humana.

**3.6 Emisión.** Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo y subsuelo.

**3.7 Epidemiología.** Es el estudio de la distribución y de los determinantes de los estados o acontecimientos relacionados con la salud en poblaciones específicas y la aplicación de este estudio al control de los problemas sanitarios. Ciencia de la salud que investiga las asociaciones que pueden existir entre el estado de salud o enfermedad de una población y los factores asociados a esos estados.

**3.8 Exposición.** Procesos por los cuales una sustancia con propiedades tóxicas se introduce o es absorbida por un organismo por cualquier vía.

**3.9 Exposición aguda.** Causa efectos a la salud a corto o largo plazo, comúnmente un efecto agudo ocurre durante un tiempo corto (hasta un año) luego de la exposición. Ocurre a lo largo de un tiempo corto, por lo general minutos u horas.

**3.10 Exposición crónica.** Que ocurre por un periodo de tiempo largo (más de 1 año).

**3.11 Población expuesta al riesgo.** Parte de la población que es susceptible a una enfermedad, definida por factores ambientales o demográficos.

**3.12 Prevalencia.** Es el coeficiente que mide el número de personas enfermas o que presentan cierto trastorno en determinado momento (prevalencia puntual), o durante un periodo predeterminado (prevalencia en un periodo), independientemente de la fecha en que comenzaron la enfermedad o el trastorno, y como denominador, el número de personas de la población en la cual tiene lugar.

**3.13 Vigilancia epidemiológica.** Al estudio permanente y dinámico del estado de salud, así como de sus condicionantes, en la población.

**4. Especificaciones**

**4.1** La concentración de dióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de 288 µg/m3 o 0,110 ppm promedio en 24 horas, una vez al año, para protección a la salud de la población.

**4.2** La concentración de dióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de 66 µg/m3 o 0,025 ppm promedio anual, para protección a la salud de la población.

**4.3** La concentración del promedio de ocho horas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), como contaminante atmosférico, debe ser menor o igual a 524 µg/m3, o 0,200 ppm promedio horario para no ser rebasado dos veces al año.

**4.4** El cálculo de las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente mencionado en los numerales 4.1, 4.2 y 4.3 se realizará conforme a las disposiciones aplicables sobre el manejo de datos de la calidad del aire.

**5. Métodos de prueba**

El método de prueba para la determinación de la concentración del dióxido de azufre en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire, es el establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

**6. Concordancia con normas internacionales y mexicanas**

Esta Norma Oficial Mexicana no tiene concordancia con normas internacionales ni mexicanas.

**7. Bibliografía**

**7.1** Alfaro, E., Martínez, L., García-Cuéllar, C., Bonner, J.C., Murray, J.C., Rosas, I., Ponce de León, S., Osornio-Vargas, A. 2002. Biologic effects induced in Vitro by PM10 from three different zones of Mexico City. Environmental Health Perspectives 110, 715-720.

7.2 Anthony Johnson Hedley, Chit-Ming Wong, Thuan Quoc Thach, Stefan Ma, Tai-Hing Lam, Hugo Ross Anderson, Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study, *The Lancet*, Vol. 360, November 23, 2002.

7.3 Atkinson Richard W, H. Ross Anderson et al. A Tale of Two Cities: Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Hong. Department of Public Health Sciences. *Environmental Health Perspectives VOLUME 110 | NUMBER 1 | January 2002* 67.

7.4 Burnett et al; 2004. Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health* 59: 223-236.

7.5 Cristian Frye, Bernd Hoelscher, Josef Cyrus, Matthias Wjst, H.-Erich Wichmann and Joaquin Hienrich, Association of lung Function with declining ambient air pollution, *Children's Health Articles, Environmental Health Perspectives Volume 111 Number 3 Institut für Epidemiologie, Neuherberg, Germany, March 2003.*

7.6 Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y polvo en el aire, *Directiva 1999/30/CE del Consejo Europeo, abril 22 1999.*

7.7 Directiva 1999/30/CE del Consejo, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente (actos modificados).

7.8 Efectos del ambiente en la salud. Capítulo IV, *Ley General de Salud, D.O.F. Febrero de 1984, 56-57.*

7.9 Efectos del ambiente en la salud. Título Séptimo, Capítulo IV, *Ley General de Salud, DOF. Febrero de 1984, 56-57.*

7.10 *Environmental Health Perspectives* air pollution, children, epidemiology, mortality, respiratory diseases. - *Environ Health Perspect* 109 (suppl 3):347350 (2001). The association between air pollution and mortality has been clearly established in recent years, even in nonepisodic events.

7.11 *Environmental Health Perspectives VOLUME 109 | SUPPLEMENT 3 | June 2001* 347. The association between air pollution and mortality has been clearly established in recent years, even in nonepisodic events.

7.12 Ferran Ballester; Paz Rodríguez; et al. 2001. Asociación entre ingresos por enfermedades del Sistema circulatorio y contaminación atmosférica por Partículas: Avance de resultados del Proyecto EMECAS. Unidad de Epidemiología y Estadística. Escola Valenciana d'Estudis per a Salut (EVES). C.S. Valenciana.

7.13 Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Salud, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.

7.14 Hedley et. al. 2002. Cardiorespiratory and allcause mortality alter restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong and intervention study *Lancet*, 360:1645-1652).

Hernández-Cadena L., y Col. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Salud Pública, México* 2000; 42:2888-297.

7.15 Hernández-Cadena L.y Col. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Salud Pública, Méx.* 2000; 42:288-297.

7.16 Institute for Environmental Studies (ivm), (CENSA), (UCLA). *Improving Air Quality in Metropolitan Mexico City: Economic valuation, 2001, México, D.F.*

7.17 Instituto Nacional de Ecología. Segundo Almanaque de Datos y tendencias de calidad del Aire en seis Ciudades Mexicanas, 2001.

7.18 K. Sharon Sagiv, Mendola Pauline, et al. *Children's Health. Article. A Time Series Analysis of Air Pollution and Preterm Birth in Pennsylvania, 1997-2001.* Department of Epidemiology, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina, USA; 2National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle

**7.19** Kate Blumberg, Energy and Resources Group, Dep. Of Civil and Environmental Engineering, Universidad de California, Berkeley, Análisis Costo Beneficio de la utilización de combustibles con un contenido de azufre extremadamente bajo en México. Abril 2004.

**7.20** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, DOF. Enero 1988.

**7.21** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. D.O.F. Enero de 1988.

**7.22** Lippmann, M., Frampton, M., Schwartz, J., Dockery, D., Schlesinger, R., Koutrakis, P., Froines, J., Nel, A., Finkelstein, J., Godleski, J., Kaufman, J., Koenig, J., Larson, T., Luchtel, D., Sally Liu, L.J., Oberdorster, G., Peters, A., Samat, J., Sioutas, C., Suh, H., Sullivan, J., Utell, M., Wichmann, E., Zelikoff, J. 2003. The U.S. Environmental Protection Agency Particulate Matter Health Effects Research Centers Program: A midcourse report of status, progress and plans. Environmental Health Perspectives. 111 (8): 1074-1090.

**7.23** M.S. Gleice, G.E.K. Simone, et al. Air Pollution and Child Mortality: A TimeSeries Study in São Paulo, Brazil Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental, Departamento de Patologia, Facultad de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil; Departamento de Estatística, Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

**7.24** Mackenbach-JP; Looman-CW; Kunst-AE Air pollution, lagged effects of temperature, and mortality: The Netherlands 1979-87. J-Epidemiol-Community-Health. 1993 Apr; 47 (2): 121-6.

**7.25** Molina, M. and L. Molina, Air quality en the Mexico Megacity: An Integrated Assesment (Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, U.S.A.), 2002.

**7.26** Molina, M. and L., Molina, Eds. (2202) Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment (Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, U.S.A.).

**7.27** Rivero S.O. y Cols. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria. Biblioteca de la Salud. 1993.

**7.28** Romieu, I., Meneses, F., Ruiz, S., Sienna, J.J., Huerta, J., White, M.C., Etzel, R.A., 1996. Effects of air pollution on the respiratory health of asmatic children living in Mecico City. American Journal of Critical Care Medicine. 154: 300-307.

**7.29** Romieu, I., Meneses, F., Sienna-Monge, J.J.L., Huerta J., Ruiz-Velasco, S., White, M.C., Etzel, R.A., Hernández-Avila, M. 1995. Effects of Urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. American Journal of Epidemiology. 141 (6): 546-553.

**7.30** S. Hajat, A Haines, S.A Goubet, R W Atkinson and H R Anderson, Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London, Occup Environ Med 2002; 59: 294-299, October 17 2001.

**7.31** Santos-Burgoa, C., Rojas-Bracho, L., Rosas-Pérez, I., Ramírez-Sánchez, A., Sánchez-Rico, G., Mejía-Hernández, S. 1993. Modelaje de exposición a partículas en población general y riesgo de enfermedad respiratoria. Gaceta Médica Mexicana. 134 (4): 407-417.

**7.32** Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Ambiental Metropolitana. Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. México, D.F. 2000.

**7.33** Secretaría del Medio Ambiente. Comisión Ambiental Metropolitana, Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010, México, D.F. 2000.

**7.34** Spix C; Heinrich J; Dockery D; Schwartz J; Volksch G; Schwinkowski K; Cöllen CH; Wichmann. Air Pollution and Daily Mortality in Erfurt, East Germany, 1980-1989. Environ-Health Perspect. 1993 101 (6): 518-526.

**7.35** Sulfur Dioxide and Particulate Matter. Air Quality Guidelines for Europe. WHO regional publications. European series; No. 23 ISBN 92-890-1114-9, 338-360, 1987.

**7.36** U.S. Environmental Protection Agency (1982) Air Quality Criteria Document for Particulate Matter and Sulfur Oxides. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office; EPA Volume I report No. EPA 600/8-82-029 a.

**7.37** U.S. Environmental Protection Agency (1982) Air Quality Criteria Document for Particulate Matter and Sulfur Oxides. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office; EPA Volume II report No. EPA 600/8-82-029 b.

**7.38** U.S. Environmental Protection Agency (1982) Air Quality Criteria Document for Particulate Matter and Sulfur Oxides. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office; EPA Volume III report No. EPA 600/8-82-029 c.

**7.39** U.S. Environmental Protection Agency (1986) Second Addendum to Air Quality Criteria Document for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982): Assessment of Newly Available Health Effects Information. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office; EPA report No. EPA 600/8-86-020 F.

**7.40** U.S. Environmental Protection Agency, More Details on Sulphur Dioxide- Based on Data Through 2002. Past Annual Reports Air Quality Data Design Values Acronyms, Washington, D.C. 2002.

**7.41** U.S. Environmental Protection Agency, National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides (Sulphur Dioxide-Final Decision; Volume 61, Number 100 page 25566-25580 Air & Radiation Docket Information Center EPA Washington D.C., 1996.

**7.42** Unión Europea, Síntesis de la legislación SCADPlus: Límites nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos, Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, Octubre 23 2001.

**7.43** Unión Europea, SCADPlus: Problemas ambientales causados por los vehículos pesados, Comisión, Julio 14 1998.

**7.44** Unión Europea, SCADPLUS: Contaminantes procedentes de las grandes instalaciones de combustión, Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, Octubre 23, 2001.

**7.45** Urban Air Pollution in Megacities of the World. Blackwell. WHO/UNEP.

**7.46** Vega, E., Reyes, E., Wellens, A., Sánchez, G., Chow, J.C., Watson, J.G. 2003. Comparison of continuous and filter based mass measurements in Mexico City. Atmospheric Environment. 37: 2783-2793.

**7.47** Waller-RE; Commins-BT; Lawther-PJ. Air pollution in a city street. 1965 (classical article). Br-J-Ind-Med. 1993 Aug; 50(8):128-38.

## **8. Observancia de la Norma**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia para las autoridades federales y locales, que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, con fines de protección a la salud de la población, en los términos de las disposiciones jurídicas aplicables.

## **9. Vigencia**

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con su carácter obligatorio, a los 180 días siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 11 de junio de 2010.- El Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, **Miguel Angel Toscano Velasco**.- Rúbrica.

**NORMATIVA de AUSTRALIA**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en Australia:

- Estándar de calidad del aire en Australia  
( <http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-quality-standards> )

057110  
000470

**Australian Government**  
**Department of the Environment**

## Air quality standards

### On this page

[Ambient air quality standards](#)

[Emission standards](#)

[Air toxics](#)

### Ambient air quality standards

On 26 June 1998, the National Environment Protection Council (NEPC) made Australia's first national ambient air quality standards as part of the National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality (the 'Air NEPM').

The NEPC is a statutory body with law making powers established under the National Environment Protection Council Act 1994 (Commonwealth) and corresponding legislation in the other jurisdictions. The members of NEPC are Ministers, not necessarily environment Ministers, representing the participating jurisdictions (i.e. Commonwealth, State or Territory Governments).

The Air NEPM sets national standards for the six key air pollutants to which most Australians are exposed: carbon monoxide, ozone, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, lead and particles. Under the Air NEPM, all Australians have the same level of air quality protection.

The standards, which are set out below, are legally binding on each level of Government, and must be met by the year 2008. The Air NEPM requires the jurisdictions to monitor air quality and this helps to identify potential air quality problems. All jurisdictions commenced formal reporting against the Air NEPM standards in 2002.

<b>Pollutant</b>	<b>Averaging period</b>	<b>Maximum (ambient) concentration</b>	<b>Goal within 10 years (maximum allowable exceedences)</b>
Carbon monoxide	8 hours	9.0 ppm	1 day a year
Nitrogen dioxide	1 hour	0.12 ppm	1 day a year
	1 year	0.03 ppm	none
Photochemical oxidants (as ozone)	1 hour	0.10 ppm	1 day a year
	4 hours	0.08 ppm	1 day a year
Sulfur dioxide	1 hour	0.20 ppm	1 day a year
	1 day	0.08 ppm	1 day a year
	1 year	0.02 ppm	none
Lead	1 year	0.50 µg/m <sup>3</sup>	none
Particles as PM <sub>10</sub>	1 day	50 µg/m <sup>3</sup>	5 days a year



000470

VTA

The PM<sub>2.5</sub> Variation to the Air NEPM sets the following advisory reporting standards and goal for particles as PM<sub>2.5</sub>.

Pollutant	Averaging period	Maximum (ambient) concentration	Goal
Particles as PM <sub>2.5</sub>	1 day 1 year	25 µg/m <sup>3</sup> 8 µg/m <sup>3</sup>	Goal is to gather sufficient data nationally to facilitate a review of the standard as part of the review of this Measure scheduled to commence in 2005.

For more information on the Air NEPM, see our factsheet on [National Standards for Criteria Air Pollutants in Australia](#).

The full documentation of the Air NEPM and more information about the NEPC are available at [www.scew.gov.au](http://www.scew.gov.au).

## Emission standards

Australia does not have national air quality emissions standards. Environment protection authorities in individual States and Territories set such standards.

You may wish to contact the local State or Territory environment agency for details on the current emission controls/licence conditions imposed on facilities in their jurisdiction.

In addition, the publication 'Air Quality Regulations and Odour Management in Australia and New Zealand' provides a summary of the standards and air pollution legislation existing in Australia. This publication can be purchased from the Clean Air Society of Australia and New Zealand at their website located at [www.casanz.org.au](http://www.casanz.org.au).

## Air toxics

In December 2004, the National Environment Council (NEPC) made the National Environment Protection (Air Toxics) Measure (known as the 'Air Toxics NEPM') which establishes 'monitoring investigation levels' for 5 air toxics - benzene; formaldehyde; benzo(a)pyrene as a marker for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; toluene; and xylenes. Monitoring data gathered under the Air Toxics NEPM will inform future decisions on the management of these pollutants.

[More about the Air Toxics NEPM](#)



## **National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure**

**as amended**

made under section 20 of the

*National Environment Protection Council Act 1994 (Cwlth), National Environment Protection Council (New South Wales) Act 1995 (NSW), National Environment Protection Council (Victoria) Act 1995 (Vic), National Environment Protection Council (Queensland) Act 1994 (Qld), National Environment Protection Council (Western Australia) Act 1996 (WA), National Environment Protection Council (South Australia) Act 1995 (SA), National Environment Protection Council (Tasmania) Act 1995 (Tas), National Environment Protection Council Act 1994 (ACT) and the National Environment Protection Council (Northern Territory) Act 1994 (NT)*

---

This compilation was prepared on 7 July 2003  
taking into account amendments up to Variation 2003

Prepared by the Office of Legislative Drafting,  
Attorney-General's Department, Canberra

		Page
<b>Contents</b>		
<b>Introductory Note</b>		<b>3</b>
<b>Part</b>	<b>Preliminary</b>	
	1 Citation [see Note 1]	3
	2 Definitions	3
	3 Application	5
<b>Part 2</b>	<b>National environment protection goal</b>	
	4 Purpose of Part	6
	5 Desired environmental outcome	6
	6 National environment protection goal	6
<b>Part 3</b>	<b>National environment protection standards</b>	
	7 Purpose of Part	7
	8 National environment protection standards	7
<b>Part 4</b>	<b>National environment protection protocol</b>	
	9 Purpose of Part	8
	10 Monitoring plans	8
	11 Methods of measuring and assessing concentration of pollutants	8
	12 Accreditation of performance monitoring	8
	13 Location of performance monitoring stations	8
	14 Number of performance monitoring stations	9
	15 Trend stations	9
	16 Monitoring methods	9
	17 Evaluation of performance against standards and goal	10
	18 Reporting	10
<b>Schedule 1</b>	<b>Pollutants</b>	<b>11</b>
<b>Schedule 2</b>	<b>Standards and Goal</b>	<b>12</b>
<b>Schedule 3</b>	<b>Australian Standards Methods for Pollutant Monitoring</b>	<b>14</b>
<b>Schedule 4</b>	<b>Protocol for Monitoring PM<sub>2.5</sub></b>	<b>15</b>
	1 Location of monitoring for PM <sub>2.5</sub>	15
	2 Number of performance monitoring stations for PM <sub>2.5</sub>	15
	3 Monitoring methods for PM <sub>2.5</sub>	15
	4 Evaluation of monitoring for PM <sub>2.5</sub>	16
	5 Reporting	16
<b>Schedule 5</b>	<b>PM<sub>2.5</sub> Equivalence Program</b>	<b>18</b>
<b>Notes</b>		<b>19</b>

### Introductory Note

Section 14 of the *National Environment Protection Council Act 1994* and the equivalent provision of the corresponding Act of each participating State and Territory provides for the making of measures by the National Environment Protection Council and the matters to which they may relate. This Measure relates to ambient air quality (section 14 (1) (a)).

The Measure is to be implemented by the laws and other arrangements participating jurisdictions consider necessary: see section 7 of the Commonwealth Act and the equivalent provision of the corresponding Act of each participating State and Territory.

## Part 1 Preliminary

### 1 Citation [see Note 1]

This Measure may be cited as the National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure.

Note This Measure commences on gazettal: see *National Environment Protection Council Act 1994*, s 21 and *Acts Interpretation Act 1901*, s 48 as applied by s 46A.

### 2 Definitions

- (1) This clause defines particular words and expressions used in this Measure.
- (2) The words and expressions indicated by an asterisk are defined in the Commonwealth Act and are included for information only to assist readers of the Measure. Minor changes from the definitions in the Commonwealth Act are indicated by square brackets ([ ]).

#### (3) In this Measure:

**Advisory Reporting Standard** means a health-based standard to assess the results of monitoring for particles as PM<sub>2.5</sub>. These standards do not have a timeframe for compliance associated with them.

**\*Agreement** means the agreement made on 1 May 1992 between the Commonwealth, the States, the Australian Capital Territory, the Northern Territory and the Australian Local Government Association, a copy of which is set out in the Schedule [to the Commonwealth Act].

**ambient air** means the external air environment, it does not include the air environment inside buildings or structures.

**Commonwealth Act** means the *National Environment Protection Council Act 1994* of the Commonwealth.

**Continuous direct mass measurement technique** means a method for continuously monitoring suspended particulate matter changes of particles

**Section 2**

---

in ambient air, providing near real time measurement of mean particle concentration.

**Council** means the National Environment Protection Council established by section 8 of the Commonwealth Act and the equivalent provision of the corresponding Act of each participating State and Territory.

**Fire management** means all activities associated with the management of fire prone land, including the use of fire to meet land management goals and objectives.

**Manual gravimetric method** means a manual method for sampling particles by drawing air through a filter and determining the mass by weighing the filters.

**monitoring station** means a facility for measuring the concentration of one or more pollutants in the ambient air in a region or sub-region.

**\*national environment protection goal** means a goal:

- (a) that relates to desired environmental outcomes; and
- (b) that guides the formulation of strategies for the management of human activities that may affect the environment.

**\*national environment protection protocol** means a protocol that relates to the process to be followed in measuring environmental characteristics to determine:

- (a) whether a particular standard or goal is being met or achieved; or
- (b) the extent of the difference between the measured characteristic of the environment and a particular standard or a particular goal.

**\*national environment protection standard** means a standard that consists of quantifiable characteristics of the environment against which environmental quality can be assessed.

**\*participating jurisdiction** means the Commonwealth, a participating State or a participating Territory.

**\*participating State** means a State:

- (a) that is a party to the Agreement; and
- (b) in which an Act that corresponds to [the Commonwealth] Act is in force in accordance with the Agreement.

**\*participating Territory** means a Territory:

- (a) that is a party to the Agreement; and
- (b) in which an Act that corresponds to [the Commonwealth] Act is in force in accordance with the Agreement.

**particles as  $PM_{10}$**  means particulate matter with an equivalent aerodynamic diameter of 10 micrometres or less.

**Particles as  $PM_{2.5}$**  means particulate matter with an equivalent aerodynamic diameter of 2.5 micrometres or less.

**performance monitoring station** means a monitoring station used to measure achievement against the goal.

**pollutant** means a pollutant mentioned in Schedule 1.

**ppm** means parts per million by volume.

---

**Clause 3**

***principal Measure*** means the National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure.

***Reference method*** means the monitoring method used for collection of data that can be compared to the Advisory Reporting Standards.

***region*** means an area within a boundary surrounding population centres as determined by the relevant participating jurisdiction.

***sub-region*** means a populated area within a region whose air quality differs from other areas in the region due to the topography, meteorology and sources of pollutants.

***TEOM*** means tapered element oscillating microbalance.

**$\mu\text{g}/\text{m}^3$**  means microgram per cubic metre referenced to a temperature of 0 degrees Celsius and an absolute pressure of 101.325 kilopascals.

### **3 Application**

Participating jurisdictions must:

- (a) for carbon monoxide, nitrogen dioxide, photochemical oxidants (as ozone), sulfur dioxide, lead and particles as  $\text{PM}_{10}$  establish monitoring procedures and commence assessment and reporting in accordance with the Protocol in this Measure, within 3 years after its commencement;
- (b) for particles as  $\text{PM}_{2.5}$  undertake monitoring and reporting in accordance with Schedule 4 and Schedule 5 in this Measure.

**Section 4**

---

**Part 2 National environment protection goal****4 Purpose of Part**

The purpose of this Part is to set out a goal:

- (a) that relates to the desired environmental outcomes; and
- (b) that guides the formulation of strategies for the management of human activities that may affect the environment.

**5 Desired environmental outcome**

The desired environmental outcome of this Measure is ambient air quality that allows for the adequate protection of human health and well-being.

**6 National environment protection goal**

The National Environment Protection Goal of this Measure is:

- (a) for carbon monoxide, nitrogen dioxide, photochemical oxidants (as ozone), sulfur dioxide, lead and particles as PM<sub>10</sub> to achieve the National Environment Protection Standards as assessed in accordance with the monitoring protocol (Part 4) within ten years from commencement to the extent specified in Schedule 2 column 5; and
- (b) for particles as PM<sub>2.5</sub> to gather sufficient data to facilitate a review of the Advisory Reporting Standards as part of the review of this Measure scheduled to commence in 2005.

## **Part 3                      National environment protection standards**

### **7                      Purpose of Part**

The purpose of this Part is to set standards that consist of quantifiable characteristics of the air against which ambient air quality can be assessed.

### **8                      National environment protection standards**

- (1) The national environment protection standards of this Measure are the standards set out in Schedule 2.
- (2) For:
  - (a) each pollutant mentioned in table 1 of Schedule 2, the standard for an averaging period mentioned in the Schedule is the concentration in column 4 of table 1 of Schedule 2;
  - (b) particles as PM<sub>2.5</sub>, the Advisory Reporting Standard for an averaging period mentioned in the Schedule is the concentration in column 3 of table 2 of Schedule 2.



**Section 9**

---

**Part 4 National environment protection protocol**

**9 Purpose of Part**

The purpose of this Part is to set out the processes to be followed in measuring the concentration of pollutants in the air to determine:

- (a) whether the standards of this Measure are being met; or
- (b) the extent of the difference between the measured concentration of pollutants in the air and the standards.

**10 Monitoring plans**

- (1) Each participating jurisdiction must ensure that a monitoring plan consistent with this Part is prepared setting out how the jurisdiction proposes to monitor air quality for the purposes of this Measure.
- (2) Each monitoring plan must be submitted to Council.

**11 Methods of measuring and assessing concentration of pollutants**

For the purpose of evaluating performance against the standards the concentration of pollutants in the air:

- (a) is to be measured at performance monitoring stations; or

Note Because the concentrations of different pollutants vary across a region, it would not be necessary or appropriate to co-locate the measuring instrumentation for all pollutants at each performance monitoring station.

- (b) is to be assessed by other means that provide information equivalent to measurements which would otherwise occur at a performance monitoring station.

Note These methods could include, for example, the use of emission inventories, windfield and dispersion modelling, and comparisons with other regions.

**12 Accreditation of performance monitoring**

- (1) Subject to subclause (2) the operator of a performance monitoring station must be accredited by the National Association of Testing Authorities.
- (2) The operator may apply an equivalent system for ensuring adequate monitoring, quality assurance, and validation procedures.

**13 Location of performance monitoring stations**

- (1) To the extent practicable, performance monitoring stations should be sited in accordance with the requirements for Australian Standard AS2922-1987 (Ambient Air-Guide for Siting of Sampling Units). Any variations from AS2922-1987 must be notified to Council for use in assessing reports.

---

**Clause 16**

- (2) Performance monitoring station(s) must be located in a manner such that they contribute to obtaining a representative measure of the air quality likely to be experienced by the general population in the region or sub-region.
- (3) A performance monitoring station should be operated in the same location for at least 5 years unless the integrity of the measurements is affected by unforeseen circumstances.

**14 Number of performance monitoring stations**

- (1) Subject to subclauses (2) and (3) below, the number of performance monitoring stations for a region with a population of 25,000 people or more must be the next whole number above the number calculated in accordance with the formula:

$$1.5P + 0.5$$

where *P* is the population of the region (in millions).

- (2) Additional performance monitoring stations may be needed where pollutant levels are influenced by local characteristics such as topography, weather or emission sources.
- (3) Fewer performance monitoring stations may be needed where it can be demonstrated that pollutant levels are reasonably expected to be consistently lower than the standards mentioned in this Measure.

**15 Trend stations**

- (1) A number of performance monitoring stations in each participating State and participating Territory must be nominated as trend stations.
- (2) The number of performance monitoring stations to be nominated as trend stations must be sufficient to monitor and assess long term changes in ambient air quality in different parts of the jurisdiction.
- (3) A trend station must be operated in the same location for one or more decades.

**16 Monitoring methods**

- (1) Subject to subclauses (2) and (3) the Australian Standard Methods set out in Schedule 3 should be used for monitoring pollutants in the air.
- (2) Where an Australian Standard Method has not yet been developed for a monitoring method, appropriate internationally recognised methods or standards may be used that provide equivalent information for assessment purposes.
- (3) Other monitoring methods may be used if:
  - (a) calibration and validation studies show:
    - (i) the accuracy and precision of the other method; and

**Section 17**

---

- (ii) the method can be compared with the relevant Australian Standard Method; and
- (b) the equipment used is calibrated to the standard required by the equipment manufacturer; and
- (c) the equipment provides equivalent information for assessment purposes.

**17 Evaluation of performance against standards and goal**

- (1) Each participating jurisdiction must evaluate its annual performance as set out in this clause.
- (2) For each performance monitoring station in the jurisdiction or assessment in accordance with subclause 11 (b) there must be:
  - (a) a determination of the exposed population in the region or sub-region represented by the station; and
  - (b) an evaluation of performance against the standards and goal of this Measure as:
    - (i) meeting; or
    - (ii) not meeting; or
    - (iii) not demonstrated.
- (3) Jurisdictions may provide an evaluation of a region as a whole against the standards using appropriate methodologies that provide equivalent information for assessment purposes.
- (4) Performance must be evaluated as 'not demonstrated' if there has been no monitoring or no assessment by an approved alternative method as provided in clause (11).

**18 Reporting**

- (1) Each participating jurisdiction must submit a report on its compliance with the Measure in an approved form to Council by the 30 June next following each reporting year.
- (2) In this clause *reporting year* means a year ending on 31 December.  
The report must include:
  - (a) the evaluations and assessments mentioned in clause 17; and
  - (b) an analysis of the extent to which the standards of this Measure are, or are not, met in the jurisdiction; and
  - (c) a statement of the progress made towards achieving the goal.
- (3) The description of the circumstances which led to exceedences, including the influence of natural events and fire management, must be reported to the extent that such information can be determined.
- (4) A report for a pollutant must include the percentage of data available in the reporting period.

**Schedule 1      Pollutants**

Carbon monoxide

Nitrogen dioxide

Photochemical Oxidants (as Ozone)

Sulfur dioxide

Lead

Particles

## Schedule 2 Standards and Goal

**Table 1: Standards and Goal for Pollutants other than Particles as PM<sub>2.5</sub>**

Column 1 Item	Column 2 Pollutant	Column 3 Averaging period	Column 4 Maximum concentration	Column 5 Goal within 10 years Maximum allowable exceedences
1	Carbon monoxide	8 hours	9.0 ppm	1 day a year
2	Nitrogen dioxide	1 hour 1 year	0.12 ppm 0.03 ppm	1 day a year none
3	Photochemical oxidants (as ozone)	1 hour 4 hours	0.10 ppm 0.08 ppm	1 day a year 1 day a year
4	Sulfur dioxide	1 hour 1 day 1 year	0.20 ppm 0.08 ppm 0.02 ppm	1 day a year 1 day a year none
5	Lead	1 year	0.50 µg/m <sup>3</sup>	none
6	Particles as PM <sub>10</sub>	1 day	50 µg/m <sup>3</sup>	5 days a year

**Table 2: Advisory Reporting Standards and Goal for Particles as PM<sub>2.5</sub>**

Column 1 Pollutant	Column 2 Averaging Period	Column 3 Maximum Concentration	Column 4 Goal
Particles as PM <sub>2.5</sub>	1 day 1 year	25 µg/m <sup>3</sup> 8 µg/m <sup>3</sup>	Goal is to gather sufficient data nationally to facilitate a review of the Advisory Reporting Standards as part of the review of this Measure scheduled to commence in 2005

For the purposes of this Measure the following definitions shall apply:

- (1) Lead sampling must be carried out for a period of 24 hours at least every sixth day.
- (2) Measurement of lead must be carried out on Total Suspended Particles (TSP) or its equivalent.
- (3) In Column 3, the averaging periods are defined as follows:
  - 1 hour clock hour average
  - 4 hour rolling 4 hour average based on 1 hour averages
  - 8 hour rolling 8 hour average based on 1 hour averages
  - 1 day calendar day average
  - 1 year calendar year average

- 
- (4) In Column 5, the time periods are defined as follows:
    - day calendar day during which the associated standard is exceeded
    - year calendar year.
  - (5) All averaging periods of 8 hours or less must be referenced by the end time of the averaging period. This determines the calendar day to which the averaging periods are assigned.
  - (6) For the purposes of calculating and reporting 4 and 8 hour averages, the first rolling average in a calendar day ends at 1.00 am, and includes hours from the previous calendar day.
  - (7) The concentrations in Column 4, are the arithmetic mean concentrations.

### Schedule 3 Australian Standards Methods for Pollutant Monitoring

Pollutant	Method title	Method number
Carbon monoxide	Determination of Carbon Monoxide-Direct Reading Instrumental Method	AS3580.7.1-1992
Nitrogen dioxide	Determination of Oxides of Nitrogen-Chemiluminescence Method	AS3580.5.1-1993
Photochemical oxidants (as ozone)	Determination of Ozone-Direct Reading Instrumental Method	AS3580.6.1-1990
Sulfur dioxide	Determination of Sulfur Dioxide-Direct Reading Instrumental Method	AS3580.4.1-1990
Lead	Determination of Particulate Lead-High Volume Sampler Gravimetric Collection-Flame Atomic Absorption Spectrometric Method	AS2800-1985
	Determination of Total Suspended Particulates (TSP) - High Volume Sampler Gravimetric Method	AS2724.3-1984
Particles as PM <sub>10</sub>	Determination of Suspended Particulate Matter-PM <sub>10</sub> High Volume Sampler with Size Selective Inlet-Gravimetric Method	AS3580.9.6-1990
	Determination of Suspended Particulate Matter-PM <sub>10</sub> Dichotomous Sampler-Gravimetric Method	AS3580.9.7-1990

## Schedule 4 Protocol for Monitoring PM<sub>2.5</sub>

*Note* Clauses 11 to 18 of the Measure are not to be applied to PM<sub>2.5</sub>. This Schedule sets out all applicable requirements for PM<sub>2.5</sub>.

### 1 Location of monitoring for PM<sub>2.5</sub>

Measurement and assessment of the concentration of PM<sub>2.5</sub> in the air is to be undertaken at existing or planned performance monitoring stations specified for particles as PM<sub>10</sub> under this Measure as selected by participating jurisdictions.

### 2 Number of performance monitoring stations for PM<sub>2.5</sub>

- (1) Each participating jurisdiction will establish at least one monitoring location for PM<sub>2.5</sub> and commence monitoring in accordance with the Table below.

#### Dates for Commencement of PM<sub>2.5</sub> Monitoring in Participating Jurisdictions

Jurisdiction	Commencement Date
New South Wales	1 January 2004
Victoria	1 January 2004
Queensland	1 January 2004
Western Australia	1 January 2004
South Australia	1 January 2004
Tasmania	1 July 2004*
Australian Capital Territory	1 July 2004*
Northern Territory	1 July 2004*

\* These jurisdictions must commence monitoring on 1 July 2004 if resources are available and, if not, as soon as resources become available to ensure sufficient data are collected to inform the review of this Measure scheduled to commence in 2005.

- (2) Jurisdictions are encouraged to introduce monitoring for PM<sub>2.5</sub> at as many performance monitoring stations for PM<sub>10</sub> as practicable. The extent of such monitoring may vary depending on the requirements and resources of the jurisdiction.

### 3 Monitoring methods for PM<sub>2.5</sub>

- (1) The reference methods for monitoring particles as PM<sub>2.5</sub> are reference, Class 1 and Class 2 equivalent manual gravimetric methods designated in the USEPA Federal Reference Method (USEPA reference method; *US Code of Federal Regulations Title 40 Part 50 Appendix L Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM<sub>2.5</sub> in the Atmosphere*).



- 
- (2) Continuous direct mass methods using a tapered element oscillating microbalance may also be used in addition to the reference method, however the values obtained by using these methods cannot be used for comparison with the Advisory Reporting Standards until the outcomes of the PM<sub>2.5</sub> Equivalence Program (Schedule 5) have been formally included in the Principal Measure.
  - (3) To enable the development of equivalent methods for monitoring PM<sub>2.5</sub> as part of the review of this Measure scheduled to commence in 2005, collocation of continuous direct mass monitors and reference samplers must be undertaken at a limited number of sites in accordance with Schedule 5.
  - (4) Participating jurisdictions must reach agreement on the collocation of samplers to ensure that, nationally, a minimum of nine locations house collocated samplers and annual reporting to Council must include information on the collocation of samplers.

#### **4 Evaluation of monitoring for PM<sub>2.5</sub>**

- (1) Each participating jurisdiction must evaluate its monitoring results for PM<sub>2.5</sub> in accordance with this clause.
- (2) For each PM<sub>2.5</sub> performance monitoring station in the jurisdiction there must be:
  - (a) a determination of the exposed population in the region or sub-region monitored by the station; and
  - (b) a report on whether the PM<sub>2.5</sub> Advisory Reporting Standards of this Measure, as measured by the reference method, have been met.

#### **5 Reporting**

- (1) Each participating jurisdiction must submit a report on PM<sub>2.5</sub> monitoring and data assessment in accordance with this clause to Council by the 30 June next following each reporting year.
- (2) In this clause *reporting year* means a year ending on 31 December.
- (3) The first report to Council will be for the 2003 reporting year for data currently being collected by jurisdictions.
- (4) The report must include:
  - (a) an evaluation and assessment of all PM<sub>2.5</sub> data collected by the reference method;
  - (b) the evaluations and assessments outlined in clause 4 of this Schedule;
  - (c) the number of times the monitored values (by the reference method) are greater than the Advisory Reporting Standards of this Measure;
  - (d) all other PM<sub>2.5</sub> data collected by other acceptable methods as outlined in this Schedule; and
  - (e) the maximum 24-hour concentration of PM<sub>2.5</sub> in each jurisdiction collected by any method specified in Schedule 4 of this Variation.

- 
- (5) A description of the circumstances that led to monitored values (by the reference method) being greater than the Advisory Reporting Standards including the influence of natural events and fire management, must be reported to the extent that such information can be determined.
  - (6) The report must include the percentage of data available in the reporting period.

## Schedule 5 PM<sub>2.5</sub> Equivalence Program

- (1) Jurisdictions must undertake monitoring with collocated instruments for the purpose of determining equivalent methods for monitoring PM<sub>2.5</sub> in accordance with the Table in this Schedule and the requirements specified in the Technical Paper on Monitoring and Reporting for Particles as PM<sub>2.5</sub>.
- (2) At locations where reference method samplers are to be used, there is no requirement for equivalence studies to be undertaken, except where such locations have been designated as collocation sites.
- (3) If alternative PM<sub>2.5</sub> monitoring methods are used, equivalence between the reference method and the alternative method must be demonstrated by collocation of samplers over a three-year period.
- (4) For jurisdictions undertaking equivalence monitoring, there must be at least one collocation site with a reference sampler run on a daily basis (preferred) or on a 1-in-3 day operation (minimum requirement).
- (5) Data availability must exceed 75% and it is recommended that higher data recovery be achieved during seasons with expected elevated particle loadings.
- (6) To ensure national consistency with regard to the collection of PM<sub>2.5</sub> data, monitoring must be done in accordance with procedures specified in the Technical Paper on Monitoring and Reporting for Particles as PM<sub>2.5</sub>.

### Sites Proposed for the Equivalence Program

Jurisdiction	Site	Sampling Frequency (reference sampler)	Sampling Period	Alternative Method	Commencement Date
New South Wales	Earlwood	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 January 2004
	Richmond	1 in 3 days	3 years		
Victoria	Alphington	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 January 2004
	Mooroolbark	1 in 3 days	3 years		
Queensland	Springwood	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 January 2004
	Rocklea	1 in 3 days	3 years		
Western Australia	Duncraig	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 January 2004
South Australia	Netley	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 January 2004
Tasmania	Launceston	1 in 3 days	3 years	PM <sub>2.5</sub> TEOM	1 July 2004

## Table of Instruments

## Notes to the National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure

### Note 1

The National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure (in force under section 20 of the *National Environment Protection Council Act 1994* (Cwlth), *National Environment Protection Council (New South Wales) Act 1995* (NSW), *National Environment Protection Council (Victoria) Act 1995* (Vic), *National Environment Protection Council (Queensland) Act 1994* (Qld), *National Environment Protection Council (Western Australia) Act 1996* (WA), *National Environment Protection Council (South Australia) Act 1995* (SA), *National Environment Protection Council (Tasmania) Act 1995* (Tas), *National Environment Protection Council Act 1994* (ACT) and the *National Environment Protection Council (Northern Territory) Act 1994* (NT)) as shown in this compilation is amended as indicated in the Tables below.

### Table of Instruments

Title	Date of notification in Gazette	Date of commencement	Application, saving or transitional provisions
<i>National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure</i>	8 July 1998 (see c. 1 and Gazette 1998, No. GN27)	8 July 1998	
<i>National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure Variation, 2003</i>	2 June 2003 (see c. 1 and Gazette 2003, No. S190)	2 June 2003	—

000480

VTA.

**Table of Amendments**

---

**Table of Amendments**

ad. = added or inserted    am. = amended    rep. = repealed    rs. = repealed and substituted

---

<b>Provision affected</b>	<b>How affected</b>
C. 2 .....	am. Variation 2003
C. 3 .....	am. Variation 2003
C. 6 .....	am. Variation 2003
C. 8 .....	am. Variation 2003
Schedule 2 .....	am. Variation 2003
Schedule 4 .....	ad. Variation 2003
Schedule 5 .....	ad. Variation 2003

---

**NORMATIVA de COREA DEL SUR**

A continuación se adjunta información relacionada con el dióxido de azufre en Corea del Sur:

- Estándar de calidad del aire de Corea del Sur.  
( <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=253&findDepth=1> )

000482

# ECOREA

Environmental Review 2011, Korea



MINISTRY OF ENVIRONMENT  
REPUBLIC OF KOREA

# CONTENTS

The Minister's Message	4
1. Overview of Korea	6
2. The Status and Trend of Environmental Quality	8
2-1. Nature	10
2-2. Air	18
2-3. Water	21
2-4. Soil	24
2-5. Waste	25
2-6. Chemicals	27
3. Environmental Issues and Measures	28
3-1. Nature Conservation and Biodiversity	30
3-2. Climate Change	39
3-3. Air Quality Management	44
3-4. Water Environment Management	49
3-5. Waste Resources Management	54
3-6. Environmental Health & Chemicals Management	59
3-7. Green Growth	66
3-8. International Environmental Cooperation	71
Leading Environmental Policies 2010	84
4-1. Green Card	86
4-2. Four Major Rivers Restoration Project	91
4-3. Green City Pilot Project in Gangneung	98
4-4. Eco-friendly Food Culture	103
5. Subsidiary & Affiliated Organizations	108
5-1. National Institute of Environmental Research	110
5-2. National Institute of Environmental Human Resources Development	113
5-3. Korea Environment Corporation	117
5-4. Korea National Park Service	120
5-5. SUDOKWON Landfill Site Management Corporation	124
5-6. Korea Environmental Industry & Technology Institute	127
6. Main Events in 2010	130
7. Appendix	162
7-1. Environmental Administrative Mechanism	162
7-2. Environmental Quality Standard	163
7-3. Project Status of Environmental Policy	165





## 7-2. Environmental Quality Standards

### Air

Sulfur Dioxide (SO <sub>2</sub> )	$\leq 0.02$ ppm (an annual average) $\leq 0.05$ ppm (24-hr average) $\leq 0.15$ ppm (1-hr average)
Carbon Monoxide (CO)	$\leq 9$ ppm (8-hr average) $\leq 25$ ppm (1-hr average)
Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> )	$\leq 0.03$ ppm (an annual average) $\leq 0.06$ ppm (24-hr average) $\leq 0.1$ ppm (1-hr average)
Particulate Matters (PM10)	$\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (an annual average) $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24-hr average)
Ozone (O <sub>3</sub> )	$\leq 0.06$ ppm (8-hr average) $\leq 0.1$ ppm (1-hr average)
Lead (Pb)	$\leq 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (an annual average)
Benzene	$\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (an annual average; to be applied from 2010)

Note : 1. 1-hr average: the 999th percentile value less than the standard

8-hr and 24-hr average: the 99th percentile value less than the standard

2. PM10 stands for Particulate Matter of less than 10 millionths of a metre (10 micrometers or 10 $\mu\text{m}$ ) in diameter.

### Noise

(Leq dB(A))

General Area	Exclusively Residential Zone	50	40
	General Residential Zone	55	45
	Commercial Zone	65	55
	Industrial Zone	70	65
Roadside Area	Residential Zone	65	55
	Commercial Zone	70	60
	Industrial Zone	75	70

## MAJOR POLICIES

[Climate Change](#)[Air](#)[Water Environment](#)[Waterworks, Sewage, and  
Drinking Water](#)[Soil and Groundwater](#)[Environmental Health](#)[Waste](#)[Nature and Land](#)[International Environmental  
Cooperation](#)[Green Economy](#)[Home](#) > [MAJOR POLICIES](#) > [Air](#) > [Key Facts and Trends](#) > [Air Quality Standards and Air Pollution Level](#)

TOP

## Air Quality Standards and Air Pollution Level

PRINT

Korea has set air quality standards for key air pollutants as policy objectives on air quality control and has been making efforts to satisfy these standards. Air quality standards on sulfur dioxide gas (SO<sub>2</sub>) were first introduced in February 1978, followed by standards on carbon monoxide, nitrogen dioxide, total suspended particles (TSP), ozone, and hydrocarbons in 1983, standards on lead in 1991, and standards on PM<sub>10</sub> fine particles in 1995. Standards on benzene were newly introduced in 2010. Additional standards on PM<sub>2.5</sub> fine particles were enacted in March 2011 and will be applicable from 2015. Environmental standards have been progressively tightened for sulfur dioxide gas in 1995 and 2001, carbon monoxide in 1995, PM<sub>10</sub> fine particles in 2001 and 2007, and nitrogen dioxide in 2007 to pursue higher air quality goals. The current air quality standards that have been applicable since 2011 are as presented in <Table 2-5>.

<Figure 2-1> shows the trend in national air pollution level over the past 15 years. Concentrations of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and Pb are continuously decreasing, and this appears to be the outcome of the government's air quality management policies, including improvement of Seoul Metropolitan air quality (November 2005), increased supply of clean fuels such as low sulfur oil and LNG, supply of lead-free gasoline, and tighter emissions regulations. On the other hand, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations are yet to improve due to rising temperatures caused by climate change and increased number of vehicle registrations.

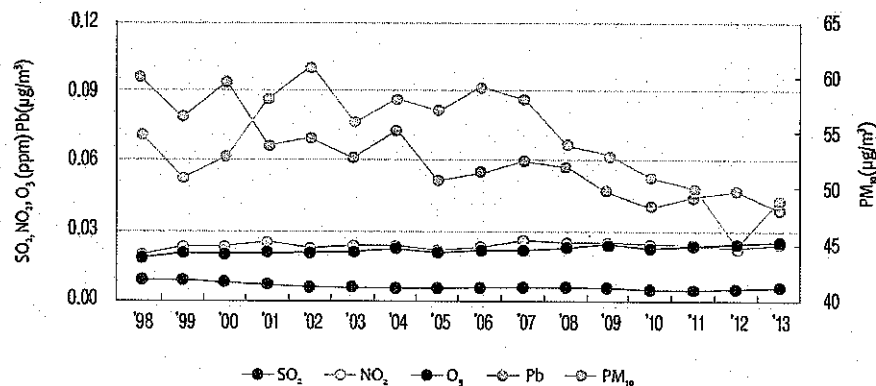
In terms of the national average air pollution level in 2013, the SO<sub>2</sub> concentration is 0.006ppm and has been maintained at less than one-third of the air quality standard of 0.02ppm for more than 10 years. At 0.024ppm, NO<sub>2</sub> has also been kept below the air quality standard of 0.03ppm strengthened in 2007. The atmospheric lead (Pb) concentration is 0.0391µg/m<sup>3</sup> (based on PM<sub>10</sub><sup>3)</sup>, which is only one-tenth of the air quality standard of 0.5µg/m<sup>3</sup>. However, PM<sub>10</sub>, at 49µg/m<sup>3</sup>, is only barely below the air quality standard of 50µg/m<sup>3</sup>.

3) Based on PM10. Lead concentration was measured based on TSP until 2012, but PM10 standards are applied as of 2013.

<Table 2-5> Air Quality Standards

Item	Standard
Sulfur dioxide gas (SO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 0.02ppm</li> <li>24-hour average of not more than 0.05ppm</li> <li>Hourly average of not more than 0.15ppm</li> </ul>
Carbon monoxide (CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>8-hour average of not more than 9ppm</li> <li>Hourly average of not more than 25ppm</li> </ul>
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 0.03ppm</li> <li>24-hour average of not more than 0.06ppm</li> <li>Hourly average of not more than 0.1ppm</li> </ul>
Fine particles	PM <sub>10</sub> <ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 50µg/m<sup>3</sup></li> <li>24-hour average of not more than 100µg/m<sup>3</sup></li> </ul>
	PM <sub>2.5</sub> <ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 25µg/m<sup>3</sup></li> <li>24-hour average of not more than 50µg/m<sup>3</sup> (applicable from 2015)</li> </ul>
Ozone (O <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>8-hour average of not more than 0.06ppm</li> <li>Hourly average of not more than 0.1ppm</li> </ul>
Lead (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 0.5µg/m<sup>3</sup></li> </ul>
Benzene	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annual average of not more than 5µg/m<sup>3</sup></li> </ul>

Fig. 2-1 National Air Pollution Level Trend



Note : Pb concentration is based on TSP until 2012 and based on PM10 from 2013

Survey of visitors' satisfaction

We would like to know how satisfied you are with our website in an attempt to provide more improved service. Please rate how satisfied you are with our website.

Very good
  Quite good
  Neither good nor bad
  Quite bad
  Very bad



**"Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>"**

FECHA: Jueves 27 de noviembre de 2014 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	Pedro Santic	Cochilco	PSANTIC@coahu...	22 5828268	
2	Pamela Aveland	MINECON	paveland@economia.cl	24735578	
3	Carmen G. Contreras	MMA			
4	Rosalba Ulloa	MMA	puullo@munajob.cl	22 5735780	
5	Cristián Ibarra	MMA	cibarras@mma.gob.cl	225735631	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					



**Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 27-11-2014	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	--

### 1. Participantes

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic Contreras	COCHILCO
2	Pamela Arellano	Ministerio de Economía
3	Carmen Gloria Contreras	Ministerio Medio Ambiente
4	Priscilla Ulloa M.	Ministerio Medio Ambiente
5	Cristián Ibarra F.	Ministerio Medio Ambiente

Justificaron inasistencia

N°	Nombre	Institución
1	Carolina Gómez	Ministerio de Energía
2	Pablo Salgado P.	Ministerio de Transporte
3	Walter Folch	Ministerio de Salud

### 2. Objetivo de la reunión

Debatir desde la perspectiva sectorial sobre los aspectos a considerar en la revisión de la norma y sobre antecedentes de los niveles de emergencia.

### 3. Temas Tratados

Se adjuntan a la presente acta la siguiente presentación:

- a) Presentación del representante del Ministerio del Medio Ambiente sobre los aspectos a considerar en la revisión de la norma y antecedentes de los niveles de emergencia.

000488

VTA.

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

#### **4. Resultados**

- Los episodios de corta duración son eventos excepcionales, que ocurren en un corto período de tiempo, donde concurren condiciones de baja ventilación y de alta concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire. Al reducir los episodios de corta duración se reduce la posibilidad de exposición de la población a altas concentraciones de dióxido de azufre y por ende se reducen los efectos agudos en la salud de la población.
- El representante de COCHILCO indica que para definir los plazos de la norma de calidad para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se deben considerar los plazos de implementación de la norma de emisión para fundiciones de cobre (D.S. 28/2013 MMA).
- Los representantes del Ministerio del Medio Ambiente indican que se deben distinguir dos aspectos importantes en la implementación de esta norma de calidad. Primero, es la armonización de esta norma con los otros instrumentos regulatorios como por ejemplo con la norma de emisión para fundiciones de cobre. Segundo, que la norma sea efectiva en reducir los episodios de contaminación de SO<sub>2</sub> y en transmitir oportunamente a las comunidades afectadas el riesgo asociado a los episodios. La ciudadanía está alerta de los mensajes por parte de las autoridades en la cual señalen que se está trabajando en solucionar sus problemas de contaminación.
- Se menciona la visita y entrevista programada para el 04 de diciembre del 2014 por el Sr. Cristián Ibarra, profesional del Departamento de Normas del Ministerio de Medio Ambiente a la profesional de medio ambiente de la I. Municipalidad de Quintero, Lizet Lobos. El objetivo de la entrevista es conocer la forma de cómo surge el Decreto Alcaldicio N°3437 del 26 de Agosto del 2014 de la I. Municipalidad de Quintero.
- Los representantes del Ministerio del Medio Ambiente plantean el concepto de equidad ambiental para proteger a la población de altas concentraciones de dióxido de azufre debido que existen evidencias toxicológicas. Se indica que se debe estimar el riesgo relativo de las concentraciones de dióxido de azufre en zonas vulnerables y someter los niveles propuestos a expertos de salud pública.
- El representante de COCHILCO consulta, ¿por qué existe una diferenciación entre la zona norte y la zona sur del país en los valores estándar de la norma secundaria para dióxido de azufre (D.S. 22/2010 MINSEGPRES)? Los representantes del Ministerio del Medio Ambiente explican que esta diferenciación se debe a la variedad en la calidad de los suelos en ambas zonas, principalmente porque a mayores concentraciones de dióxido de azufre se produce una mayor acidificación de los suelos en la zona sur, debido a la reactividad del SO<sub>2</sub> con la humedad.
- El representante de COCHILCO indica que la Fundición Chagres ya está cumpliendo la norma de emisión para fundiciones de cobre (D.S. 28/2013 MMA). Sin embargo, la Fundición Chagres está implementando tecnología para reducir sus emisiones de SO<sub>2</sub> en la planta de ácido, la cual estará implementada para el año 2016.

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

- En el caso de la fundición de Ventanas existe un pequeño porcentaje de mejora para alcanzar el porcentaje de captura que solicita la norma de emisión para fundiciones de cobre (D.S. 28/2013 MMA) y para el año 2016 debería estar cumpliendo, ya que su Plan de inversión ambiental será completado el año 2016.
- La representante del Ministerio de Economía y el representante de COCHILCO indican que se debe analizar la asignación de los costos de la implementación de la norma de calidad de SO<sub>2</sub> con criteriosidad y claridad, en particular, que el Análisis General de Impactos Económicos y Sociales de la norma sea autoexplicativo y reproducible.
- El representante de COCHILCO indica que un tema importante es definir la excedencia, si se define como el percentil 99 o un percentil 99,67 como la norma secundaria de SO<sub>2</sub>.
- La representante de Economía indica que le parece razonable la incorporación del estándar horario a la normativa, con un valor inferior a 500 µg/m<sup>3</sup>.
- El representante de COCHILCO indica que se debe armonizar la norma de calidad con la norma de emisión de fundiciones de cobre, el valor estándar horario de 500 µg/m<sup>3</sup> no produce mayor preocupación, pero si produce preocupación en las fundiciones los valores de niveles de emergencia que se vayan a considerar, tanto por el valor como por el período de exposición a establecer para las situaciones de emergencias.
- El representante de COCHILCO indica que la Fundición Ventanas cuenta con un sistema de predicción meteorológica que esta enlazado a su procedimiento de producción, se propone coordinar una visita a la Fundición Ventanas.

CGCF/PU/CIF/...



000490

# Reunión de Comité Operativo

Proceso de Revisión :

Norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Cristián Ibarra F.

Carmen Gloria Contreras F.

Priscilla Ulloa M.

Departamento de Normas

División de Calidad del Aire y Cambio Climático

Gobierno de Chile

27 de noviembre de 2014

## Reunión Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

### **Objetivo:**

**Debatir desde la perspectiva sectorial sobre los aspectos a considerar en la revisión de la norma y sobre antecedentes de los niveles de emergencia**

000490  
vra

# Contenido

1. Necesidad de armonizar/coordinar la aplicación de la norma primaria de SO<sub>2</sub> con otros instrumentos de gestión ambiental
2. Comparación de los valores estándar
3. Niveles de emergencia

3

**1. Necesidad de armonizar/coordinar la aplicación de la norma primaria de SO<sub>2</sub> con otros instrumentos de gestión ambiental**

## Armonización con otros instrumentos de gestión ambiental

1. Planes de prevención o descontaminación
2. Alertas sanitarias (amparadas código sanitario)
3. Sistema de evaluación de impacto ambiental
4. Normas de emisión u otras normas que tienen como efecto reducir SO<sub>2</sub>

5

### Instrumento de gestión ambiental y tipos de costos observados

Instrumentos de gestión ambiental que se relacionan con la cantidad y/o calidad de SO <sub>2</sub>	1. Costos administrativos de cumplimiento	2. Costos de cumplimiento	3. Costo financieros que se pagan a través de multas por no cumplimiento	4. Costos de vigilancia
1. Planes vigentes que incluyen reducciones de SO <sub>2</sub> y están siendo reformulados: Paipote, Ventanas, Chuquicamata, Caletones y Potrerillos.	SI	SI	SI	SI
2. Normas de emisión de termoeléctricas	SI	SI	SI	NO
3. Normas de emisión de fundiciones de cobre	SI	SI	SI	NO
4. Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial	SI	SI	NO	NO
5. Proyecto que ingresa al SEIA	SI	SI	SI	SI
6. Estándares de la norma primaria de SO <sub>2</sub>	SI	NO	NO	SI

6

000491

UNA

### Sobre los beneficios de los instrumentos que reducen SO2

Instrumentos de gestión ambiental relacionados con cantidad y calidad de SO2	¿Los beneficios fueron identificados?	¿Los beneficios fueron cuantificados o descritos cualitativamente?	¿Los beneficios fueron valorizados (\$)?
1. Planes vigentes que incluyen reducciones de SO2 y hoy están en proceso de reformulación	SI	SI	ALGUNOS BENEFICIOS
2. Norma de emisión de termoeléctricas	SI	SI	ALGUNOS
3. Normas de emisión de fundiciones de cobre	SI	SI	ALGUNOS
4. Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial	ALGUNOS	CUALITATIVO	NO
5. Evaluación de impacto ambiental (SEIA) de proyectos que aportan SO2	NO SUELE	NO	NO

7

### Relación entre los niveles de emergencia y los instrumentos de gestión ambiental

	Planes vigentes que incluyen reducciones de SO2	Alertas Sanitarias	Norma de emisión de termoeléctricas	Normas de emisión de fundiciones de cobre	Normas técnicas de combustibles para el sector transporte e industrial
¿A través de qué instrumento se podrían activar los niveles de emergencia?	SI	SI	NO	NO	NO
¿Existen costo de acciones informativas para cambiar conductas y minimizar la exposición? ¿Quién asume los costos?	SI El Estado	SI El Estado	NO	NO	NO
¿Se establecen en el instrumento para las fuentes reguladas exigencias en episodios de contaminación?	SI	SI	NO	NO	NO
¿Existen costos por parte de las fuentes o actividades económicas, para reducir las emisiones durante el episodio de emergencia?	SI	SI	NO	NO	NO
En la evaluación económica del instrumento ¿Se identificaron y evaluaron los costos por acciones a implementar durante episodios de emergencia?	Algunos costos fueron identificados y valorados	Solamente los costos en salud pública	NO	NO	NO

8

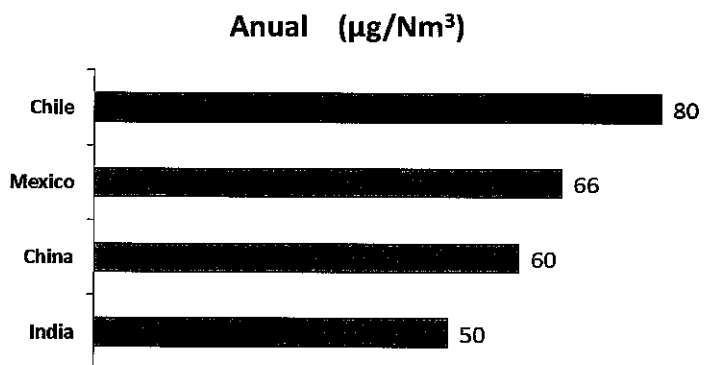
- La fundición Ventanas cumplió con todas las exigencias y plazos establecidos en el **plan**.
- De 1996 al 2002, la fundición redujo las emisiones de SO<sub>2</sub> en un 76% respecto a un escenario sin plan. Para esto, durante el mismo período, la fundición invirtió en promedio US\$1.137 por tonelada de azufre abatido. Al 2002, la fundición logró por la venta de ácido sulfúrico, recuperar la inversión y los costos ambientales estimados en US\$131,5 millones .
- Producto del cumplimiento de las exigencias del Plan, se registró una reducción de los **episodios de emergencia ambiental** por concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>. De 481 episodios ocurridos en 1996, se constato **1 episodio de alta contaminación el año 2010**.
- Al 2014, la fundición implementa un **nuevo plan de inversión** con el fin de dar cumplimiento a las exigencias contenidas en la **norma de emisión** para fundiciones de cobre.

## 2. Comparación de los valores estándar

000492  
✓ 1/1

## Comparación de estándar anual de SO<sub>2</sub>

Escenario
Anual (µg/Nm <sup>3</sup> )
Mantener 80
60



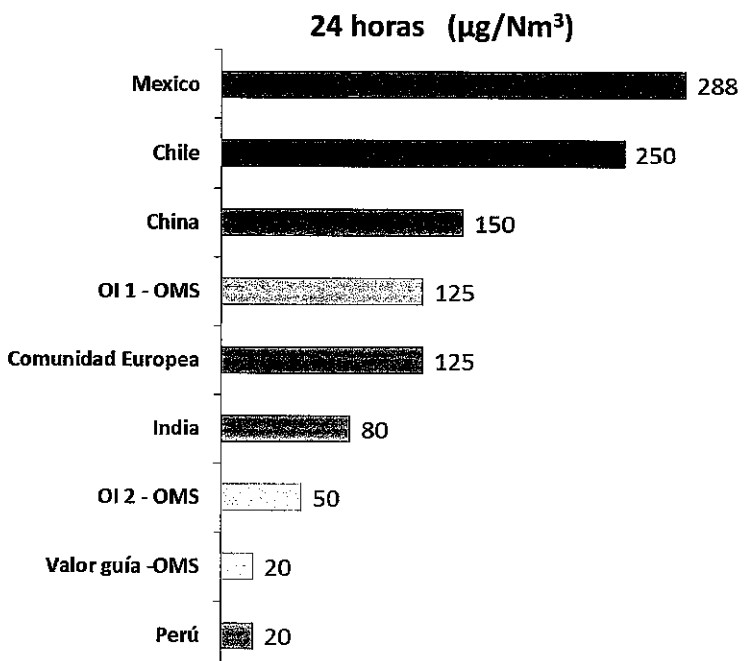
Sin estándar anual

- Comunidad Europea (28 países)
- Estados Unidos

11

## Comparación de estándar 24 horas de SO<sub>2</sub>

Escenario
24 horas (µg/Nm <sup>3</sup> )
150
125



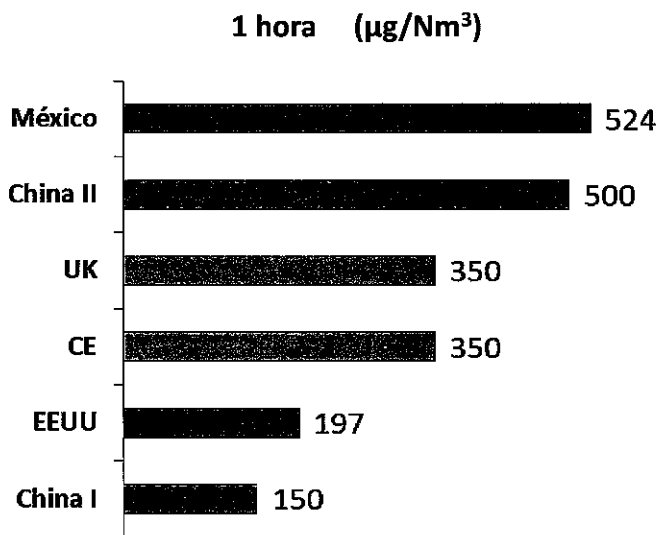
CE: Comunidad Europea 28 países

12

# Comparación de estándar de 1 hora de SO<sub>2</sub>

**CHILE carece de estándar de 1 hora**

Escenario 1 hora (µg/Nm <sup>3</sup> )
500
350
197



CE : Comunidad Europea 28 países  
 China I : Corresponde a zonas protegidas  
 China II: Corresponde a zonas urbanas

## Comparación entre estándares de calidad de dióxido de azufre

Organismo/País	10 minutos (µg/m <sup>3</sup> )	1 hora (µg/m <sup>3</sup> )	24 horas (µg/m <sup>3</sup> )	Anual (µg/m <sup>3</sup> )
Organización Mundial de Salud (OMS)	500	--	20	--
OMS Objetivo Intermedio 1	--	--	125	--
OMS Objetivo Intermedio 2	--	--	50	--
Estados Unidos (primaria)	--	197	--	--
Comunidad Europea (primaria)	--	350	125	--
China I	--	150	50	20
China II	--	500	150	60
México	--	524	288	66
Chile primaria	--	--	--	30
Chile secundaria zona norte	--	1.000	365	80
Chile secundaria zona sur	--	700	260	68

000493

VIA

## Propuesta de estándares Escenarios Regulatorios

	1 hora	24 horas	Anual	Comentario
<b>Base</b>	— (1000/700)	250 (365/260)	80 (80/60)	Valor estándar norma primaria (Norte/sur) Norma secundaria
<b>E1</b>	197	—	—	El nivel horario es tan estricto que no requiere establecer estándar de 24 horas y anual.
<b>E2</b>	350	125	60	1 hora: Estándar CE 24 horas: primer objetivo intermedio OMS Anual: norma secundaria Chile
<b>E3</b>	500	150	60	1 hora/24 horas: China zona urbana Anual: equivalente a norma secundaria

15

## Cronograma de la implementación de instrumentos que reducen concentraciones de SO<sub>2</sub>

Instrumento regulatorio	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Termoeléctricas											
Reducción de SO <sub>2</sub> (23 de junio 2016)											
Fundiciones											
Reducción de SO <sub>2</sub> (12 de diciembre del 2018)											
País											
Combustibles transporte S < 15 ppm											
RM											
Combustibles transporte S < 15 ppm											
País											
Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM											
Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM: Combustibles industria											
FUEL 5 - 6 1% de S											
País: Combustible industria											
FUEL 5 - 6 : de 5% paso a 3% de S											

En vigencia  
instrumentos regulatorios

16



### 3. Niveles de emergencia

### Niveles de emergencia

La ley de Bases del Medio Ambiente establece que las normas primarias “definirán los niveles que originan situaciones de emergencias”. Sin establecer ninguna definición ni característica para ellos (Ley 19.300, Artículo 32)

#### Preguntas:

- a) ¿Cuáles son los objetivos de los niveles de emergencia?
- b) ¿A través de qué instrumento se activan?
- c) ¿Toda norma primaria requiere establecer niveles de emergencia?

000494  
U7A

### a) ¿Cuáles son los objetivos de los niveles de emergencia?

- A nivel local e internacional, se usan los niveles de emergencia para **gestionar acciones durante episodios de corta duración y de altos niveles de contaminación.**
- **Evitar efectos** de contaminación en situaciones excepcionales, no permanentes ni recurrentes.
- **Informar a la población** para que adopte conductas que minimicen la exposición.
- Niveles independientes de los estándares.

19

### b) ¿A través de qué instrumento se activan?

- **Planes de descontaminación y de prevención y alertas sanitarias**

### c) ¿Toda norma primaria requiere establecer niveles de emergencia?

- No, depende del tipo y vía de exposición del contaminante.
- El origen de los valores de emergencia surge desde evidencia toxicológica.

20

# Ejemplo de algunos modelos para informar a la población y reducir la exposición frente a eventos de corta duración 000495

## Niveles de emergencia de Chile

- Chile establece 3 niveles de emergencia utilizando concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

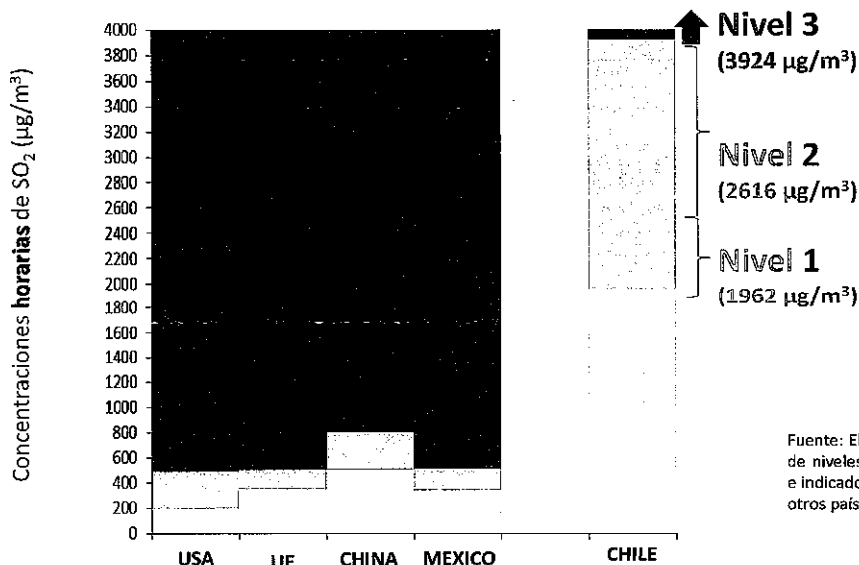
(DS185/92; DS113/ <http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=>)

## Indicadores de calidad del aire (AQI)

- Estados Unidos utiliza concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) hasta el **Nivel Insalubre** (rojo). En los siguientes niveles: **Muy Insalubre** y **Peligroso** utiliza concentraciones de 24 horas. (<http://www.airnow.gov/>)
- China basa la construcción de sus AQI en un algoritmo semejante al de Estados Unidos, también utiliza concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). (<http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqjhjh/jcgrffbz/201203/W020120410332725219541.pdf>)
- Reino Unido comúnmente usa el *Daily Air Quality Index* recomendado por Committee on Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP), el cual contiene 10 puntos (*break points*) agrupados en 4 bandas y utiliza concentraciones 15 minutos de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). (<http://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqj>)

21

## Comparación entre los niveles de emergencia utilizados a nivel internacional y nacional



Fuente: Elaboración propia a partir de niveles de emergencia de Chile e indicadores de calidad del aire de otros países.

Bueno	Nivel en que no se aprecian impactos en salud.
Moderado	Nivel aceptable, de cuidado para grupos vulnerables.
Insalubre población sensible	Nivel crítico para grupos vulnerables, produce irritaciones y efectos de salud en los grupos sensibles.
Insalubre	Nivel muy crítico para grupos vulnerables, repercusiones nocivas en miembros de grupos de riesgo (niños, de edad avanzada o personas débiles), también causa molestias desagradables en el público en general.
Muy Insalubre	Nivel que puede tener un grave impacto en miembros de grupos de riesgo en caso de exposición aguda.
Peligroso	Nivel que puede tener efectos nocivos sobre la población en general.

000495

v-^

Los valores de emergencia vigentes de la Norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub>, no logran el objetivo que se proponen, por lo tanto, **no protegen a la población.**

Se fundamenta en la evidencia científica disponible tanto de la epidemiología como de la toxicología; y también al comparar los valores de emergencia de la norma con otros valores o indicadores de emergencia usados a nivel internacional.

23

## MUCHAS GRACIAS

Más información contactar al coordinador:

Cristián Ibarra F.

[cibarra@mma.gob.cl](mailto:cibarra@mma.gob.cl)

**Entrevista a representantes de la I. Municipalidad de Quintero  
sobre el Decreto Alcaldicio N°3437/2014**

Fecha de reunión: 04-12-2014	Hora: 12:00 a 13:30	Lugar: Oficina de la Unidad de Medio Ambiente, I. Municipalidad de Quintero, Av. Normandie 1916, Quintero, Región de Valparaíso
---------------------------------	------------------------	--

**Objetivo de la reunión**

Recopilar información sobre el origen del Decreto Alcaldicio N°3437/2014, a través de una entrevista a las encargadas del tema medioambiental en la Ilustre Municipalidad de Quintero.

El Decreto Alcaldicio N°3437/2014 aprueba un protocolo en los Establecimientos Educativos Municipales de la Comuna de Quintero, estableciendo niveles de emergencia de dióxido de azufre en períodos de 15 minutos.

1.- Nombre de las personas entrevistadas.

- Lizet Lobos, ingeniera ambiental de la unidad de medio ambiente de la I. Municipalidad de Quintero.
- Valeria Manríquez, ingeniera ambiental del área de educación ambiental del departamento de educación de la I. Municipalidad de Quintero.

2.- Nombre del actual alcalde:

Mauricio Carrasco Pardo, ejerce el cargo de alcalde de la I. Municipalidad de Quintero desde el 2012 y su actual período de alcalde termina en el 2016.

3.- ¿Cuáles son las principales actividades económicas de la comuna o zona?

- El complejo industrial que comprenden 19 empresas (entre otras Codelco División Ventanas, AES Gener, Puerto Ventanas, Planta Lubrificantes Copec, OXIQUM, GASMAR, ENAP, GNL Quintero, Cemento BioBio, etc.)
- Área comercial
- Pesquera
- Agrícola (flores, papas, etc.)
- Turismo en época estival

000496

v 7A

Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente

4.- ¿Cuánta población vive en la comuna?

Aproximadamente 26.000 personas (según proyección en la comuna de Quintero para el año 2012, [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/demograficas\\_vitales.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php)), pero en la época estival alcanza una población flotante de 120.000 personas.

5.- ¿Cuántas instalaciones de salud tiene la comuna?

Existen 2 instalaciones de salud

- i) Consultorio de Quintero "Adriana Cousiño", entrega el servicio de especialidades básicas, adicionalmente brinda una atención primaria integral a la población.  
Dirección: Aránguiz Tudela 380, Quintero. Teléfono: (56 - 32) 2578900  
Población asignada: 35.463 habitantes  
Tipo Hospital: Nivel Primario  
Dotación camas: 30  
(<http://www.ssvq.cl/htm/hospitales/hqro.htm>)  
Este consultorio cubre las necesidades de emergencia de la zona geográfica desde Con Cón por el sur y Maintencillo, por el norte lo que la interconecta con carreteras de importante tránsito.  
En los meses estivales se produce una llegada masiva de veraneantes a la comuna triplicando la población, este aumento considerable de personas conlleva a que la Unidad de Emergencia que normalmente atiende un promedio de 2.700 pacientes mensuales, en enero y febrero ésta aumenta a 5.000 consultas lo que se traduce en un gran esfuerzo que debe desplegar el personal para suplir y entregar una adecuada atención de salud de urgencia a esta población transitoria. Las personas asmáticas y niños van al consultorio cuando tienen una emergencia.
- ii) Posta de Salud Rural Loncura  
Dirección: Calle Chimbote 1900, Sector Loncura, Quintero, Chile  
Teléfono: 600 360 7777  
Tipo: Posta de Salud Rural  
Entrega servicios básicos (en Loncura existe una población importante de adultos mayores)

6.- ¿Cuántas instalaciones de educación tiene la comuna? (n° colegios, n° jardines infantiles, etc.)

En Quintero se encuentran 6 establecimientos de administración municipal, 1 de educación media y 5 de educación básica, de estos últimos 2 se encuentran en la zona rural. Además, se encuentran 4 jardines infantiles, ubicados en la zona urbana.

7.- ¿Cuáles son los principales problemas de la comuna o zona?

Los principales problemas de la zona son:

- a.- Una de las zonas más pobres del país.
- b.- Falta de conectividad, en especial durante la noche.
- c.- Delincuencia, droga.
- d.- Población vulnerable.
- e.- Nivel de deserción escolar importante.
- f.- Embarazo infantil.

En el plano medioambiental:

- a.- Contaminación de metales pesados en el área cercana del complejo industrial.
- b.- Contaminación del aire por dióxido de azufre y material particulado.
- c.- Falta fiscalización de los servicios.

8.- ¿Cuáles son los principales responsables de los problemas ambientales detectados en la zona?, ¿qué posición tienen los responsables de estos problemas?

El mayor responsable de la contaminación es el parque industrial, estos indican que cumplen con la normativa, pero por otro lado ocurren eventos de contaminación que afectan la salud de las personas y el deterioro del medioambiente.

La normativa chilena es permisiva, favoreciendo a las empresas, ya que los valores de concentraciones de la norma de dióxido de azufre son elevados, deberían estar más acordes con la normativa internacional.

9.- ¿Cómo ha reaccionado la comunidad frente a los problemas ambientales de la zona?, ¿cómo lo han hecho saber a la I. Municipalidad?

Las personas han reaccionado realizando diferentes acciones:

- i) Creación de un movimiento denominado "Salvemos Quintero", los cuales poseen un Facebook activo.
- ii) La comunidad ha realizado diferentes movilizaciones, como por ejemplo las marchas de los pescadores.

Existe una población que no quiere seguir asumiendo los costos de la contaminación, quiere vivir tranquila y que se realicen acciones concretas para mejorar su calidad de vida.

La población siente que la municipalidad es el organismo responsable de resolver sus problemas directos, no se aprecian otros organismos, por eso surge la idea del decreto alcaldicio para responder a la pregunta de la comunidad: ¿qué hace la municipalidad con respecto a los problemas medioambientales que afectan a la comunidad?

000497  
VTA

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

10.- ¿Qué grupos de la sociedad son los que manifiestan mayor preocupación por estos problemas ambientales? (juntas de vecinos, club deportivos, centros educacionales, ambientalistas, ONGs, etc.)

En general toda la ciudadanía se encuentra preocupada por los problemas ambientales sobre todo después del derrame de petróleo. Los negocios turísticos están preocupados por la percepción de una zona contaminada por parte de los potenciales turistas, los pescadores están alarmados por la contaminación de los recursos marinos, que corresponde a su fuente de sobrevivencia.

11.- ¿Qué piensan o han manifestado las municipalidades vecinas con respecto a los problemas ambientales que afligen a la zona?, ¿han trabajado en conjunto para encontrar una solución?

La relación con la municipalidad de Puchuncaví es fluida, pero no tan cercana. Se espera sociabilizar en algún momento el decreto alcaldicio con Puchuncavi-La Greda y Los Maitenes.

12.- ¿El Decreto Alcaldicio fue decidido por este alcalde?

A finales del 2011, el anterior alcalde de Quintero, José Varas, promovía un decreto o alguna acción para hacer frente a las inquietudes de la comunidad con respecto a la contaminación del medioambiente.

13.- ¿Cómo surgió la iniciativa del Decreto Alcaldicio N°3437 del 26 de Agosto del 2014?

Durante el mes de agosto del 2011, ocurre un evento en Quintero, donde se detectaron altos pics de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y a la vez mucha gente se preocupa por sentir mal olor en el aire, sintiendo olor a gas y con amargura en la boca.  
Ese día la municipalidad recibió 20 a 30 llamadas en el día pidiendo el respaldo de la municipalidad para enfrentar estos hechos, ya que ningún servicio entregaba alguna información a la comunidad, las redes sociales exigían que se realizara alguna acción, varias personas se acercan al alcalde y a los concejales directamente para solicitar alguna solución.  
Así, el alcalde le solicita al asesor jurídico que implemente algún decreto para responder a las necesidades de la comunidad.



Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente

14.- ¿Qué antecedentes se utilizaron para desarrollar el Decreto Alcaldicio?

- i) Durante un día del mes de agosto del 2011, se registró en la red de monitoreo de Ventanas (<http://www.redmonitoreoventanas.cl/>) una concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de alrededor de 1800 µg/m<sup>3</sup>, en ese mismo momento 30 alumnos de un colegio que realizaban educación física sintieron náuseas y vómitos. Las personas pensaron que se trataba de un escape de gas, ya que había un olor fuerte. Llegaron los bomberos, pero descartaron el escape de gas.
- ii) Las recomendaciones con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre de la página desarrollada por la SEREMI de Salud de la V Región (<http://seremi5.redsalud.gob.cl>, sistema de información en línea).

15.- ¿Qué área de la alcaldía o grupo de profesionales llevaron adelante la iniciativa del Decreto Alcaldicio N°3437/2014?

Principalmente las oficinas que llevaron a cabo la iniciativa del Decreto Alcaldicio N°3437/2014, fueron la oficina de medio ambiente, educación ambiental y jurídica.

16.- ¿Se ha difundido el Decreto Alcaldicio N°3437/2014 a la comunidad? ¿Cómo?

Sí, se ha difundido en los establecimientos de educación municipal, que es el grupo objetivo del decreto. Pero al resto de la comunidad no se ha difundido.

17.- ¿Han recibido observaciones de las autoridades (alcaldes, diputados, intendente, otros) respecto al Decreto Alcaldicio N°3437/2014?

No, porque no se ha difundido o sociabilizado al resto de la comunidad más allá del grupo objetivo.

18.- ¿Ha reaccionado la comunidad frente al Decreto Alcaldicio N°3437/2014?, ¿cómo la comunidad ha hecho saber a sus autoridades esta reacción?

No, pero los apoderados de los establecimientos educacionales han expresado que lo encuentran bueno.

No se ha informado ni actuado sobre las empresas porque la municipalidad no tiene potestad sobre ellas, por eso se apunta al grupo objetivo.

Se puede mencionar que niños intoxicados por dióxido de azufre no se han registrado en Quintero desde la implementación del decreto.

000498

UTA

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

19.- ¿Ha sido posible implementar el Decreto Alcaldicio N°3437/2014 con la comunidad?, ¿cómo?, ¿cuántas veces?, ¿tienen registros?

A pesar que no se tienen registros, se implementa todos los días hábiles de la siguiente forma: En las mañanas la encargada de medio ambiente de la municipalidad de Quintero revisa la página <http://seremi5.redsalud.gob.cl> y va a la pestaña que dice "Sistema de información en línea". Al revisar los valores de concentración se identifica cuál es el estado de calidad del aire con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), luego compara este valor con lo que indica el Decreto Alcaldicio N°3437/2014, procediendo a llamar telefónicamente a los establecimientos educacionales para indicar si paralizan o no las clases de educación física y/o actividades al aire libre. Generalmente el tiempo de paralización de las actividades es hasta las 10:00 hrs. debido a que se identifica que los pics de contaminación atmosférica en Quintero ocurren en la mañana, entre las 4:00 y 10:00 hrs., mientras en la comuna de Puchuncaví ocurren estos eventos en la tarde. Se puede mencionar que durante el 2014, han paralizado las clases de educación física en 6 ocasiones.

20.- ¿Han recibido alguna reacción de los principales responsables de la contaminación de la zona frente al Decreto Alcaldicio N°3437/2014?

No, solamente de los establecimientos educacionales, los directores lo encuentran fantástico. En un principio se había considerado que los directores revisarían la página web de la SEREMI de Salud de la V Región, pero ha tenido mejores resultados que la unidad de medio ambiente de la municipalidad de Quintero coordine la implementación del decreto alcaldicio N°3437/2014.

21.- ¿Han recibido observaciones de otros servicios públicos respecto al Decreto Alcaldicio?

Solamente han manifestado que consideran interesante la iniciativa y que es necesario que el instrumento sea validado.

22.- El Ministerio del Medio Ambiente está desarrollando una revisión de la norma de calidad del aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ¿qué esperarían de ella?

Se espera que esta nueva normativa tenga valores de concentración de dióxido de azufre más exigentes, que no se aleje tanto de la recomendación de la Organización Mundial de Salud (OMS) de 500 µg/m<sup>3</sup> en períodos de corta duración, ya que la actual norma es permisiva.

23.- ¿Qué consecuencias pretende o quiere evitar la I. Municipalidad con el Decreto Alcaldicio?

Las consecuencias que pretende la Municipalidad de Quintero evitar son:

- i) Consultas médicas de niños lleguen por afecciones respiratorias, costos en salud.
- ii) La exposición de la población a la contaminación por dióxido de azufre.
- iii) Que la población considere que la municipalidad no está realizando acciones.

24.- ¿Qué costos han identificado por la implementación del Decreto Alcaldicio?, ¿cuáles?

Algunos costos que se han identificado son:

- i) Pérdida de clases de educación física y los alumnos no cumplen el programa de educación en su cabalidad.
- ii) Pérdidas de horas hombre del profesor de educación física.
- iii) Costos de difusión y gastos generales (teléfono, internet, coordinación, etc.)

CIF/...





**AMPLIA PLAZO PARA PREPARACION DE ANTEPROYECTO PARA LA REVISIÓN DE NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DE AIRE PARA DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>), MONÓXIDO DE CARBONO (CO), OZONO (O<sub>3</sub>) Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>).**

SANTIAGO, 29 DIC 2014

RESOLUCION EXENTA N° 1366

**VISTOS:**

La Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; el Decreto Supremo N°38, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión; la Resolución Exenta N° 35, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, de fecha 18 de enero de 2010, publicada en el Diario Oficial el día 19 de marzo de 2010 y en el diario La Nación el día 21 de marzo de 2010, que dio inicio al proceso de revisión de las normas primarias de calidad de aire para dióxido de azufre (D.S. N°113 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República); monóxido de carbono (D.S. N°115 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República); ozono (D.S. N°112 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República) y dióxido de nitrógeno (D.S. N°114 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República). Las resoluciones exentas números 16 de 19 de octubre de 2010, 1696 de 30 de diciembre 2011, 1090 de 27 de diciembre de 2012 y 1109 de 27 de diciembre de 2013, todas del Ministerio del Medio Ambiente, que ampliaron plazo para la elaboración del anteproyecto, y la Resolución N°1.600 de 2008, de la Contraloría General de la República, y

**CONSIDERANDO:**

Que el día 31 de diciembre de 2014, vence el plazo para el proceso de elaboración del anteproyecto de revisión de las normas de calidad señaladas en los vistos.

De acuerdo al inciso 2° del artículo 41 del Decreto Supremo N°38, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, el Ministro, por resolución fundada,

000500

UT7.

podrá prorrogar o disminuir los plazos establecidos para la preparación de los informes, la elaboración del anteproyecto o del proyecto definitivo de la norma. Los plazos que se prorroguen serán los necesarios para dar término a las actividades mencionadas.

Que el Jefe de la División de Calidad del Aire, señor Sebastián Tolvett Caro, mediante el Memorándum N°585 de 26 de noviembre de 2014, solicitó la ampliación de plazo para la preparación del anteproyecto mencionado hasta el día 30 de abril de 2015, tiempo necesario para que concluya el estudio "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), desarrollado por el Centro Nacional del Medio Ambiente, y se concluya el Análisis General de Impacto Económico y Social de la revisión, para dicho contaminante. Asimismo, se solicita ampliación de plazo para la elaboración del anteproyecto de revisión de las normas primarias de los gases NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO, hasta el día 30 de enero de 2016, dado que no se cuenta con antecedentes actualizados para la elaboración de un anteproyecto en ese sentido.

**RESUELVO:**

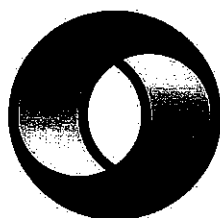
1. Amplíese hasta el día 30 de abril de 2015, el plazo para la preparación del anteproyecto de revisión de la norma primaria de calidad de aire para el contaminante dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
2. Amplíese hasta el día 30 de enero de 2016, el plazo para la preparación del anteproyecto de revisión de las normas primarias de calidad de aire para los contaminantes monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).
3. Para efectos de lo dispuesto anteriormente, sepárese la tramitación de los procedimientos mencionados y llévense en expedientes separados.

Anótese, comuníquese, y archívese.

  
**PABLO BADENIER MARTÍNEZ**  
**MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE**

LO QUE TRANSCRIBO A UD., PARA  
SU CONOCIMIENTO.  
SALUDAATTE. A UD.,

CBF/CGCF/CIF  
Cc.  
División Jurídica  
División de Calidad del Aire  
Comité Operativo de la revisión de normas  
Expedientes de la revisión de las norma  
Archivo  
Me 22754/2014



**cenma**  
Centro Nacional del Medio Ambiente

**Informe Final  
Contrato:**

**“Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica  
para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de  
Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)”**

**ID N° 608897-40-LE14**

**Elaborado para:**



**Ministerio del Medio Ambiente  
Subsecretaría del Medio Ambiente**

**Santiago, Enero de 2015**



**CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE**



Universidad de Chile





CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

## Equipo Consultor

Dr. Ítalo Serey  
Director Ejecutivo Fundación CENMA

Sr. Jaime Durán  
Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos Fundación CENMA

M. Cs. Carlos Mancilla  
Jefe de Proyecto  
Análisis de Calidad del Aire

Dra. Patricia Matus  
Análisis Epidemiológico

Dr. Julio Salinas  
Análisis Toxicológico

M(e) Maureen Amín  
Análisis Meteorológico y de Calidad del Aire

Sr. Diego Campos  
Análisis Meteorológico y de Calidad del Aire

Ing. Claudio Huepe  
Evaluación Económica y Social

Dra. Nancy Sanhueza  
Evaluación Económica y Social





CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

## RESUMEN EJECUTIVO

### 1.1 Antecedentes Generales

Las normas primarias de calidad de aire son instrumentos preventivos orientados a proteger la salud de la población, de aquellos efectos adversos generados por la exposición a los contaminantes<sup>1</sup>.

En Chile, la primera regulación que estableció estándares de calidad del aire se dictó el año 1978, a través de la Resolución N° 1.215 del Ministerio de Salud<sup>2</sup>, denominada "Normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica". La Resolución incluyó niveles permitidos de calidad de aire para los contaminantes: monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas totales en suspensión (PTS).

En particular para el contaminante SO<sub>2</sub>, la Resolución estableció estándares en concentración anual y de 24 horas, cuyos valores fueron de 80 µg/m<sup>3</sup>N y de 365 µg/m<sup>3</sup>N respectivamente. Cabe destacar, que los valores para el SO<sub>2</sub> normados en ese entonces, correspondieron a los mismos estándares del año 1971 de los Estados Unidos.

Posteriormente, el año 1992, a través del Decreto Supremo N° 185 del Ministerio de Minería<sup>3</sup>, se estableció y mantuvo para el SO<sub>2</sub> los mismos valores contenidos en la Resolución N° 1.215. Además, el Decreto incluyó por primera vez tres niveles de emergencia ambiental<sup>4</sup> para concentraciones de una hora para las siguientes situaciones: i) aviso de alerta: 0,75 ppm (1.962 µg/m<sup>3</sup>N); ii) aviso de advertencia: 1,00 ppm (2.616 µg/m<sup>3</sup>N); y iii) aviso de emergencia: 1,5 ppm (3.924 µg/m<sup>3</sup>N). Los niveles de emergencia tienen por objetivo reducir la exposición de la población vulnerable y sensible, de los efectos adversos y agudos del SO<sub>2</sub>.

En 1999, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), inició la revisión de todas las normas primarias de calidad del aire contenidas en la Resolución 1.215, culminando con la publicación de varios decretos, entre ellos el D.S. N° 113 del MINSEGPRES, publicado en el Diario Oficial el 6 de marzo de 2003, en el cual se estableció la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

<sup>1</sup> Artículo 2° Decreto Supremo N° 38 del 2013, del Ministerio del Medio Ambiente: "Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión". Define por norma primaria de calidad como aquella que se establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población, definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia.

<sup>2</sup> No publicada en el Diario Oficial.

<sup>3</sup> Publicado el 16 de enero de 1992 en el Diario Oficial.

<sup>4</sup> Artículo 19°, D.S. N° 185 del Ministerio de Minería.





**CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE**



Universidad de Chile

El decreto supremo N° 113, actualmente vigente, tiene como objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición del SO<sub>2</sub>. Para esto, el decreto mantiene el estándar anual que se estableció el año 1978 de 80 µg/m<sup>3</sup>N; redujo el estándar de 24 horas de 365 µg/m<sup>3</sup>N a 250 µg/m<sup>3</sup>N (Art. 3° y Art. 4°); y mantiene los mismos valores que se establecieron el año 1992 para los niveles que originan situaciones de emergencia (Art. 5°).

Después, el 18 de enero de 2010, la CONAMA inició un segundo proceso de revisión de todas las normas primarias de calidad del aire de gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO), mediante la Resolución Exenta N° 35 del mismo organismo, publicada en el Diario Oficial el 19 de marzo de 2010. Antes, la CONAMA realizó un estudio, encargado a la consultora KAS Ambiental, cuyos resultados permitieron realizar un diagnóstico preliminar del estado de cumplimiento de las normas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no superar concentraciones de SO<sub>2</sub> de 500 µg/m<sup>3</sup> durante un período de 24 horas, debido a que las evidencias indican que: i) personas asmáticas que hacían ejercicio experimentaron cambios en la función pulmonar y en los síntomas respiratorios tras períodos de exposición de apenas 10 minutos, y ii) se observó efectos en la salud de las personas en un intervalo de concentraciones entre 5 y 40 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> durante 24 horas, por lo cual fue imposible obtener un umbral de SO<sub>2</sub> que asegure que no habrá efectos en la salud.

Por lo anterior, la OMS recomienda un enfoque preventivo aceptable de un valor guía de SO<sub>2</sub> de 24 horas de 20 µg/m<sup>3</sup> y de 10 minutos de 500 µg/m<sup>3</sup>. Adicionalmente, recomienda a los países, en términos de políticas de salud y medioambientales, no establecer un estándar de SO<sub>2</sub> anual, debido a: i) es más efectivo focalizar la vigilancia en los efectos agudos del SO<sub>2</sub>; y ii) si se establece y se realiza la vigilancia del nivel de concentración de 24 horas, se garantiza niveles medios anuales bajos<sup>5</sup>.

De esta forma, a partir de la última evidencia científica disponible, las regulaciones internacionales y el valor guía de la OMS, se adaptaron estableciendo concentraciones de SO<sub>2</sub> en intervalos de exposición de 10 minutos y 1 hora.

Estados Unidos por ejemplo, en su última actualización de la norma primaria de SO<sub>2</sub> el año 2010, derogó los valores de las normas de 24 horas y anual; y estableció un valor de concentración de 1 hora de 196 µg/m<sup>3</sup> (75 ppb)<sup>6</sup>. En el caso de la Comunidad Europea, desde el año 2005, recomienda un estándar de 1 hora de 350 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>5</sup> Guía de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, 2005.

<sup>6</sup> Part II, 40 CFR Parts 50,53, and 58 Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide; Final Rule, publicado 22.06.2010 [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s\\_so2\\_index.html](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_index.html)



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

Cabe señalar que el estándar de  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  de 24 horas en Chile, supera en más de 12 veces el valor Guía recomendado por la OMS y el doble del estándar recomendado por la Comunidad Europea<sup>7</sup>.

En el caso de Chile, se ha avanzado con una política ambiental que ha logrado reducir las emisiones de  $\text{SO}_2$  de las principales fuentes o actividades económicas. En efecto, las acciones emprendidas corresponden a: la reducción del contenido de azufre (S) en el diesel, combustible utilizado por el transporte y en algunas fuentes industriales, y el control de las emisiones de  $\text{SO}_2$  de fuentes de generación eléctrica y de las fundiciones de cobre a través de las normas de emisión.

Con el anterior marco jurídico, se podría ahora, aspirar a evaluar la oportunidad de dar un paso en el objetivo de protección de la salud de las personas de los efectos agudos que produce el  $\text{SO}_2$ . En otras palabras, no es suficiente contar con una norma de emisión para limitar el  $\text{SO}_2$  de las fuentes industriales que más aportan y con la mejora del diesel, controlando con esto el aporte de las emisiones del sector transporte. Con tales medidas, no se garantizan que se cumplan los estándares de calidad del aire. Las normas de calidad imponen acciones y objetivos de política focalizados en la vigilancia de los niveles ambientales de  $\text{SO}_2$ , a los que está expuesta la población más vulnerable y sensible.

Se suma a lo anterior, que es un hecho que en el país, hay zonas que compiten entre usos industriales y de asentamiento humano, donde ocurren eventos tóxicos de corta duración que se producen debido a altos niveles de concentración de  $\text{SO}_2$  en períodos de tiempo muy acotados.

## 2.1 Justificación

El Reglamento para la dictación de Normas de calidad ambiental y de emisión, D.S. 38 del año 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, en su Artículo 39, indica que para revisar las normas ambientales se debe considerar criterios de eficacia y de eficiencia en su aplicación, ponderados de acuerdo a:

- a) Los antecedentes considerados para la determinación de la norma de conformidad con lo dispuesto en el artículo 26, 28 inciso 1°, 32 inciso 1° y 37 letra a) del citado Reglamento; que tienen que ver con actualizaciones de los antecedentes que tienen para establecer los estándares.
- b) El nivel de cumplimiento informado por la Superintendencia del Medio Ambiente y vigencia actual de los objetivos tenidos en cuenta al momento de su dictación;

<sup>7</sup> Estándares Calidad del Aire para la Comunidad Europea, el estándar para el dióxido de azufre entró en vigencia el 01.01.2005 (<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>).

307000  
307000



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

- c) Los cambios en las condiciones ambientales consideradas al momento de dictarse la norma, y
- d) Los resultados de las investigaciones científicas que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos a las personas o a los recursos naturales o sobre nuevas metodologías de medición.

De esta forma, se puede decir que:

- a) Hay evidencia científica suficiente que indica que los estándares establecidos para el  $\text{SO}_2$  de 24 horas y anual, presentan una amplia tolerancia, respecto a las recomendaciones y guías internacionales. En otras palabras, el objetivo preventivo del decreto supremo N°113, no se condice con los niveles que se establecen en los estándares.
- b) Los nuevos antecedentes disponibles desde el 2005, abunda en focalizar la vigilancia sobre los efectos agudos en salud del  $\text{SO}_2$ .
- c) Hay evidencia en el país, en zonas industriales que comparten territorio con asentamientos humanos, que la norma de  $\text{SO}_2$  no protege a las poblaciones más vulnerables, correspondiente a grupos de asmáticos, infantes y niños.
- d) El decreto supremo N°113, mantiene un estándar anual del año 1978, cuenta con un estándar de 24 horas del año 2003; y no incluye un estándar para la protección de los efectos agudos para exposiciones de una hora o menos.
- e) Los niveles que se establecen para decretar emergencia y que tienen por objeto reducir la exposición de los grupos vulnerables de la población, presentan una amplia tolerancia respecto al riesgo al cual se expone la población.

Por lo expuesto, se requiere contar con antecedentes técnicos y de evaluación social para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), establecida en el D.S. N°113, del 2003, del MINSEGRES.



1000



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

### 3.1 Objetivo General

Contar con antecedentes y una evaluación técnica, económica y científica que fundamente la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), contenida en el D.S. N°113, del Ministerio de la Secretaría General Presidencia (MINSEGPRES), junto a una evaluación social de los costos y los beneficios de actualizar la norma, considerando al menos tres opciones de escenarios regulatorios.

### 4.1 Objetivos Específicos

- a) Contar con una recopilación, análisis, y comparación de la evidencia en salud de los efectos al SO<sub>2</sub>, de las normas de calidad del aire de SO<sub>2</sub> y de los niveles de emergencia, adoptados o recomendados a nivel internacional.
- b) Contar con una recopilación y síntesis de la evidencia en salud de los efectos de exposición al SO<sub>2</sub>, disponible en Chile.
- c) Contar con un completo análisis del comportamiento y tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en la calidad del aire, en zonas industriales priorizadas para tales efectos.
- d) Contar con un completo análisis de la ocurrencia de peaks de SO<sub>2</sub> (horarios o de 5 o 10 minutos), en las zonas industriales priorizadas, y comparar con los valores de estándares internacionales y con los niveles de emergencia ambiental.
- e) Proponer y evaluar por lo menos tres opciones de regulación, considerando para cada escenario una evaluación de los riesgos aceptables, los costos y beneficios sociales. Del mismo modo, se debe contar con una evaluación del beneficio neto de cada escenario para el país y con una evaluación local del efecto de la norma, en las zonas industriales priorizadas.
- f) Proponer y evaluar una modificación de los niveles de emergencia, analizando si es factible, las condiciones que propician la probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación.
- g) Difundir los resultados del estudio a través de la realización de un seminario.



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE



Universidad de Chile

## Organización del documento

Las características y propiedades físico-químicas del  $\text{SO}_2$ , las fuentes y sumideros ambientales, y los usos extendidos de este compuesto químico se describen en sección 1.4.1.4. En sección 2 se identifican las zonas con presencia de  $\text{SO}_2$  en Chile y las estaciones y análisis de calidad de aire, junto con los resultados del análisis meteorológico. Datos sobre evidencia epidemiológica de los efectos del  $\text{SO}_2$  en particular la evidencia epidemiológica en Chile, se presentan en sección 3.1.3. En sección 3.2 se muestra la evidencia toxicológica y la evidencia proveniente de estudios clínicos, incluyendo los efectos biológicos de una exposición a corto plazo, como también los efectos del  $\text{SO}_2$  en asmáticos. Sustancias con propiedades asmogénicas se discuten brevemente en sección 3.2.1. La toxicidad crónica del  $\text{SO}_2$  en humanos se discute también en sección 3.2.1, junto a los mecanismos de acción y las condiciones que predisponen la toxicidad del  $\text{SO}_2$ . La sección 4 está dedicada in extenso a la estimación de los riesgos en la salud por  $\text{SO}_2$ , la que comienza con una descripción de la estrategia de búsqueda bibliográfica en sección 4.1, con los estudios seleccionados en sección 4.1.1. El desarrollo de los niveles de referencia para el  $\text{SO}_2$  se describe en sección 4.2, con una discusión de la metodología seleccionada para el estudio en sección 4.2.3. Las bases científicas para los AEGLs se discuten en sección 5.3.7, y el peso de evidencia para los AEGL-1 y AEGL-2 se muestran en sección 4.2.3, junto al uso y aplicaciones de los AEGLs. Caracterización del riesgo se muestra en sección 5.3.10.

El estudio considera tres aspectos analíticos en la evaluación. El primero corresponde a comparaciones de concentraciones de dióxido de azufre con tres escenarios regulatorios, que incluyen una evaluación en resoluciones temporales horarias, diarias y anuales. La sección 5.2 describe en detalle la evaluación de escenarios regulatorios, con las conclusiones en sección 5.2.3. El segundo aspecto corresponde a una evaluación de riesgo en las zonas de estudio. La evaluación de los riesgos a la salud por la exposición al  $\text{SO}_2$ . La incertidumbre asociada con la evidencia de  $\text{SO}_2$  ambiental es discutida en sección 5.3.11, donde se describe la variabilidad tipo A y la incertidumbre tipo B, seguidos por ejemplos de cada una. El tercer aspecto corresponde a una evaluación económica y social desarrollada en la sección 5.4 en donde se describe la evaluación socioeconómica cualitativa de los beneficios, así como un análisis de actores relevantes y un análisis institucional de las normativas asociadas a la norma primaria de calidad del aire. La integración de los resultados, discusión y conclusiones respecto a la propuesta normativa en sección 6. Diseño de seminario para difundir resultados en sección 7.

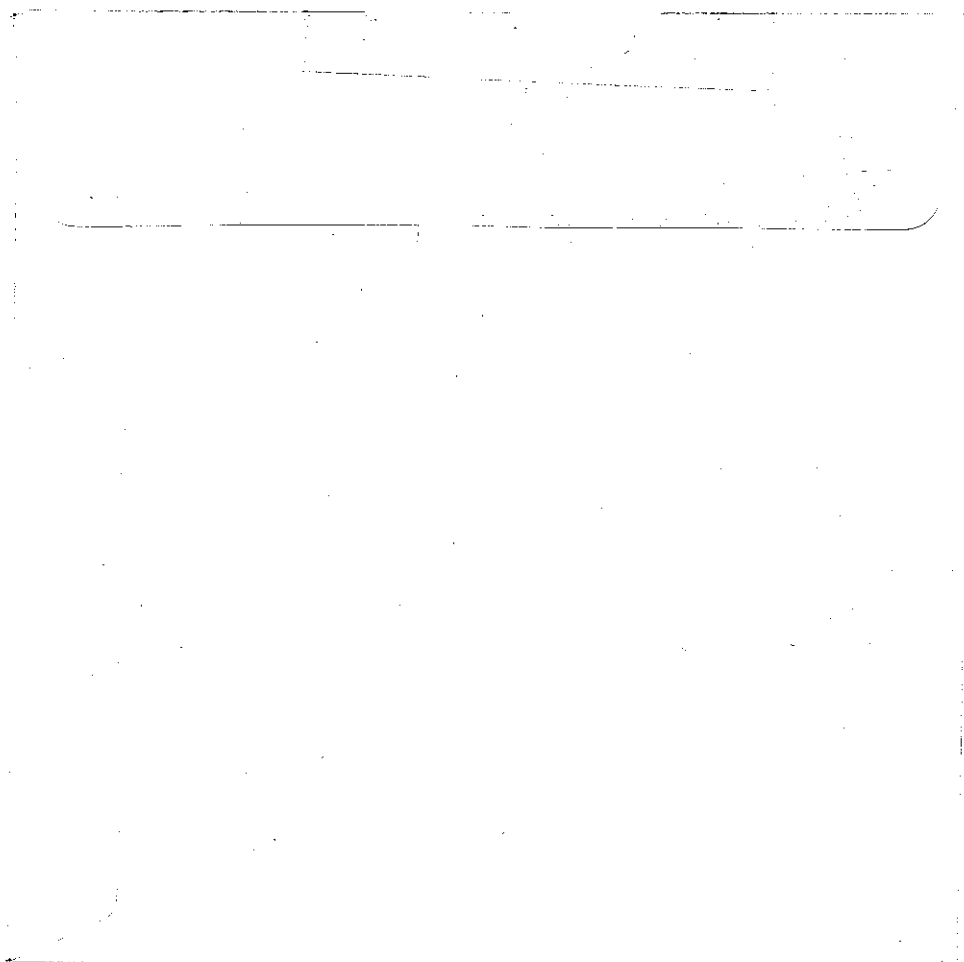
**Informe Final**

**“Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica  
para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de  
Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)”**

**Elaborado para:**



**Ministerio del Medio Ambiente  
Subsecretaría del Medio Ambiente**



*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

**Acta: Visita a la Fundición de Ventanas (CODELCO).**

Fecha de reunión: 13-01-2015	Hora: 14:00 a 17:00	Lugar: Fundición Ventanas. Región de Valparaíso.
---------------------------------	------------------------	--

**1. Participantes**

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic Contreras	COCHILCO
2	Francisca Domínguez	CODELCO - Casa Matriz
3	Enrique Correa	Gerente de Fundición Ventanas
4	José Espinoza	Representante de Gerencia de Desarrollo, Fundición Ventanas
5	María Pía Tejos	Gerente de Sustentabilidad, Fundición Ventanas
6	Marcela Pantoja	Sustentabilidad, Fundición Ventanas
7	Pablo Bohle	Jefe de Planta de Ácido de Fundición Ventanas
8	Priscilla Ulloa M.	Departamento de Normas, Ministerio Medio Ambiente
9	Cristián Ibarra F.	Departamento de Normas, Ministerio Medio Ambiente

**2. Objetivo**

Describir el plan de acción operacional de episodios críticos de la Fundición de Ventanas (CODELCO), en situaciones de dispersión de contaminantes adversas en el sector Ventanas y cómo opera el plan operacional dependiente del pronóstico meteorológico.

**3. Temas Tratados**

Fundición Ventanas posee:

- a) Plan operacional dependiente del pronóstico meteorológico
- b) Plan de acción operacional de episodios críticos de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el cual se activa cuando la concentración de 1 minuto de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es mayor a 1.500 µg/Nm<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> en cualquiera de las estaciones de calidad del aire de la red de monitoreo de Ventanas, red CODELCO – AES Gener.

Fundición Ventanas cuenta con 2 meteorólogos, con turnos de 12 horas cada uno. Por lo tanto, la unidad de meteorología funciona actualmente 24 horas.

La unidad de meteorología elabora los pronósticos meteorológicos y los distribuye vía email cada dos horas a una lista compuesta por los jefes de turno y gerentes de la Fundición y Planta de Ácido.

000511

VTA

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

Las condiciones meteorológicas las clasifican de acuerdo al factor de ventilación, según 3 estados que se muestran a continuación:

FAVORABLE (verde)	ALERTA (amarillo)	CRÍTICO (rojo)
Factor Ventilación $\geq 2000(m^2/s)$	Factor Ventilación $< 2000(m^2/s)$	Factor Ventilación $< 1000(m^2/s)$

Las condiciones alerta y crítico afectan el flujo de soplado del convertidor teniente, disminuyendo el flujo y aumentando el tiraje del convertidor. En el estado crítico se deja de ingresar escoria oxidada de cobre al convertidor teniente para disminuir emisiones fugitivas. Esto representa una pérdida financiera, pues el material se debe enfriar, acopiar y reprocesar posteriormente.

Escenario Meteorológico	Plan operativo de convertidores
Favorable Vientos sobre 3 m/s sin inversión térmica e inestabilidad en altura	Flujo aire soplado: 350 (Nm <sup>3</sup> /min) Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a CT por boca
Alerta Vientos en superficie menores a 2 m/s con estabilidad en altura	Flujo aire soplado: 300 (Nm <sup>3</sup> /min) Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a CT por boca
Crítico Vientos menores a 2 m/s cielo despejado e inversión de radiación en superficie	Flujo aire soplado: 280 (Nm <sup>3</sup> /min) Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a pozo de enfriamiento
Ciclos de CPS/día	Rango de 7 a 9 cargas/día

Utilizando las definiciones anteriores de escenarios meteorológicos se han registrado los siguientes porcentajes de dispersión para los meses indicados

Mes	Porcentaje de dispersión		
	Favorable	Alerta	Crítico
Julio 2013	40%	21%	40%
Enero 2014	70%	21%	9%
Julio 2014	46%	18%	36%
Enero 2015	86%	6%	8%

Si se está en un episodio crítico de SO<sub>2</sub> el Convertidor Peirce-Smith (CPS) que está en pleno funcionamiento (máxima concentración de SO<sub>2</sub>) se espera a que termine de soplar y finalice el ciclo del proceso para dejar de funcionar el convertidor, el ciclo dura aproximadamente 1,5 hora. Recordar que el proceso de conversión, donde se utilizan CPS es una operación discontinua (batch), ingresa metal blanco, saliendo blíster y óxidos de cobre (escoria con 40-50% Cu), el cual se reprocesa en caliente al Convertidor Teniente.

La capacidad de una carga de CPS es de aproximadamente 60 toneladas de metal blanco y 15 toneladas de carga fría.

La fundición Ventanas tiene 3 CPS (2 CPS en caliente que se turnan, 1 CPS en mantención).

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

El pronóstico meteorológico tiene un acierto de 88% en el invierno y un 96% en el verano, en general el modelo de pronóstico meteorológico sobreestima, es decir, cuando se pronostica escenario crítico en algunas ocasiones el escenario real termina siendo alerta. Entre los meses de abril a septiembre se producen los pronósticos más desfavorables.

La unidad de meteorología si se da cuenta de un cambio en el pronóstico respecto a lo informado, se comunica directamente con el Jefe de Fundición y el Jefe de Planta de Ácido que este en turno oportunamente, no espera dos horas para informar.

Todos los días del año a las 9 a.m., la unidad de meteorología envía el pronóstico meteorológico de 24 horas a la SEREMI de Medio Ambiente y a la SEREMI de Salud de la región de Valparaíso.

La fundición Ventanas opera desde el año 2012 una estación meteorológica dentro de la Fundición Ventanas, que mide variables meteorológicas, como presión, temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento a diferentes alturas: 10 metros, 20 metros y 40 metros. Antes utilizaban la información del ecosonda de Santo Domingo. Se invirtió en esta estación meteorológica (llamada Principal) para mejorar el pronóstico meteorológico en la zona de Ventanas.

El último episodio crítico de SO<sub>2</sub> se registró el 2 de mayo del 2013, marcando 2.400 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>, que corresponde al Nivel 1, según lo que establece la actual norma de calidad de dióxido de azufre. Desde el año 2008, las estaciones de la red de monitoreo de Ventanas no registran ningún episodio crítico de SO<sub>2</sub> correspondiente a Nivel 2 ó Nivel 3.

El año 2014, la planta de ácido tuvo una eficiencia de captura del 94% aproximadamente. Según señala el Gerente de la Fundición Ventanas, si no está operativa la planta de ácido no opera la fundición.

#### **4. Acuerdos**

- i) CODELCO Ventanas, entregará el número de veces que se activó el Plan de acción operacional debido al pronóstico de condición crítica y cuántas horas duro el plan de acción operacional el año 2014.
- ii) CODELCO Ventanas entregará a fines de enero las concentraciones de SO<sub>2</sub> de 1 minuto del año 2014 al Departamento de Normas, del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).
- iii) CODELCO solicita conocer los escenarios regulatorios con los valores y criterio de excedencia, junto con los niveles de emergencia, para realizar los análisis en los datos de calidad del aire de la red de monitoreo de calidad del aire de Ventanas. El MMA responde que se podrá conocer los valores y criterios de los escenarios regulatorios en los comités ampliados que se desarrollarán el primer semestre del 2015.
- iv) CODELCO desea saber si habrá comité ampliado de la norma de calidad primaria de SO<sub>2</sub>. El MMA responde que se avisará oportunamente las fechas y lugares, donde se realizarán los comités ampliados de la norma durante el primer semestre del 2015.

PUM/CIF//.



# Visita Ministerio Medio Ambiente



13 enero de 2015

000513



# Agenda

000513

VTA.

- Pronósticos Meteorológicos.
- Plan Operacional Ante Episodios Críticos.



# Pronósticos Meteorológicos

PROYECCION DISPERSION DE GASES A 48 HORAS PROMEDIO MÓVIL 02:00[h]																								
00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
14_11 AL 15_11	A										A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
15_11 AL 16_11	A										A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

### BOLETÍN METEOROLÓGICO

12 DE ENERO 2015 08:00 [hr]

Veguada costera, Nubiado.

Viento con dirección entre estación QUINTERO / SUR.

Altura [m]	10	20	40
Intensidad y dirección del viento	1,6	1,5	2,4
Dirección del viento [°]	NE	NE	NE

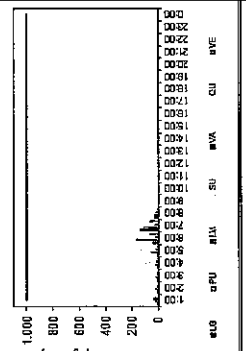
**Dispersión de Gases**

**FAVORABLE**

GRÁFICAS MINUTO A MINUTO Y PROMEDIOS HORARIOS DE SO2

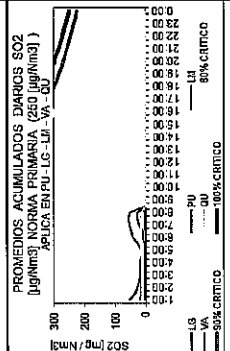
Nota: El Decreto Supremo de la República N° 61 "Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos" del año 2008". Estipula que los sistemas de adquisición de datos se registren por el horario de invierno sin cambios de hora.

**PROMEDIOS HORARIOS DE SO2 [µg/m³]**

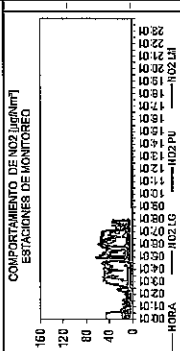


**COMPORTAMIENTO DIARIO DE SO2**

PROMEDIOS ACUMULADOS DIARIOS SO2 [µg/m³] NORMA PRIMARIA (500 [µg/m³]) APLICAR EN PU - LG - LU - VA - SU



**COMPORTAMIENTO DE MATERIAL PARTICULADO [µg/m³] ESTACIONES DE MONITOREO**



DVEN cuenta con un Servicio Meteorológico las 24 hrs, quienes envían cada 2 horas un **Boletín Meteorológico**, informando las condiciones meteorológicas y principales comportamientos de gases y material particulado.

Para los criterios de pronósticos emitidos, se definen tres niveles, como **Favorable, Alerta, y Crítico.**





# Pronósticos Meteorológicos

000514  
VTA

## **1.- Favorable**

- Sistemas frontales activos
- Irrupción de núcleos fríos
- Masas de aire inestables
- Ausencia de inversión térmica
- Vaguadas costeras en etapa de madurez (Presencia de nubosidad baja)

## **2.- Alerta**

- Alta del Pacífico con inversión térmica bajo 300 m
- Vaguada costera en etapa de disipación. (Disipación de la nubosidad baja)
- Irrupción de dorsal (altas presiones en altura)

## **3.- Crítico**

- Vaguada costera en etapa de formación (Frente al norte chico)
- Presencia de altas frías con marcada inversión térmica por enfriamiento nocturno y vientos débiles del Este a niveles bajos
- Aproximación de núcleo frío y vientos generalizados del Este.
- Capa de mezcla superficial reducida, bajo factor de ventilación y proceso de transporte de contaminantes modulado por el viento.

# Pronósticos Meteorológicos

## Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)

El PMCA es una medida netamente meteorológica, siendo su valor inversamente proporcional al factor de ventilación después del mediódía, (Rutllant y Salinas, 1983), entendiéndose por factor de ventilación, el producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento medio dentro de la capa.

PMCA	Categoría	Condiciones de dispersión asociada
1	Bajo	Favorable
2	Medio	Alerta
3	Alto	

Sobre esta base se plantean configuraciones meteorológicas de escala sinóptica, mesoescala y escala local, adecuándolas a las tres condiciones de dispersión actualmente en uso operacional: **Favorable, Alerta, y Crítico.**

# Pronósticos Meteorológicos

000515  
VTA

## Factor de Ventilación

FV= Factor de Ventilación

U= Viento medio dentro de la capa de mezcla superficial (m/s)

H= Altura de la capa de mezcla (m)

$FV=U*H$  (m<sup>2</sup>/s)

$FV < 1000$  (m<sup>2</sup>/s) => Condición meteorológica de dispersión asociada: **Crítica**

$1000$  (m<sup>2</sup>/s)  $\leq FV < 2000$  (m<sup>2</sup>/s) => Condición meteorológica de dispersión asociada: **Alerta**

$FV \geq 2000$  (m<sup>2</sup>/s) => Condición meteorológica de dispersión asociada: **Favorable**

V/H	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
1,0																
2,0						1000	1200	1400	1600	1800						
3,0					1200	1500	1800									
4,0			1000	1200	1500					3600	4000	4400	4800	5200	5600	6000
5,0			1200	1500					4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
6,0			1400	1800			3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	7800	8400	9000
7,0			1600			3500	4200	4900	5600	6300	7000	7700	8400	9100	9800	10500
8,0			1800			4000	4800	5600	6400	7200	8000	8800	9600	10400	11200	12000
9,0					3600	4500	5400	6300	7200	8100	9000	9900	10800	11700	12600	13500
10,0		1000			4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000
11,0					4400	5500	6600	7700	8800	9900	11000	12100	13200	14300	15400	16500
12,0				3600	4800	6000	7200	8400	9600	10800	12000	13200	14400	15600	16800	18000
13,0				3900	5200	6500	7800	9100	10400	11700	13000	14300	15600	16900	18200	19500
14,0				4200	5600	7000	8400	9800	11200	12600	14000	15400	16800	18200	19600	21000
15,0				4500	6000	7500	9000	10500	12000	13500	15000	16500	18000	19500	21000	22500

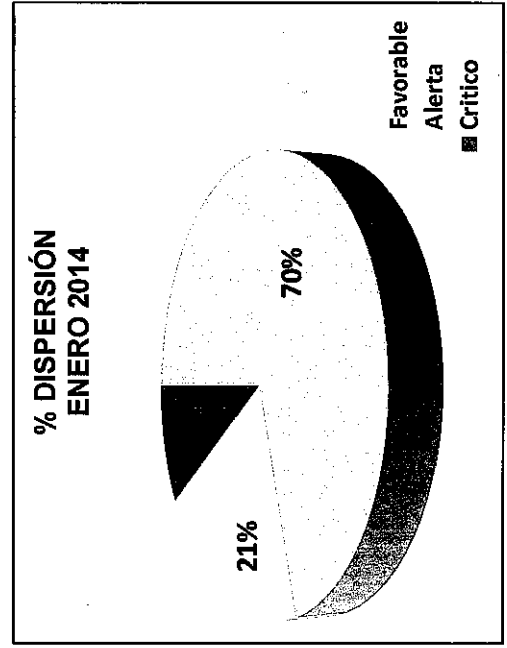
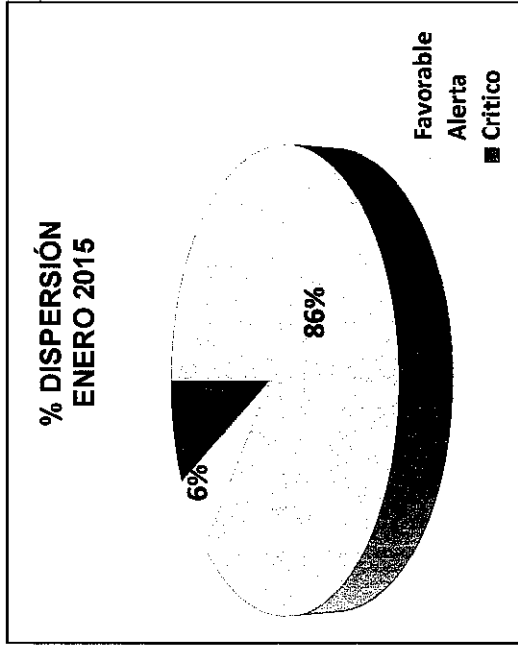


# Plan Operacional

PROYECCION DISPERSION DE GASES A 48 HORAS PROMEDIO MÓVIL 02:00[h]																								
00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
14_11 AL 16_11	A									A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
15_11 AL 16_11	A									A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

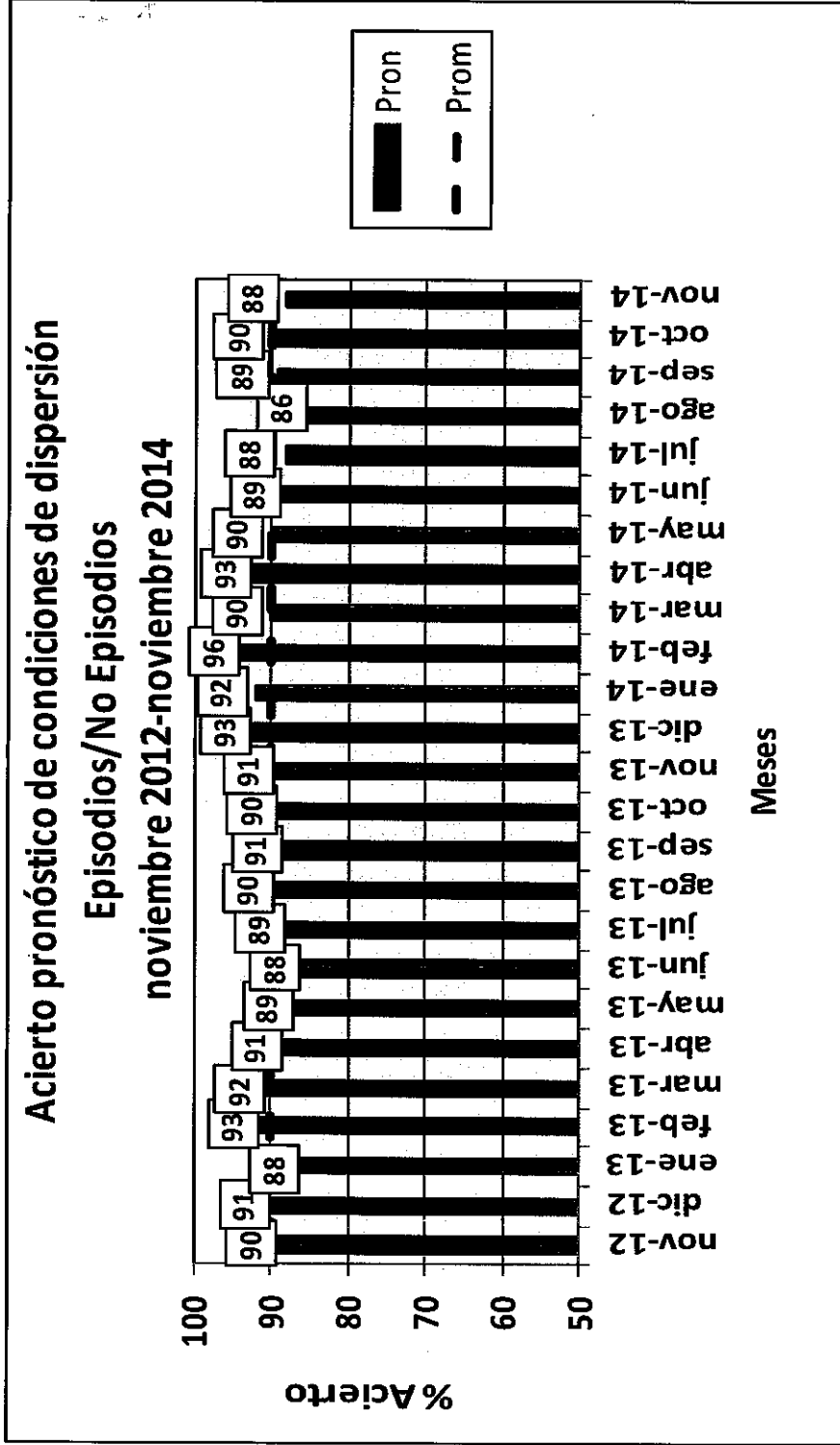


Escenario Meteorológico	Plan operativo de CPS
<b>Favorable</b> <i>Vientos sobre 3 m/s sin inversión térmica e inestabilidad en altura.</i>	Flujo aire soplado: 350 [Nm <sup>3</sup> /min] Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a CT por boca
<b>Alerta</b> <i>Vientos en superficie menores a 2m/s con estabilidad en altura.</i>	Flujo aire soplado: 300 [Nm <sup>3</sup> /min] Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a CT por boca
<b>crítico</b> <i>Vientos menores a 2 m/s cielo despejado e inversión de radiación en superficie.</i>	Flujo aire soplado: 280 [Nm <sup>3</sup> /min] Enriquecimiento: 24% O <sub>2</sub> Óxidos a pozo enfriamiento
Ciclos de CPS/día	Rango de 7 a 9 cargas/día "Cuello de botella" para FUCO



# Pronósticos Meteorológicos

000516  
VTA



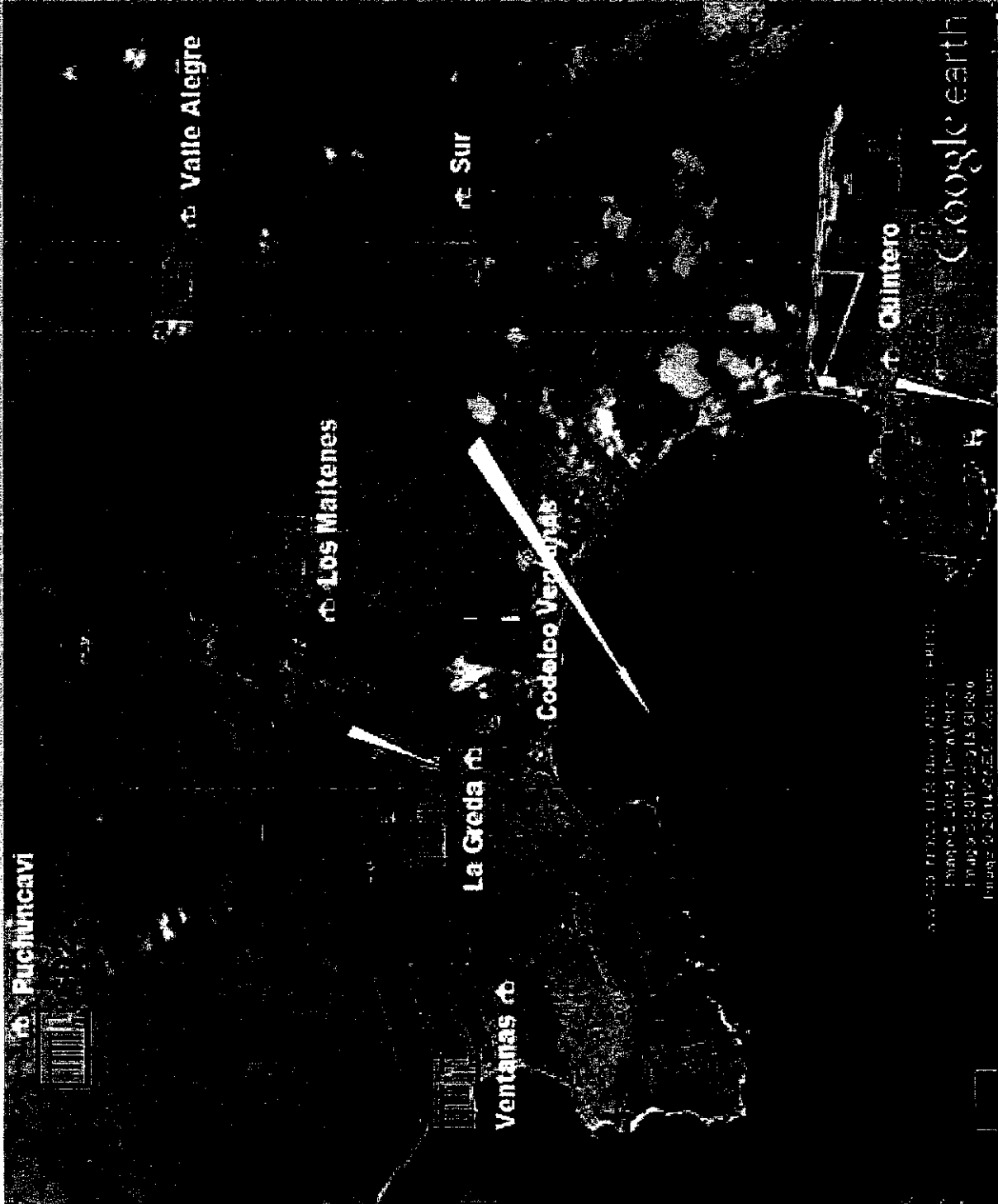
Porcentaje de acuerdo pronóstico de condiciones de dispersión a 24 horas de los últimos 25 meses calculado mediante Tablas de Contingencia, considerando dos categorías Episodios (Alerta-Crítico) y No Episodios (Favorable).





CODELCO Ventanas

# SISTEMA VIGILANCIA AMBIENTAL



Estaciones	Veloc. Viento
PRINCIPAL 20 MTS.	2,5 m/s
QUINTERO	1,5 m/s
LOS MAITENES	0,5 m/s
LA GREDA	2,1 m/s

Estaciones	PM Hora	PM Dia
QUINTERO	1,5	21,5
LOS MAITENES	3,9	77,1
LA GREDA	13,9	32,2
VENTANAS	18,9	26,2
PUCHUNCAVI	62,7	42,5
VALLE ALEGRE	3,6	33,9
SUR	2,6	46,6



Dirrec. Viento  
PRINCIPAL 20 MTS. 141 SSE

Copyright © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados. | Copyright © 2014 by CODELCO-CHILE. All Rights Reserved.

000517





# Plan Operacional Ante Episodios Críticos

000517  
VTA.

Plan Operacional para el Control de Episodios Críticos (PFU-008)	
<p>El plan se activa cuando la concentración promedio minuto de SO2 en cualquier estación de monitoreo alcanza 1.500 [µg/Nm3].</p>	<p><b>Plan de acciones con CT y CPS soplando</b> El Jefe de Turno Fundición coordina con el Jefe Turno Planta de Ácido acciones operacionales, adicionales a las normales. Además, se espera el término de soplado del CPS. El siguiente CPS no inicia su soplado hasta que la concentración de SO2 baje a menos de 1.000 [µg/Nm3]. Tomando en consideración la opinión del Servicio de Meteorología y/o condiciones meteorológicas adecuadas, de esta manera queda sólo en operación el CT.</p> <p><b>Plan de acciones solo con CT</b> Si en el momento de la alarma solo se encuentra en servicio el CT, el Jefe de Turno Fundición coordina con el Jefe de Turno Planta de Ácido acciones operacionales, adicionales a las normales, para minimizar emisiones a la atmósfera, e iniciar operación de un CPS, luego que las concentraciones de SO2 se normalicen bajo los 1.000 [µg/Nm3] y tomando en consideración la correspondiente opinión de la Servicio de Meteorología.</p>

# Plan Operacional Ante Episodios Críticos

Plan Operacional para el Control de Episodios Críticos (PFU-008)	
<p>Puesta en servicio de Planta de Ácido y Convertidor Teniente</p>	<p><b>Verificación de condiciones Meteorológicas</b></p> <p>En la partida, después de una detención prolongada el Jefe de Turno Fundición y el Jefe Turno Planta Ácido, verifica a través de red de monitoreo las condiciones meteorológicas imperantes y confirman la información y el pronóstico para las horas siguientes con el Servicio de Meteorología. Las condiciones meteorológicas deben ser las adecuadas, para poner en servicio la fundición y planta de ácido; es decir, la puesta en servicio de los equipos sólo se debe iniciar con una condición y pronóstico favorable.</p>



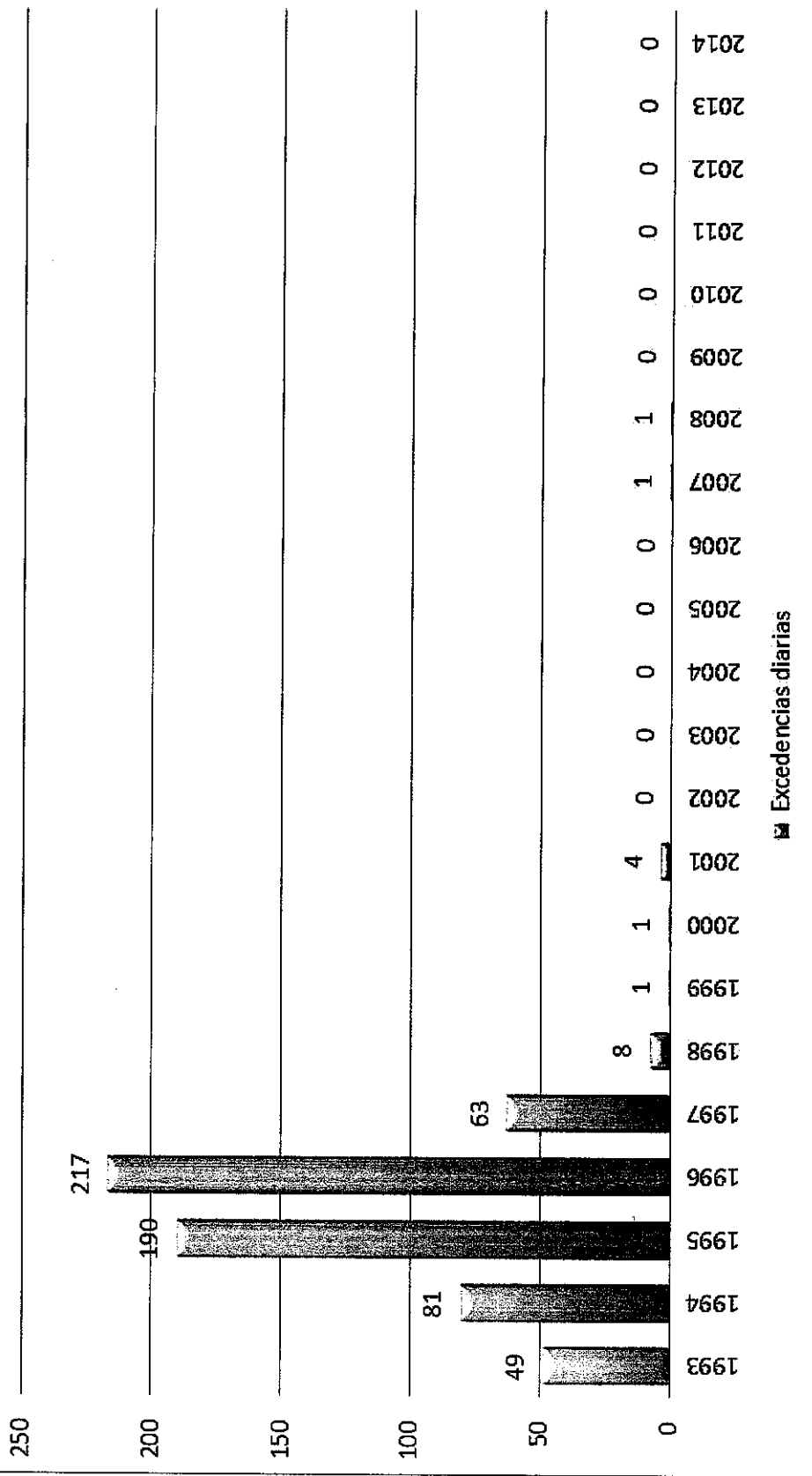
La operación del CT se detiene completamente al alcanzar el promedio diario de SO2 acumulado de un 90%, de acuerdo al Plan Operacional para Cumplir la Norma Diaria del Aire (PFU-009).

# Indicadores Ambientales – Excedencias Diarias

000518

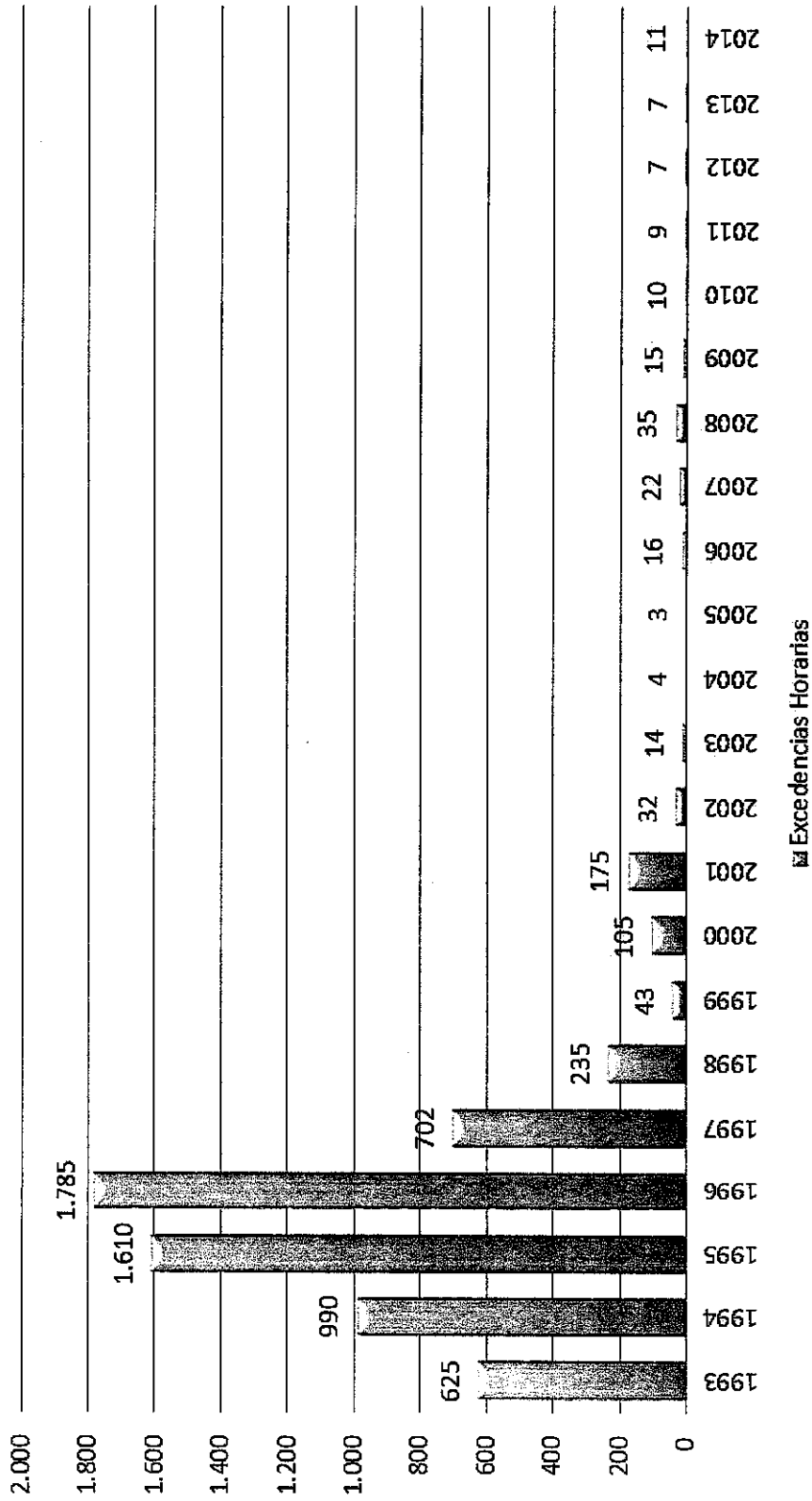
VTA

**Número de Excedencias sobre Norma Diaria SO<sub>2</sub> >250 [µg/Nm<sup>3</sup>]  
D.S. N° 113 Período 1993 - 2014**



# Indicadores Ambientales – Excedencias Horarias

**Número de Excedencias Horarias SO<sub>2</sub> >1000 [µg/Nm<sup>3</sup>]  
D.S. N° 22 1993 - 2014**



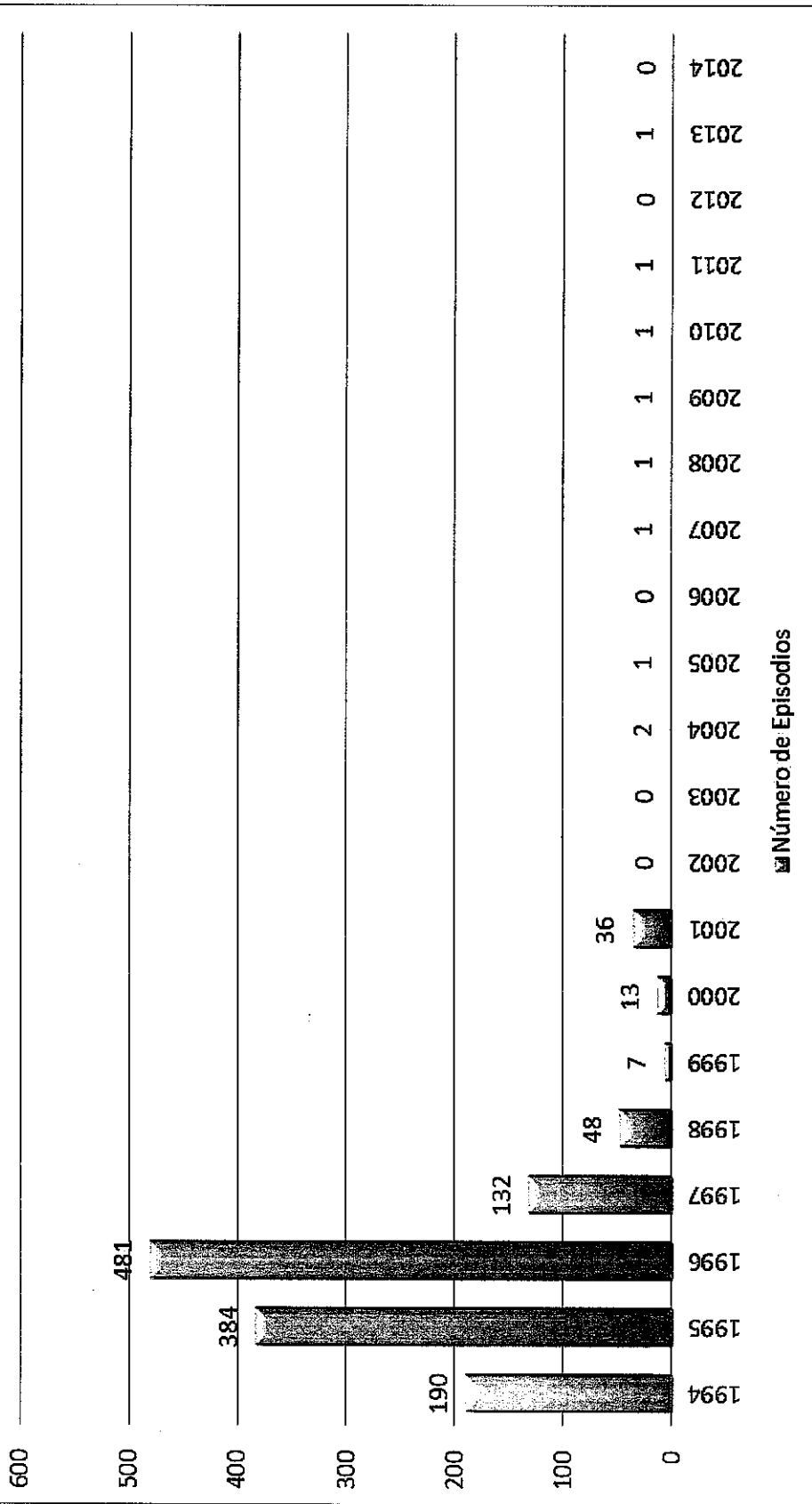


# Indicadores Ambientales – Episodios Críticos

000519

VTA

**Número de Episodios Críticos SO<sub>2</sub>>1.962 [µg/Nm<sup>3</sup>]  
D.S. N° 113 Período 1993 - 2014**



Ventanas, 30 de Enero de 2015.

GSAE - 018/15

5T/2087

Señor  
Sebastián Tolvett Caro  
Jefe de la División de Calidad del Aire  
División de Calidad del Aire  
San Martín 73  
Santiago

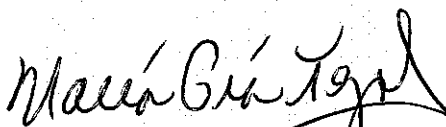


Ref. : Reemisión Información Monitoreo Anhídrido Sulfuroso en Red de Monitoreo Calidad del Aire de Codelco -AesGener.

De nuestra consideración:

Reemitimos información referente a los monitoreos de SO<sub>2</sub> de la red de monitoreo de calidad del aire de Codelco – Aes Gener del año 2014.

Saluda atentamente a Ud.,



**María Pia Tejos Román**  
Gerenta Sustentabilidad y Asuntos Externos  
Codelco Chile – División Ventanas

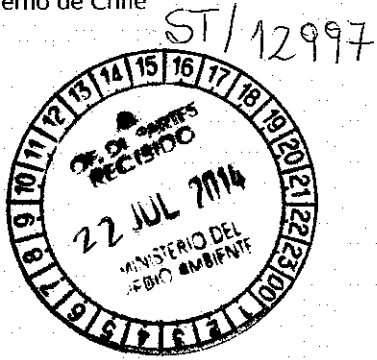
AA: MPC/FSF



Superintendencia  
del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile



000521



ORD. N° 1118

ANT.: ORD N°961/2014 SMA

MAT.: Remite datos de monitoreo de calidad de aire, contaminante SO<sub>2</sub>.

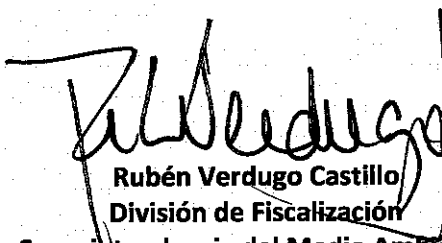
SANTIAGO, 22 JUL 2014


DE: RUBEN VERDUGO  
DIVISIÓN DE FISCALIZACIÓN  
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

A: SEBASTIAN TOLVETT  
DIVISIÓN CALIDAD DEL AIRE  
SUBSECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

Junto con saludar remito a Ud. Carta N°149 del 8 de julio de 2014, de la empresa ENAMI Fundición Hernán Videla Lira y la carta HE-893 del 30 de junio de 2014, de la empresa CAP Compañía Siderúrgica Huachipato. Además, se adjuntan 2 CD con la información solicitada a ENAMI y CAP.

Ambas empresas responden a solicitud realizada mediante ordinario indicado en la materia. Cabe señalar que los titulares remitieron los antecedentes a nuestras oficinas debiendo dirigirlos a la Subsecretaría del Medio Ambiente, ubicada en San Martín N°73, Santiago, de acuerdo a lo indicado.

  
Rubén Verdugo Castillo  
División de Fiscalización  
Superintendencia del Medio Ambiente



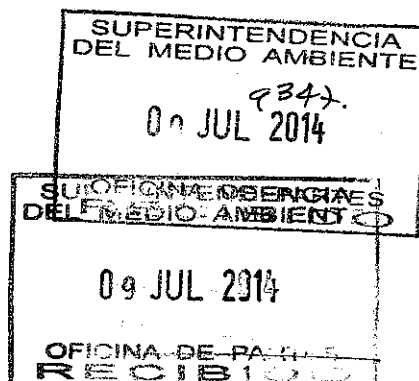
  
DHE/JHR/JEI/JRF/ILC

CC:

1. Oficina de Partes SMA,
2. División de Fiscalización, SMA

**FUNDICIÓN HERNÁN VIDELA LIRA N° 149**

PAIPOTE, martes 8 de julio de 2014.

 Señor  
 Cristián Franz Thorud  
 Superintendente (TP)  
 Superintendencia del Medio Ambiente  
 Santiago

 Ref.: Respuesta a Ord. N° 961 de fecha 19 de junio de 2014

De nuestra consideración:

En relación, a la solicitud realizada mediante Ord. N° 961, adjuntase sírvase encontrar la información en formato digital, según detalle:

- Información cada 5 min periodo de 2000 al 2002, y desde el 2010 a mayo 2014.
- Información cada 1 hora periodo 2010 al 2013
- Información Red de Monitoreo
- Resoluciones

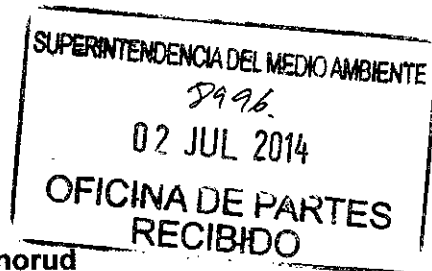
Esperando una buena acogida a la presente, se despide atentamente,

 ORLANDO ROJAS DEVIA  
 Gerente

Se adjunta CD.



000523



Talcahuano, 30 de junio de 2014

Señor  
**Cristian Franz Thorud**  
 Superintendente (TP)  
**SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE**

Ref.: Respuesta a Ordinario N° 961, año 2014

Estimado Señor:

Por este medio adjuntamos la información solicitada para la estación de meteorología y de monitoreo de calidad de aire, de nuestra propiedad que mide dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

1. **Nombre de la estación de monitoreo:** Estación Nueva Libertad.
2. **Coordenadas UTM:** 667962 E 5932742N, huso 18S, Datum WGS84.
3. **Resolución EMRP:** Se adjunta Resolución N° 192 de la SEREMI de Salud en el Anexo N°1.
4. **Base de datos Excel para velocidad y dirección del viento:** Se adjunta en CD planilla Excel que contiene datos de velocidad (en m/s) y dirección del viento (en grados) con resolución de 10 minutos, desde Enero del 2009 a Diciembre del 2013.
5. **Base de datos Excel para la concentración de SO<sub>2</sub>:** Se adjunta en CD planilla Excel que contiene datos de concentración de SO<sub>2</sub> (en ppbv) con resolución de 10 minutos, desde Enero del 2009 a Diciembre del 2013.

Sin otro particular, le saluda cordialmente,

p. **COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S.A.**



**Carolina López Venegas**  
 Jefe

**Desarrollo Sustentable y Coordinación Ambiental**



PB N° 874

000524



Superintendencia del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile



ORD N°: 73

ANT.: Oficio ORD. N° 143628, de 2014, del Ministro (S) del Medio Ambiente

MAT.: Informa lo solicitado

Santiago, 15 ENE 2015

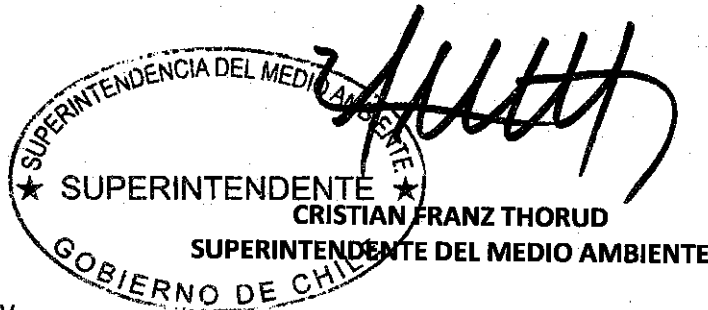
A : PABLO BADENIER MARTÍNEZ  
MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE

DE : CRISTIAN FRANZ THORUD  
SUPERINTENDENTE DEL MEDIO AMBIENTE

Esta Superintendencia ha recibido el oficio del ANT., donde solicita a esta Superintendencia nominar a uno o más representantes para los Comités Operativos de los procesos de dictación y revisión de las normas que indica. Al respecto, cumpla con informar que los representantes de esta Superintendencia son los siguientes:

- Revisión norma de calidad primaria para material particulado respirable (MP10): Isabel Leiva ([isabel.leiva@sma.gob.cl](mailto:isabel.leiva@sma.gob.cl)) y José Hernández ([jose.hernandez@sma.gob.cl](mailto:jose.hernandez@sma.gob.cl)).
- Revisión de la norma de calidad primaria para dióxido de azufre: Isabel Leiva ([isabel.leiva@sma.gob.cl](mailto:isabel.leiva@sma.gob.cl)) y José Hernández ([jose.hernandez@sma.gob.cl](mailto:jose.hernandez@sma.gob.cl)).
- Dictación de la norma de emisión para calderas y procesos de combustión: María de los Ángeles Hanne ([mhanne@sma.gob.cl](mailto:mhanne@sma.gob.cl)) y José Hernández ([jose.hernandez@sma.gob.cl](mailto:jose.hernandez@sma.gob.cl)).

Sin otro particular, saluda atentamente



DHE/ODLF/JJV

Distribución:

- Ministerio del Medio Ambiente.

c.c.:

- Fiscalía

- División de Fiscalización

- Oficina de Partes



000525

**MEMORÁNDUM N° 03/2015**

A : Jorge Cash Sáez  
Jefe División Jurídica

De : Sebastián Tolvett Caro  
Jefe División de Calidad del Aire

Mat. : Solicitud de análisis jurídico del Decreto Alcaldicio de la Municipalidad de Quintero N° 3437.

Fecha : 07 de enero de 2015

En el marco del proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), tengo a bien informar a usted que este proceso se encuentra dentro de las prioridades del Ministerio del Medio Ambiente por lo que se solicita su apoyo en el análisis jurídico del Decreto Alcaldicio de la Municipalidad de Quintero N° 3437 del 26 de agosto del 2014, se adjunta copia del Decreto Alcaldicio mencionado anteriormente.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

Sebastián Tolvett Caro  
Jefe División de Calidad del Aire  
Ministerio de Medio Ambiente

EGCF/CIF/gqs

C.c.:

- Archivo División de Calidad del Aire
- Archivo Departamento de Normas



LA MUNICIPALIDAD DE  
QUINTERO

*el primer segundo (VEF<sub>1</sub>), aumento de la resistencia de la vía aérea específica, y la aparición de síntomas como son disnea y sibilancias<sup>2</sup>.*

5. *Que las normas primarias de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población y que el D.S 113/2002 de la SEGPRES tiene por objetivo la protección de la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire comprendiendo por lo cual existe norma diaria (24 hrs.) y norma anual (tres años).*
6. *Que la norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> no regula los niveles de concentración horaria pero que en el Artículo 5° del D.S 113/2002 de la SEGPRES, se establece los niveles que originarán de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración 1 hora de acuerdo a los siguientes niveles*  
*Nivel 1 : 1.962 - 2.615 µg/m<sup>3</sup>N*  
*Nivel 2 : 2.616 - 3.923 µg/m<sup>3</sup>N*  
*Nivel 3 : 3.924 µg/m<sup>3</sup>N ó superior.*
7. *Que de acuerdo al informe de calidad del aire periodo 2012 de la SEREMI de Salud Región de Valparaíso, la comuna de Quintero registra condición de Latencia para la norma diaria en la estación Centro Quintero con 229 µg/m<sup>3</sup>N como concentración diaria.*
8. *Que el artículo 6° de la Ley N° 19.880 Establece Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, Modifica el artículo 25 del decreto con fuerza de ley N° 1, de 2006, del Ministerio del Interior, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N° 18.695, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, en los siguientes términos:*  
*"d) Proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados con medio ambiente;*  
*e) Aplicar las normas ambientales a ejecutarse en la comuna que sean de su competencia,*
9. *Que la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional del Ministerio del interior, establece en su artículo N° 4, letra b), que "Las municipalidades, en el ámbito de su territorio, podrán desarrollar, directamente o con otros órganos de la*

<sup>2</sup> CONAMA. Expediente público rol NOR 01/2000, Revisión de las normas primarias de calidad del aire para anhídrido sulfuroso, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno.



*Administración del Estado, funciones relacionadas con: La salud pública y la protección del medio ambiente;*

10. *Que la definición de los niveles de Alerta Ambiental permite establecer recomendaciones a la población de la zona de Quintero inserta en los límites geográficos definidos en el Plan de Descontaminación Ventanas fijado mediante D.S 252/92 del Ministerio de Minería, en base a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.*

11. *Que de acuerdo a los criterios indicados en el artículo anterior y que se encuentran señalados en el Protocolo de Alerta de la SEREMI de Salud en su página institucional.*

**DECRETO:**

**DEFÍÑASE** el rango cualitativo de calidad del aire, que define cuatro estados de calidad del aire para SO<sub>2</sub> como Buena, moderada, Alto, Muy Alto, para efectos de establecer protocolos preventivos de protección de Salud de la población vulnerable de la comuna de Quintero.

**APRUEBESE** en todas sus partes el protocolo sobre Medio Ambiente que regirá los Establecimientos Educativos Municipales de la Comuna de Quintero y Jardines Infantiles administrados por la Entidad Edilicia, estableciendo los siguientes criterios para 15 minutos:

- a) **Buena ó Nivel Bajo (rango cuantitativo entre 0- 265 µg/m<sup>3</sup>N):** Las concentraciones de SO<sub>2</sub> se encuentran dentro de rangos normales por lo que no existen restricciones de actividad física para ningún grupo de la población.
- b) **Moderado ó Nivel Moderado (rango cuantitativo entre 266-531 µg/m<sup>3</sup>N):** Establece niveles de concentración de cuidado para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos. Se recomendará reducir la actividad física extenuante al aire libre.
- c) **Nivel Alto (rango cuantitativo entre 532-1.063 µg/m<sup>3</sup>N):** Establece niveles de concentración de crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardiacos y pulmonares. Se deberá reducir el esfuerzo físico y la actividad física al aire libre. La población no

000527

VTA



*vulnerable que experimente molestias asociadas a ardor ocular, tos o dolor de garganta, debe considerar la reducción de esfuerzo físico al aire libre y asistir al centro asistencial.*

- d) Nivel Muy Alto (rango cuantitativo entre 1.064  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ó más)  
Establece niveles de concentración de muy crítico para grupos vulnerables como embarazadas, niños, adultos mayores y enfermos crónicos, en especial personas con problemas cardíacos y pulmonares. Toda la población debe evitar realizar actividad física al aire libre, en especial si presenta molestias como ardor ocular, tos o dolor de garganta, y asistir al centro asistencial.*

*Se sugiere el cierre de puertas y ventanas hasta que mejoren las condiciones de ventilación local.*

**DISTRIBÚYASE** el presente decreto alcaldicio en los Establecimientos Educativos y Jardines Infantiles con administración municipal y en cada una de las Unidades Municipales.

*Anótese, regístrese, cúmplase y archívese.*



*YESSINA GUERRA SANTIBAÑEZ*  
SECRETARIA MUNICIPAL



*MARCIO CARRASCO PARDO*  
ALCALDE

**DISTRIBUCIÓN:**

- 1.- Alcaldía
- 2.- Secretaría Municipal
- 3.- DAEM
- 4.- Administración (2)

MCP/YGS/RCC/vmg

Ministerio del Medio Ambiente  
División Jurídica

Memorandum N°99

DE: Jorge Cash Sáez  
Jefe División Jurídica

A: Sebastián Tolvett Caro  
Jefe División de Calidad del Aire

Ant. : Memo N°3 de 7 de enero de 2015

Materia: Decreto Alcaldicio N°3437 de la Municipalidad de Quintero

Fecha: 17 de marzo de 2015

---

Se ha solicitado por Memorandum N°3 de 7 de enero de 2015, de la División de Calidad del Aire, se informe sobre el Decreto Alcaldicio N°3437, de 26 de agosto de 2014, de la Municipalidad de Quintero, que aprueba un protocolo sobre medio ambiente que regirá los Establecimientos Educativos Municipales de la Comuna de Quintero, estableciendo criterios de calidad del aire respecto del contaminante SO<sub>2</sub>, para 15 minutos, en rangos que no han sido establecidos por una norma de calidad ambiental conforme a la ley 19.300, y su reglamento, el D.S. N°38 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente.

Al respecto, puedo informar a Ud. que las municipalidades pueden dictar normativa de carácter ambiental, sin embargo, y como lo señala el Dictamen N° 21.322, de 14 de junio de 1999, de la Contraloría General de la República, deben hacerlo con la prevención de que las disposiciones que se dicten, se enmarquen en la normativa legal vigente, de tal manera que dichas normas de ningún modo puedan establecer mayores requisitos o restricciones que aquellas que han sido impuestas por ley o por las normas dictadas por los órganos competentes en materia ambiental.

Establecer normas de calidad ambiental para los contaminantes cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población es función exclusiva del Ministerio del Medio Ambiente. Las normas primaria de calidad ambiental se dictan a través de un proceso regulado, que abarca un conjunto de etapas, y que culmina con la dictación de un decreto supremo, que debe llevar las firmas del Ministro del Medio Ambiente y del Ministro de Salud, que debe ir a toma de razón y que puede ser impugnado ante los Tribunales Ambientales. De lo anterior se deriva que las municipalidades al dictar su normativa ambiental relativa a criterios de calidad ambiental, deben aplicar las normas de calidad ambiental dictadas conforme a la ley 19.300, en este caso la norma

000528


primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) establecida por el D.S. N°113 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Sin perjuicio de lo anterior, se aprecia que el decreto alcaldicio se limita a dar recomendaciones a la población que son, en todo caso, de cumplimiento voluntario, sobre la base, según señala en el decreto alcaldicio, de un protocolo de alerta de la SEREMI de Salud de la V Región, basado en recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Al respecto, cabría consultar a la mencionada Secretaría Regional Ministerial de Salud, la razón por la cual las recomendaciones difundidas se basan en propuestas de un organismo internacional y no en las normas de calidad ambiental vigentes en Chile para dicho contaminante, establecidas en el D.S. N°113 de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, suscrito por el ministro de dicha cartera y el Ministro de Salud.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.



Jorge Cash Sáez  
Jefe División Jurídica



CRP  
CC.  
Archivo  
m.e. 769/2015





**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**INSTITUTO DE SALUD POBLACIONAL**

**TRABAJO DE PASANTÍA:**  
**ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE RIESGO ATRIBUIBLE A SO<sub>2</sub>**  
**EN ZONAS VULNERABLES DE CHILE**

**MACARENA VALDÉS SALGADO**  
Programa de Doctorado en Salud Pública

Informe elaborado para:  
Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire y Cambio Climático  
Ministerio del Medio Ambiente  
Carmen Gloria Conteras, Jefe del Departamento de Normas  
Cristián Ibarra, responsable revisión de la norma calidad de SO<sub>2</sub>

SANTIAGO DE CHILE

Marzo 2015

000529

vta.

<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO 1. Evaluación de Riesgo</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO 2. Evaluación de Riesgo en distintos escenarios de norma primaria de calidad del aire de SO<sub>2</sub>.</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO 3. Comunicación de Riesgo</b>	<b>28</b>
<b>LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA</b>	<b>30</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>33</b>

## RESUMEN

El dióxido de azufre impacta sobre la calidad del aire y subsecuentemente sobre la salud de las personas, especialmente en áreas de zona industrial donde la combustión de energía fósil es común. Efectos a corto plazo del dióxido de azufre provenientes de estudios toxicológicos, reunidos en el estudio AHW, proveen extensa y sólida evidencia sobre el efecto de concentraciones mínimas sobre la salud<sup>1</sup>. En humanos este daño, implica cambios en la función pulmonar que llegan a ser irreversibles en poblaciones vulnerables tales como los asmáticos. Efectos a largo plazo se han asociado a eventos como aumento de la mortalidad general, enfermedad respiratoria y enfermedad cardiovascular.

Una forma de estimar o evaluar los eventos adversos que ocurren en determinados escenarios, se realiza a través del análisis de riesgo. El análisis de riesgo o evaluación de riesgo permite cuantificar los eventos de salud atribuibles a la polución y que pueden ser evitados en la medida que se establezcan normativas orientadas a la disminución de los contaminantes. Dicho lo anterior, las normas primaria de calidad de aire son instrumentos que utilizan los países para proteger la salud de las personas. Normas sustentadas en la evidencia científica que incorporan elementos como el análisis de riesgo, son consistentes con una gobernanza sustentable.

El objetivo de este informe es aportar en el proceso de revisión de la norma primaria de la calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que lleva a cabo el Ministerio del Medio Ambiente. Su contribución es estimar cuantitativamente el riesgo en salud asociado a la exposición a dióxido de azufre, en cuanto a cuatro eventos de salud: mortalidad general, mortalidad infantil, asma en niños y consultas de urgencia por eventos respiratorios en niños, en 10 zonas vulnerables de Chile. Esto permitirá conocer el número de casos atribuibles a la polución por dióxido de azufre así como el riesgo relativo asociado a distintos escenarios de normas.

<sup>1</sup> Health Effects Associated with Short-term Exposure to Low Levels of Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) – A Technical Review. Alberta Health and Wellness, Health Surveillance, Edmonton, Alberta. Canadá (2006). ISBN 0-7785-3480-4. [www.health.gov.ab.ca](http://www.health.gov.ab.ca)

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del ecosistema afecta el desarrollo de la comunidad así como su salud, aumentando la morbilidad y mortalidad asociada a la contaminación. Lo anterior involucra la gestión de políticas públicas orientadas a resguardar el derecho a un ambiente saludable y próspero, lo cual es consistente con el discurso de la Organización Panamericana de Salud, la prevención de riesgos modernos y el desarrollo de una gobernanza sustentable (1, 2).

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas incoloro, de olor penetrante generado en la combustión de fósiles como carbón o petróleo y en la fundición de menas que contienen azufre. La fuente principal de  $\text{SO}_2$  antropogénico, se debe a la combustión de fósiles que contienen azufre usados principalmente para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor (3), actividades comunes y necesarias en el mundo de hoy. En Chile, la actividad industrial de fundiciones de cobre (Cu) y termoeléctricas, se asocian a la contaminación por  $\text{SO}_2$ .

Existe evidencia científica sobre los efectos en salud que tiene  $\text{SO}_2$ , tanto agudos como crónicos. El  $\text{SO}_2$ , afecta el sistema respiratorio a nivel de epitelio, lo que se traduce en cambios en la función pulmonar debido a la cascada inflamatoria producida por este contaminante. Una concentración ambiental alta en el aire respirable de este compuesto, tiene efectos agudos evidentes como irritación de ojos, tos, secreción mucosa y agravamiento del asma en el caso de individuos aquejados por esta afección; esto genera un aumento en la propensión de la población general a contraer infecciones del sistema respiratorio así como un agravamiento de la condición de base de pacientes aquejados por asma y otras afecciones respiratorias (4). Los ingresos hospitalarios aumentan en los días en que los niveles de  $\text{SO}_2$  son más elevados. Efectos crónicos del  $\text{SO}_2$  se han asociados a eventos respiratorios, cardiovasculares y aumento de la mortalidad general (5). En el ecosistema, el  $\text{SO}_2$  en combinación con el agua, se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida causante de acidificación de los suelos y de la deforestación (6).

Agencias y organismos reguladores como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) o la Organización Mundial de la Salud (OMS), recomiendan valores de referencia que eviten los efectos adversos de la exposición a  $\text{SO}_2$  (75 ppb, equivalente a  $196,5 \text{ ug/m}^3$  de exposición a  $\text{SO}_2$  a nivel horario es lo señalado por US-EPA;  $125 \text{ ug/m}^3$  de exposición a  $\text{SO}_2$  por 24 horas es lo señalado por la OMS). Sin embargo estos valores representan un desafío para países como el nuestro, donde actividades económicas relevantes, tales como la generación de electricidad por termoeléctricas y la producción de cobre fino a través de las fundiciones, genera  $\text{SO}_2$  al ambiente.

Por lo tanto las regulaciones y normas de calidad de aire representan conjuntamente instrumentos de prevención de eventos en salud tanto crónicos como agudos. En Chile, la norma primaria referente al  $\text{SO}_2$  en aire indica valores de  $80 \text{ ug/m}^3$  de exposición promedio anual, y de  $250 \text{ ug/m}^3$  de exposición promedio de 24 horas. Los registros nacionales, indican que estos valores varían dependiendo de las fuentes de contaminación asociadas a las zonas de monitoreo. Dicho lo anterior, es necesario estimar el riesgo atribuible a  $\text{SO}_2$  en zonas vulnerables mediante un análisis de riesgo de modo de conocer la distribución de estos eventos de salud a nivel comunal y no tan sólo a nivel nacional. Por lo tanto, el objetivo general de este informe es aportar en el proceso de revisión de la norma primaria para dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) estimando cuantitativamente el riesgo en salud asociado a la exposición a dióxido de azufre, considerando para ello cuatro eventos de salud: mortalidad general, mortalidad infantil, asma en niños y consultas de urgencia por eventos respiratorios. Esto se realizara en 10 zonas consideradas como vulnerables y de interés para el Ministerio del Medio Ambiente, debido a su cercanía a importantes núcleos industriales que son fuentes emisoras de este contaminante (principalmente termoeléctricas y fundiciones). Para la cuantificación de casos atribuibles a la contaminación se usaron las funciones de dosis respuesta reportadas en la revisión de literatura científica realizada por el Centro Nacional de Medio Ambiente<sup>2</sup> (7), para los 4 efectos estudiados: mortalidad general, mortalidad infantil y asma en niños como eventos crónicos y visitas a urgencia por asma en niños como evento agudo.

<sup>2</sup> Centro Nacional del Medio Ambiente. Informe preparado para el Ministerio de Medio Ambiente "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).Diciembre, 2014; Capítulo 3.

000531

VTA.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo General

-Estimar el riesgo atribuible a dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en zonas consideradas vulnerables y de interés para el Ministerio del Medio Ambiente, mediante análisis de riesgo

### Objetivos específicos

- Analizar la revisión de literatura científica en documentos asociados a la norma primaria de SO<sub>2</sub> y seleccionar evidencia científica para cuantificación de casos atribuibles.
  
- Estimar casos atribuibles a polución en efectos agudos y crónicos a través de una medida de impacto de salud pública.
  
- Identificar variables confusoras y modificadoras de efecto relacionadas con los efectos estudiados.
  
- Comparar la estimación de casos atribuibles en distintas comunas.

## CAPITULO 1. Evaluación de Riesgo

Para la evaluación de riesgo, se escogieron 3 eventos crónicos: Mortalidad General, Mortalidad Infantil, y Asma en niños; y 1 evento agudo: Visitas diarias a urgencia por asma en niños. Se usaron estos efectos en salud dada la disponibilidad de datos para la estimación de casos atribuibles a la polución. Otros efectos mencionados en la revisión de la literatura realizada en el informe realizado por el CENMA<sup>2</sup>, tales como hipertensión en el embarazo, polimorfismo y resistencia a la insulina, malformaciones congénitas, implante de desfibrilador cardiaco o arritmias por mencionar algunos, no fueron estudiados ya que no hay disponibilidad de registros centralizados e institucionales a nivel nacional, regional o comunal sobre tasa de basal o prevalencia de estos eventos ni tampoco existe casuística de corto, mediano o largo plazo, para la estimación de eventos atribuibles.

Para el cálculo de los eventos evitables, se utilizaron los siguientes datos y sus respectivas fuentes (Tabla 1):

**Tabla 1. Datos usados para la estimación de casos atribuibles a la polución y fuente de referencia.**

Dato	Fuente
Población total por comuna, 2011	Departamento de Estadística e Información en Salud (DEIS) <sup>3</sup> . Se considera este año dado que se cuenta con información completa
Nacidos vivos inscritos según peso al nacer, por Región y Comuna de residencia de la madre. Chile, 2011	Departamento de Estadística e Información en Salud (DEIS). Se considera este año dado que se cuenta con información completa
Población menor a 15 años	Estimación propia. Se aplica la prevalencia de niños entre 0 y 14 años por región estimada por el Instituto Nacional de estadística para calcular la cantidad de niños por comuna.
Tasa de mortalidad general por región	Documento de Indicadores. Proyección de Población 2014 (Actualización). Instituto Nacional de Estadísticas <sup>4</sup>
Tasa de mortalidad infantil por región	Documento de Indicadores. Proyección de Población 2014 (Actualización). Instituto Nacional de Estadísticas
Tasa de Asma por región en niños	Encuesta Nacional de Salud 2009. Información reportada en Informe de Centro Nacional de Medio Ambiente <sup>5</sup>

Visitas diarias a sala de urgencia por asma en niños (Considerado en el CIE 10 como los códigos :J40-J46.	Egresos hospitalarios del año 2011 (base de datos completa y más actualizada de uso público). Departamento de Estadística e Información en Salud (DEIS)
---	---

**Fuente:** Elaborado por Macarena Valdés, Doctorante Programa Doctorado Salud Pública.

En el caso de las funciones de dosis-respuesta reportadas en cada evento de salud estimado en este informe, se utilizó los datos de la revisión de la literatura realizada en el informe del Centro Nacional de Medio Ambiente para el Ministerio(8). En cada evento se seleccionó el artículo que se especifica a continuación y luego se cálculo el estimador de dosis respuesta conocido como "Beta" (ver Tabla 2).

- a) Mortalidad General (5) : Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. Am J Respir Crit Care Med. 2013;187(11):1226-33.
- b) Mortalidad Infantil (9): Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P, Busby A, Dolk H. Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities. J Epidemiol Community Health. 2007;61(8):719-22.
- c) Asma en niños (10): Pan G, Zhang S, Feng Y, Takahashi K, Kagawa J, Yu L, et al. Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China. Respir Med. 2010;104(12):1903-11.
- d) Visitas a urgencia por asma (11): Ito K, Thurston GD, Silverman RA. Characterization of PM2.5, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007;17 Suppl 2:S45-60.

<sup>3</sup> Departamento de Estadística e Información en Salud (DEIS). Acápite "Descargar bases de datos" <http://www.deis.cl/>.

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Acapite: Productos Estadísticos. Demográficos y Vitales y INE Regiones. <http://www.ine.cl>

<sup>5</sup> Centro Nacional del Medio Ambiente. Informe preparado para el Ministerio de Medio Ambiente "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>). Diciembre, 2014; pp 179.



**Tabla 2. Estimadores de dosis-respuesta (conocidos como “Beta”) según evento estudiado.**

Evento en salud	Artículo científico	Concentración de SO <sub>2</sub> reportada en el artículo (µg/m <sup>3</sup> )	Dosis respuesta reportada en el artículo	Beta Calculado*
Mortalidad General	Carey et al. 2013. Am. J. Resp Crit Car Med.	2,2	RR:1,03 IC95%(1,01-1,05)	0,0134
Mortalidad Infantil	Hajat et al. 2007.JECH	10	RR:1,02 IC95%(1,01-1,04)	0,0020
Asma en niños	Pan et al 2010. RM.Ashtma Chronic	69	RR:1,52 IC95%(1,21-1,92)	0,0061
Visitas urgencias por Asma	Ito et al.2007.JESEE.Timeseries	15,708 (6ppb)	RR: 1,2 IC95%(1,13-1,28)	0,0116

\*Beta Calculado =  $\ln(RR)/\text{concentración reportada } \mu\text{g/m}^3$

Fuente: Elaborado por Macarena Valdés, Doctorante Programa Doctorado Salud Pública.

Las zonas estudiadas fueron aquellas consideradas de interés por el Ministerio del Medio Ambiente debido a su proximidad a fuentes de emisión de SO<sub>2</sub>.

**Tabla 3. Número de habitantes considerada por zona vulnerable estudiada.**

REGIÓN	COMUNA	POBLACIÓN	ZONAS VULNERABLES	POBLACION TOTAL*	CONCENTRACION PROMEDIO SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> **
Antofagasta	Tocopilla	21.328	Tocopilla	21.328	64,4
Antofagasta	Calama	148.784	Calama	148.784	4,1
Antofagasta	Mejillones	11.096	Mejillones	11.096	8,9
Antofagasta	Antofagasta	372.973	Antofagasta – La Negra Coviefi	372.973	0,8
Atacama	Copiapó	163.866	Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla*	177.771	32,9
	Paipote	No se considera como comuna			
	Tierra Amarilla	13.905			

000533

VTA.

Atacama	Huasco	8.000	Huasco - SM9 Escuela Carrera JJ	8.000	18,1
Valparaiso	Catemu	13.303	Catemu - LlayLlay*	36902	68
	LlayLlay	23.599			
Valparaiso	Puchuncavi	16.268	Quintero - Puchuncavi*	42.086	80,6
	Quintero	25.818			
O'Higgins	Machali	35.942	Machali - Coya	35.942	29,5
	Coya	No se considera como comuna			
Bio-Bio	Coronel	109.625	Coronel - Lota- Hualpen- Talcahuano*	413.901	17,7
	Lota	47.542			
	Hualpén	85.110			
	Talcahuano	171.624			

\* El número de personas considerado en zonas compuestas por más de una comuna, correspondió a la suma de personas de cada comuna cuando el dato estaba disponible.

\*\* Las concentraciones de SO<sub>2</sub> reportadas corresponden a los Promedio anuales de concentraciones de SO<sub>2</sub> por zona y estación, periodo 2011-2013. Fuente: Centro Nacional del Medio Ambiente. Informe preparado para el Ministerio de Medio Ambiente "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>). Diciembre, 2014; pp 327.

Adicionalmente se consideraron 3 zonas controles de la Región Metropolitana, para comparar lo sucedido en las zonas vulnerables respecto de lo ocurrido en RM.

**Tabla 4. Número de habitantes proyectado para el 2011 y concentración promedio de SO<sub>2</sub> durante el año 2011.**

COMUNA	POBLACION TOTAL	CONCENTRACIÓN PROMEDIO µg/m <sup>3</sup>
Independencia	51.277	4,585
El Bosque	168.302	4,11
Puente Alto	735.415	4,66

## Eventos de salud

Para cuatro eventos en salud considerados: mortalidad general, mortalidad infantil, asma en niños y visitas diarias a urgencia por asma, existen otras variables que pueden influir en la cuantificación de eventos.

- A) **CONFUSORES:** Son aquellas variables que tienen relación con la exposición y con el evento en salud. A nivel comunal, la cantidad de centros de salud disponible así como la actividad económica predominante de la comuna podrían representar confusores que para los fines de este estudio no serán medidos.
- B) **MODIFICADORES DE EFECTO:** Son aquellas variables que como su nombre lo indica generan distintos niveles del efecto esperado. A nivel comunal el índice de adultos mayores, o el porcentaje de migración podría representar un modificador de efecto.

### 1. Mortalidad General

En este caso se puede calcular el número de eventos evitables (si la concentración del contaminante fuera cero) de la siguiente forma:

$$\text{Casos Evitados} = \text{Población} * \text{Tasa Basal de evento estudiado} * \text{Beta} * \text{Concentración contaminante}$$

Sin embargo el SO<sub>2</sub> es parte de la composición de la atmósfera, por lo que es más útil calcular los casos atribuibles a una concentración determinada. Por lo mismo en este caso se calculó el RR asociado a las concentraciones promedios en cada zona y la fracción atribuible poblacional (%FAP). La fracción atribuible poblacional corresponderá al número de casos atribuibles a la polución, del total de eventos en salud. Por ejemplo si esperamos que hayan 100 casos de un evento como hospitalizaciones y el %FAP= 40%, los casos atribuibles a polución serán 40.

**Tabla 5. Número de casos atribuibles a la concentración de SO<sub>2</sub> según zona.**

Zonas		Población	Tasa basal	Casos esperados según tasa base (1)	RR (2)	PAF (3)	Casos atribuibles al delta de concentración(4)
<b>Tocopilla</b>	Mortalidad general	21328	0,00474	101,1	2,382	0,580	58,7
	Límite inferior	21328	0,00474	101,1	1,339	0,253	25,6

000534

VTA

	Límite superior	21328	0,00474	101,1	4,190	0,761	77,0
<b>Calama</b>	Mortalidad general	148784	0,00474	705,2	1,057	0,054	37,8
	Límite inferior	148784	0,00474	705,2	1,019	0,018	13,0
	Límite superior	148784	0,00474	705,2	1,095	0,087	61,3
<b>Mejillones</b>	Mortalidad general	11096	0,00474	52,6	1,127	0,113	5,9
	Límite inferior	11096	0,00474	52,6	1,041	0,039	2,1
	Límite superior	11096	0,00474	52,6	1,218	0,179	9,4
<b>Antofagasta - La Negra Coviefi</b>	Mortalidad general	372973	0,00474	1767,9	1,011	0,011	18,9
	Límite inferior	372973	0,00474	1767,9	1,004	0,004	6,4
	Límite superior	372973	0,00474	1767,9	1,018	0,018	31,1
<b>Copiapó- Paipote-Tierra Amarilla</b>	Mortalidad general	177771	0,00483	858,6	1,556	0,357	306,8
	Límite inferior	177771	0,00483	858,6	1,160	0,138	118,7
	Límite superior	177771	0,00483	858,6	2,074	0,518	444,7
<b>Huasco</b>	Mortalidad general	8000	0,00483	38,6	1,275	0,216	8,3
	Límite inferior	8000	0,00483	38,6	1,085	0,079	3,0
	Límite superior	8000	0,00483	38,6	1,494	0,331	12,8
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Mortalidad general	36902	0,00659	243,2	2,493	0,599	145,7
	Límite inferior	36902	0,00659	243,2	1,360	0,265	64,4
	Límite superior	36902	0,00659	243,2	4,518	0,779	189,4
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Mortalidad general	42086	0,00659	277,3	2,953	0,661	183,4
	Límite inferior	42086	0,00659	277,3	1,440	0,305	84,7
	Límite superior	42086	0,00659	277,3	5,974	0,833	230,9
<b>Machali - Coya</b>	Mortalidad general	35942	0,00591	212,4	1,486	0,327	69,5
	Límite inferior	35942	0,00591	212,4	1,143	0,125	26,5
	Límite superior	35942	0,00591	212,4	1,924	0,480	102,0
<b>Coronel - Lota-Hualpen-Talcahuano</b>	Mortalidad general	413901	0,00583	2413,0	1,268	0,212	510,7

	Límite inferior	413901	0,00583	2413,0	1,083	0,077	185,6
	Límite superior	413901	0,00583	2413,0	1,481	0,325	783,4
<b>Independencia</b>	Mortalidad general	51277	0,00537	275,4	1,064	0,060	16,5
	Límite inferior	51277	0,00537	275,4	1,021	0,021	5,7
	Límite superior	51277	0,00537	275,4	1,107	0,097	26,6
<b>El Bosque</b>	Mortalidad general	168302	0,00537	903,8	1,057	0,054	48,6
	Límite inferior	168302	0,00537	903,8	1,019	0,018	16,7
	Límite superior	168302	0,00537	903,8	1,096	0,087	78,8
<b>Puente Alto</b>	Mortalidad general	735415	0,00537	3949,2	1,065	0,061	239,9
	Límite inferior	735415	0,00537	3949,2	1,021	0,021	82,4
	Límite superior	735415	0,00537	3949,2	1,109	0,098	388,0

Para el cálculo de eventos esperados tenemos

**(1) Casos Esperados= Población \* Tasa Basal Regional de evento estudiado (se usa la tasa regional en lugar de la comunal por su estabilidad)**

**(2) Riesgo Relativo (RR)= exp<sup>(Función dosis-resp \* Concentración Contaminante)</sup>**

**(3) Fracción atribuible poblacional (PAF) = (RR -1)/RR**

**(4) Casos atribuibles = Casos Esperados \* PAF**

## 2. Mortalidad Infantil.

Para el calculo de los casos atribuibles a mortalidad infantil se considera como población el número de nacidos vivos por comuna y la tasa de mortalidad infantil regional, por ser más estable que la comunal.

**Tabla 6. Número de casos atribuibles a la concentración de SO<sub>2</sub> según zona.**

Zonas	Población (nacidos vivos)	Tasa basal	Casos esperados según tasa base (1)	RR (2)	PAF (3)	Casos atribuibles al delta de concentración(4)
-------	---------------------------	------------	-------------------------------------	--------	---------	--

000535

VTA.

<b>Tocopilla</b>	Mortalidad infantil	436	0,00845	3,7	1,136	0,120	0,4
	Límite inferior	436	0,00845	3,7	1,066	0,062	0,2
	Límite superior	436	0,00845	3,7	1,288	0,224	0,8
<b>Calama</b>	Mortalidad infantil	2893	0,00845	24,4	1,008	0,008	0,2
	Límite inferior	2893	0,00845	24,4	1,004	0,004	0,1
	Límite superior	2893	0,00845	24,4	1,016	0,016	0,4
<b>Mejillones</b>	Mortalidad infantil	159	0,00845	1,3	1,018	0,017	0,0
	Límite inferior	159	0,00845	1,3	1,009	0,009	0,0
	Límite superior	159	0,00845	1,3	1,036	0,034	0,0
<b>Antofagasta - La Negra - Coviefi</b>	Mortalidad infantil	6128	0,00845	51,8	1,002	0,002	0,1
	Límite inferior	6128	0,00845	51,8	1,001	0,001	0,0
	Límite superior	6128	0,00845	51,8	1,003	0,003	0,2
<b>Copiapó- Paipote-Tierra Amarilla</b>	Mortalidad infantil	3096	0,00909	28,1	1,067	0,063	1,8
	Límite inferior	3096	0,00909	28,1	1,033	0,032	0,9
	Límite superior	3096	0,00909	28,1	1,138	0,121	3,4
<b>Huasco</b>	Mortalidad infantil	163	0,00909	1,5	1,036	0,035	0,1
	Límite inferior	163	0,00909	1,5	1,018	0,018	0,0
	Límite superior	163	0,00909	1,5	1,074	0,069	0,1
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Mortalidad infantil	564	0,00756	4,3	1,144	0,126	0,5
	Límite inferior	564	0,00756	4,3	1,070	0,065	0,3

	Límite superior	564	0,00756	4,3	1,306	0,234	1,0
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Mortalidad infantil	583	0,00756	4,4	1,173	0,148	0,7
	Límite inferior	583	0,00756	4,4	1,084	0,077	0,3
	Límite superior	583	0,00756	4,4	1,372	0,271	1,2
<b>Machali - Coya</b>	Mortalidad infantil	692	0,00771	5,3	1,060	0,057	0,3
	Límite inferior	692	0,00771	5,3	1,030	0,029	0,2
	Límite superior	692	0,00771	5,3	1,123	0,109	0,6
<b>Coronel - Lota-Hualpen-Talcahuano</b>	Mortalidad infantil	5829	0,00719	41,9	1,036	0,034	1,4
	Límite inferior	5829	0,00719	41,9	1,018	0,017	0,7
	Límite superior	5829	0,00719	41,9	1,072	0,067	2,8
<b>Independencia</b>	Mortalidad infantil	1139	0,00707	8,1	1,064	0,060	0,5
	Límite inferior	1139	0,00707	8,1	1,021	0,021	0,2
	Límite superior	1139	0,00707	8,1	1,107	0,097	0,8
<b>El Bosque</b>	Mortalidad infantil	2498	0,00707	17,7	1,057	0,054	0,9
	Límite inferior	2498	0,00707	17,7	1,019	0,018	0,3
	Límite superior	2498	0,00707	17,7	1,096	0,087	1,5
<b>Puente Alto</b>	Mortalidad infantil	8519	0,00707	60,2	1,065	0,061	3,7
	Límite inferior	8519	0,00707	60,2	1,021	0,021	1,3
	Límite superior	8519	0,00707	60,2	1,109	0,098	5,9

### 3. Asma en niños.

Para el cálculo de los casos atribuibles de asma en niños se usó la proyección de niños menores de 15 años del Instituto Nacional de Estadística para el 2011. Y se aplicó la prevalencia regional de uso de tratamiento en asmáticos de la Encuesta Nacional de Salud del año 2009.

**Tabla 7. Número de casos atribuibles a la concentración de SO<sub>2</sub> según zona.**

Zonas		Población (niños de 15 o menos años)	Tasa basal	Casos esperado s según tasa base (1)	RR (2)	PAF (3)	Casos atribuibles al delta de concentración(4)
<b>Tocopilla</b>	Valor estimado	5183	0,062	321,3	1,480	0,324	104,2
	Límite inferior	5183	0,062	321,3	1,195	0,163	52,5
	Límite superior	5183	0,062	321,3	1,842	0,457	146,9
<b>Calama</b>	Valor estimado	36155	0,062	2241,6	1,025	0,025	55,1
	Límite inferior	36155	0,062	2241,6	1,011	0,011	25,2
	Límite superior	36155	0,062	2241,6	1,040	0,038	85,2
<b>Mejillones</b>	Valor estimado	2696	0,062	167,2	1,055	0,053	8,8
	Límite inferior	2696	0,062	167,2	1,025	0,024	4,1
	Límite superior	2696	0,062	167,2	1,088	0,081	13,5
<b>Antofagasta - La Negra Coviefi</b>	Valor estimado	90632	0,062	5619,2	1,005	0,005	27,2
	Límite inferior	90632	0,062	5619,2	1,002	0,002	12,4
	Límite superior	90632	0,062	5619,2	1,008	0,008	42,3
<b>Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla</b>	Valor estimado	43376	0,055	2385,7	1,221	0,181	431,8
	Límite inferior	43376	0,055	2385,7	1,095	0,087	207,3
	Límite superior	43376	0,055	2385,7	1,365	0,267	637,7
<b>Huasco</b>	Valor estimado	1952	0,055	107,4	1,116	0,104	11,2
	Límite inferior	1952	0,055	107,4	1,051	0,049	5,2
	Límite superior	1952	0,055	107,4	1,187	0,157	16,9
<b>Catemu -</b>	Valor	7786	0,044	342,6	1,511	0,338	115,8



<b>LlayLlay</b>	estimado						
	Límite inferior	7786	0,044	342,6	1,207	0,171	58,7
	Límite superior	7786	0,044	342,6	1,902	0,474	162,5
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Valor estimado	8880	0,044	390,7	1,631	0,387	151,1
	Límite inferior	8880	0,044	390,7	1,249	0,200	78,0
	Límite superior	8880	0,044	390,7	2,143	0,533	208,4
<b>Machali - Coya</b>	Valor estimado	8123	0,049	398,0	1,196	0,164	65,2
	Límite inferior	8123	0,049	398,0	1,085	0,078	31,2
	Límite superior	8123	0,049	398,0	1,322	0,243	96,9
<b>Coronel - Lota-Hualpen-Talcahuano</b>	Valor estimado	91472	0,08	7317,8	1,113	0,102	745,2
	Límite inferior	91472	0,08	7317,8	1,050	0,048	349,2
	Límite superior	91472	0,08	7317,8	1,182	0,154	1127,6
<b>Independencia</b>	Valor estimado	11281	0,0066	74,5	1,064	0,060	4,4
	Límite inferior	11281	0,0066	74,5	1,021	0,021	1,5
	Límite superior	11281	0,0066	74,5	1,107	0,097	7,2
<b>El Bosque</b>	Valor estimado	37026	0,0066	244,4	1,057	0,054	13,1
	Límite inferior	37026	0,0066	244,4	1,019	0,018	4,5
	Límite superior	37026	0,0066	244,4	1,096	0,087	21,3
<b>Puente Alto</b>	Valor estimado	161791	0,0066	1067,8	1,065	0,061	64,9
	Límite inferior	161791	0,0066	1067,8	1,021	0,021	22,3
	Límite superior	161791	0,0066	1067,8	1,109	0,098	104,9

#### 4. Visitas diarias a urgencia por problemas de asma

Para el cálculo de los casos atribuibles de asma en niños se usó el registro de egresos hospitalarios diarios del DEIS año 2011 (egresos por causas según CIE 10 J40-46) y la proyección de niños menores de 15 años del Instituto Nacional de Estadística para el 2011. Este es el único evento agudo que se estudió.

000537

VTA

Tabla 8. Número de casos atribuibles a la concentración de SO<sub>2</sub> según zona.

Zonas		Población (niños de 15 o menos años)	Tasa basal	Casos esperado s según tasa base (1)	RR (2)	PAF (3)	Casos atribuibles al delta de concentracion(4)
<b>Tocopilla</b>	Valor estimado	5183	0,0465	241,0	2,117	0,528	127,1
	Límite inferior	5183	0,0465	241,0	1,653	0,395	95,2
	Límite superior	5183	0,0465	241,0	2,760	0,638	153,7
<b>Calama</b>	Valor estimado	36155	0,0465	1681,3	1,049	0,046	78,1
	Límite inferior	36155	0,0465	1681,3	1,032	0,031	52,8
	Límite superior	36155	0,0465	1681,3	1,067	0,062	104,9
<b>Mejillones</b>	Valor estimado	2696	0,0465	125,4	1,109	0,098	12,3
	Límite inferior	2696	0,0465	125,4	1,072	0,067	8,4
	Límite superior	2696	0,0465	125,4	1,150	0,131	16,4
<b>Antofagasta - La Negra Coviefi</b>	Valor estimado	90632	0,0465	4214,6	1,009	0,009	39
	Límite inferior	90632	0,0465	4214,6	1,006	0,006	26,2
	Límite superior	90632	0,0465	4214,6	1,013	0,012	52,7
<b>Copiapó- Paipote-Tierra Amarilla</b>	Valor estimado	43376	0,1012	4390,9	1,465	0,317	1393,7
	Límite inferior	43376	0,0675	2926,8	1,292	0,226	661,0
	Límite superior	43376	0,0675	2926,8	1,677	0,404	1181,6
<b>Huasco</b>	Valor estimado	1952	0,0675	131,7	1,234	0,189	25,0
	Límite inferior	1952	0,0675	131,7	1,151	0,131	17,3
	Límite superior	1952	0,1012	197,6	1,329	0,248	48,9
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Valor estimado	7786	0,1012	788,2	2,202	0,546	430,2
	Límite inferior	7812	0,1012	790,8	1,697	0,411	324,9
	Límite superior	7812	0,1012	790,8	2,911	0,657	519,2
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Valor estimado	8880	0,1092	970,1	2,549	0,608	589,4

	Límite inferior	8880	0,1092	970,1	1,872	0,466	451,9
	Límite superior	8880	0,1092	970,1	3,549	0,718	696,7
<b>Machali - Coya</b>	Valor estimado	8123	0,1319	1071,6	1,408	0,290	310,7
	Límite inferior	8123	0,1319	1071,6	1,258	0,205	219,8
	Límite superior	8123	0,1319	1071,6	1,590	0,371	397,5
<b>Coronel - Lota-Hualpen-Talcahuano</b>	Valor estimado	91472	0,1468	13426,8	1,228	0,186	2493,5
	Límite inferior	91472	0,1468	13426,8	1,148	0,129	1727,4
	Límite superior	91472	0,1468	13426,8	1,321	0,243	3260,4
<b>Independencia</b>	Valor estimado	11281	0,0921	1039,2	1,064	0,060	62,1
	Límite inferior	11281	0,0921	1039,2	1,021	0,021	21,3
	Límite superior	11281	0,0921	1039,2	1,107	0,097	100,5
<b>El Bosque</b>	Valor estimado	37026	0,0921	3410,8	1,057	0,054	183,4
	Límite inferior	37026	0,0921	3410,8	1,019	0,018	62,9
	Límite superior	37026	0,0921	3410,8	1,096	0,087	297,4
<b>Puente Alto</b>	Valor estimado	161791	0,0921	14903,7	1,065	0,061	905,2
	Límite inferior	161791	0,0921	14903,7	1,021	0,021	311,1
	Límite superior	161791	0,0921	14903,7	1,109	0,098	1464,4

## CAPITULO 2. Evaluación de Riesgo en distintos escenarios de norma primaria de calidad del aire de SO<sub>2</sub>.

Considerando que el cálculo de eventos atribuibles de un determinado evento en salud asociado a la contaminación por SO<sub>2</sub>, depende del riesgo relativo reportado en el paper de referencia y subsecuentemente de la concentración de SO<sub>2</sub> utilizada en dicha evidencia, la siguiente tabla ejemplifica el cambio en el riesgo relativo y en la fracción atribuible poblacional de la mortalidad general (Tabla 8) y mortalidad infantil (Tabla 9), según la concentración de referencia que se esté usando.

**Tabla 9. de Riesgos Relativos (RR) y Fracción Atribuible Poblacional (PAF) asociados a valor de concentración anual de SO<sub>2</sub>: 80 µg/Nm<sup>3</sup> y 60 µg/Nm<sup>3</sup>, en Mortalidad General**

Zonas		Normativa anual 80 ug/m <sup>3</sup>			Normativa anual 60 ug/m <sup>3</sup>		
		RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentracion	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentracion
Tocopilla	Mortalidad general	2,9	0,66	66,6	2,2	0,55	55,9
	Límite inferior	1,4	0,30	30,7	1,3	0,24	24,0
	Límite superior	5,9	0,83	83,9	3,8	0,74	74,4
Calama	Mortalidad general	2,9	0,66	464,5	2,2	0,55	390,3
	Límite inferior	1,4	0,30	214,1	1,3	0,24	167,6
	Límite superior	5,9	0,83	585,6	3,8	0,74	518,8
Mejillones	Mortalidad general	2,9	0,66	34,6	2,2	0,55	29,1
	Límite inferior	1,4	0,30	16,0	1,3	0,24	12,5
	Límite superior	5,9	0,83	43,7	3,8	0,74	38,7
Antofagasta - La Negra Covieñi	Mortalidad general	2,9	0,66	1164,4	2,2	0,55	978,4
	Límite inferior	1,4	0,30	536,7	1,3	0,24	420,2
	Límite superior	5,9	0,83	1468,0	3,8	0,74	1300,6
Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla	Mortalidad general	2,9	0,66	565,5	2,2	0,55	475,2
	Límite inferior	1,4	0,30	260,7	1,3	0,24	204,1

	Límite superior	5,9	0,83	713,0	3,8	0,74	631,7
<b>Huasco</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	25,5	2,2	0,55	21,4
	Límite inferior	1,4	0,30	11,7	1,3	0,24	9,2
	Límite superior	5,9	0,83	32,1	3,8	0,74	28,4
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	160,2	2,2	0,55	134,6
	Límite inferior	1,4	0,30	73,8	1,3	0,24	57,8
	Límite superior	5,9	0,83	201,9	3,8	0,74	178,9
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	182,7	2,2	0,55	153,5
	Límite inferior	1,4	0,30	84,2	1,3	0,24	65,9
	Límite superior	5,9	0,83	230,3	3,8	0,74	204,0
<b>Machali - Coya</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	139,9	2,2	0,55	117,6
	Límite inferior	1,4	0,30	64,5	1,3	0,24	50,5
	Límite superior	5,9	0,83	176,4	3,8	0,74	156,3
<b>Coronel - Lota - Hualpen - Talcahuano</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	1589,4	2,2	0,55	1335,4
	Límite inferior	1,4	0,30	732,6	1,3	0,24	573,5
	Límite superior	5,9	0,83	2003,7	3,8	0,74	1775,3
<b>Independencia</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	181,4	2,2	0,55	152,4
	Límite inferior	1,4	0,30	83,6	1,3	0,24	65,4
	Límite superior	5,9	0,83	228,7	3,8	0,74	202,6
<b>El Bosque</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	595,3	2,2	0,55	500,2
	Límite inferior	1,4	0,30	274,4	1,3	0,24	214,8
	Límite superior	5,9	0,83	750,5	3,8	0,74	664,9
<b>Puente Alto</b>	Mortalidad general	2,9	0,66	2601,2	2,2	0,55	2185,6
	Límite inferior	1,4	0,30	1199,0	1,3	0,24	938,6
	Límite superior	5,9	0,83	3279,3	3,8	0,74	2905,4

**Tabla 10. de Riesgos Relativos (RR) y Fracción Atribuible Poblacional (PAF) asociados a valor de concentración anual de SO<sub>2</sub>: 80 µg/Nm<sup>3</sup> y 60 µg/Nm<sup>3</sup>, en Mortalidad Infantil.**

Zonas		Normativa anual 80 ug/mm3			Normativa anual 60 ug/mm3		
		RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración
<b>Tocopilla</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,54	1,13	0,11	0,41
	Límite inferior	1,08	0,08	0,28	1,06	0,06	0,21
	Límite superior	1,37	0,27	0,99	1,27	0,21	0,77
<b>Calama</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	3,58	1,13	0,11	2,74
	Límite inferior	1,08	0,08	1,87	1,06	0,06	1,42
	Límite superior	1,37	0,27	6,58	1,27	0,21	5,13
<b>Mejillones</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,20	1,13	0,11	0,15
	Límite inferior	1,08	0,08	0,10	1,06	0,06	0,08
	Límite superior	1,37	0,27	0,36	1,27	0,21	0,28
<b>Antofagasta - La Negra Coviefi</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	7,59	1,13	0,11	5,80
	Límite inferior	1,08	0,08	3,96	1,06	0,06	3,00
	Límite superior	1,37	0,27	13,95	1,27	0,21	10,86
<b>Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	4,12	1,13	0,11	3,15
	Límite inferior	1,08	0,08	2,15	1,06	0,06	1,63
	Límite superior	1,37	0,27	7,58	1,27	0,21	5,90
<b>Huasco</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,22	1,13	0,11	0,17
	Límite inferior	1,08	0,08	0,11	1,06	0,06	0,09

	Límite superior	1,37	0,27	0,40	1,27	0,21	0,31
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,62	1,13	0,11	0,48
	Límite inferior	1,08	0,08	0,33	1,06	0,06	0,25
	Límite superior	1,37	0,27	1,15	1,27	0,21	0,89
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,65	1,13	0,11	0,49
	Límite inferior	1,08	0,08	0,34	1,06	0,06	0,26
	Límite superior	1,37	0,27	1,19	1,27	0,21	0,92
<b>Machali - Coya</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	0,78	1,13	0,11	0,60
	Límite inferior	1,08	0,08	0,41	1,06	0,06	0,31
	Límite superior	1,37	0,27	1,44	1,27	0,21	1,12
<b>Coronel - Lota- Hualpen- Talcahuano</b>	Mortalidad infantil	1,17	0,15	6,14	1,13	0,11	4,70
	Límite inferior	1,08	0,08	3,21	1,06	0,06	2,43
	Límite superior	1,37	0,27	11,29	1,27	0,21	8,79
<b>Independencia</b>	Mortalidad infantil	2,93	0,66	5,30	2,24	0,55	4,46
	Límite inferior	1,44	0,30	2,44	1,31	0,24	1,91
	Límite superior	5,90	0,83	6,69	3,78	0,74	5,92
<b>El Bosque</b>	Mortalidad infantil	2,93	0,66	11,63	2,24	0,55	9,77
	Límite inferior	1,44	0,30	5,36	1,31	0,24	4,20
	Límite superior	5,90	0,83	14,67	3,78	0,74	12,99
<b>Puente Alto</b>	Mortalidad infantil	2,93	0,66	39,67	2,24	0,55	33,33
	Límite inferior	1,44	0,30	18,29	1,31	0,24	14,31
	Límite superior	5,90	0,83	50,01	3,78	0,74	44,31

Para el cálculo de eventos asociados a escenarios de norma diaria (Tabla 10) y horaria (Tabla 11) se usará únicamente el evento de visitas diarias a urgencia en niños que es el único evento agudo considerado.

Tabla 11. Riesgos Relativos (RR) y Fracción Atribuible Poblacional (PAF) asociados a valor de concentración diaria de SO<sub>2</sub>: 250 µg/Nm<sup>3</sup>, 150 µg/Nm<sup>3</sup> y 125 µg/Nm<sup>3</sup> en visitas a urgencia diarias por consulta respiratorio en niños.

Zonas		Casos esperados en un año según tasa base	Normativa diaria 250 ug/m <sup>3</sup>			Normativa diaria 150 ug/m <sup>3</sup>			Normativa diaria 125 ug/m <sup>3</sup>		
			RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración
Tocopilla	Valor estimado	241,01	18,21	0,95	227,77	5,70	0,82	198,75	4,27	0,77	184,52
	Límite inferior	241,01	6,99	0,86	95,21	3,21	0,69	165,99	2,64	0,62	149,88
Calama	Límite superior	241,01	50,85	0,98	153,69	10,56	0,91	218,19	7,13	0,86	207,21
	Valor estimado	1681,27	18,21	0,95	78,13	5,70	0,82	1386,48	4,27	0,77	1287,23
	Límite inferior	1681,27	6,99	0,86	52,79	3,21	0,69	1157,94	2,64	0,62	1045,57
	Límite superior	1681,27	50,85	0,98	104,91	10,56	0,91	1522,10	7,13	0,86	1445,50
Mejillones	Valor estimado	125,39	18,21	0,95	12,31	5,70	0,82	103,40	4,27	0,77	96,00
	Límite inferior	125,39	6,99	0,86	8,39	3,21	0,69	86,36	2,64	0,62	77,98
	Límite superior	125,39	50,85	0,98	16,37	10,56	0,91	113,51	7,13	0,86	107,80
	Valor estimado	4214,62	18,21	0,95	2615,61	5,70	0,82	3475,63	4,27	0,77	3226,85
Antofagasta - La Negra Coviefi	Límite inferior	4214,62	6,99	0,86	2013,69	3,21	0,69	2902,73	2,64	0,62	2621,04
	Límite superior	4214,62	50,85	0,98	3079,98	10,56	0,91	3815,61	7,13	0,86	3623,59
Copiapó- Paipote-Tierra Amarilla	Valor estimado	4390,88	18,21	0,95	1393,73	5,70	0,82	3620,99	4,27	0,77	3361,80
	Límite inferior	2926,84	6,99	0,86	661,01	3,21	0,69	2015,80	2,64	0,62	1820,18
	Límite superior	2926,84	50,85	0,98	1181,62	10,56	0,91	2649,75	7,13	0,86	2516,40
	Valor estimado	131,71	18,21	0,95	24,96	5,70	0,82	108,62	4,27	0,77	100,84
Huasco	Límite inferior	131,71	6,99	0,86	17,30	3,21	0,69	90,71	2,64	0,62	81,91



	Límite superior	197,60	50,85	0,98	48,92	10,56	0,91	178,89	7,13	0,86	169,89
Catemu - LlayLlay	Valor estimado	788,19	18,21	0,95	430,22	5,70	0,82	649,99	4,27	0,77	603,47
	Límite inferior	790,80	6,99	0,86	324,90	3,21	0,69	544,65	2,64	0,62	491,79
	Límite superior	790,80	50,85	0,98	519,18	10,56	0,91	715,93	7,13	0,86	679,90
Quintero - Puchuncavi	Valor estimado	970,07	18,21	0,95	589,43	5,70	0,82	799,98	4,27	0,77	742,72
	Límite inferior	970,07	6,99	0,86	451,93	3,21	0,69	668,11	2,64	0,62	603,28
	Límite superior	970,07	50,85	0,98	696,73	10,56	0,91	878,23	7,13	0,86	834,03
Machali - Coya	Valor estimado	1071,59	18,21	0,95	310,69	5,70	0,82	883,70	4,27	0,77	820,44
	Límite inferior	1071,59	6,99	0,86	219,77	3,21	0,69	738,03	2,64	0,62	666,41
	Límite superior	1071,59	50,85	0,98	397,55	10,56	0,91	970,14	7,13	0,86	921,31
Coronel - Lota- Hualpen- Talcahuano	Valor estimado	13426,85	18,21	0,95	2493,54	5,70	0,82	11072,61	4,27	0,77	10280,03
	Límite inferior	13426,85	6,99	0,86	1727,42	3,21	0,69	9247,45	2,64	0,62	8350,05
	Límite superior	13426,85	50,85	0,98	3260,42	10,56	0,91	12155,70	7,13	0,86	11543,95
Independencia	Valor estimado	1039,16	28,76	0,97	62,08	7,50	0,87	900,67	5,36	0,81	845,39
	Límite inferior	1039,16	3,10	0,68	21,33	1,97	0,49	511,88	1,76	0,43	448,76
	Límite superior	1039,16	255,78	1,00	100,47	27,84	0,96	1001,84	15,99	0,94	974,19
El Bosque	Valor estimado	3410,75	28,76	0,97	183,39	7,50	0,87	2956,20	5,36	0,81	2774,74
	Límite inferior	3410,75	3,10	0,68	62,87	1,97	0,49	1680,09	1,76	0,43	1472,91
	Límite superior	3410,75	255,78	1,00	297,37	27,84	0,96	3288,25	15,99	0,94	3197,49
Puente Alto	Valor estimado	14903,67	28,76	0,97	905,20	7,50	0,87	12917,44	5,36	0,81	12124,56
	Límite inferior	14903,67	3,10	0,68	311,07	1,97	0,49	7341,36	1,76	0,43	6436,06
	Límite superior	14903,67	255,78	1,00	1464,40	27,84	0,96	14368,40	15,99	0,94	13971,80

**Tabla 12. Riesgos Relativos (RR) y Fracción Atribuible Poblacional (PAF) asociados a valores de concentración horaria de SO<sub>2</sub>: 500 µg/Nm<sup>3</sup>, 350 µg/Nm<sup>3</sup> y 197 µg/Nm<sup>3</sup> en visitas a urgencia diarias por consulta respiratorio en niños.**

Zonas		Casos esperados en un año según tasa base	Normativa horaria 500 ug/m <sup>3</sup>			Normativa horaria 350 ug/m <sup>3</sup>			Normativa horaria 197 ug/m <sup>3</sup>		
			RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración	RR	PAF	Casos atribuibles al delta de concentración
<b>Tocopilla</b>	Valor estimado	241,01	331,44	1,00	240,28	58,11	0,98	236,86	9,84	0,90	216,52
	Límite inferior	241,01	48,93	0,98	95,21	15,23	0,93	225,18	4,63	0,78	188,97
	Límite superior	241,01	2585,78	1,00	153,69	244,80	1,00	240,02	22,11	0,95	230,11
<b>Calama</b>	Valor estimado	1681,27	331,44	1,00	78,13	58,11	0,98	1652,34	9,84	0,90	1510,43
	Límite inferior	1681,27	48,93	0,98	52,79	15,23	0,93	1570,87	4,63	0,78	1318,22
	Límite superior	1681,27	2585,78	1,00	104,91	244,80	1,00	1674,40	22,11	0,95	1605,22
<b>Mejillones</b>	Valor estimado	125,39	331,44	1,00	12,31	58,11	0,98	123,23	9,84	0,90	112,64
	Límite inferior	125,39	48,93	0,98	8,39	15,23	0,93	117,15	4,63	0,78	98,31
	Límite superior	125,39	2585,78	1,00	16,37	244,80	1,00	124,87	22,11	0,95	119,71
<b>Antofagasta - La Negra Coviefi</b>	Valor estimado	4214,62	331,44	1,00	2615,61	58,11	0,98	4142,10	9,84	0,90	3786,35
	Límite inferior	4214,62	48,93	0,98	2013,69	15,23	0,93	3937,87	4,63	0,78	3304,53
	Límite superior	4214,62	2585,78	1,00	3079,98	244,80	1,00	4197,40	22,11	0,95	4023,99

<b>Copiapó- Paipote-Tierra Amarilla</b>	Valor estimado	4390,88	331,44	1,00	1393,73	58,11	0,98	4315,32	9,84	0,90	3944,70
	Límite inferior	2926,84	48,93	0,98	661,01	15,23	0,93	2734,65	4,63	0,78	2294,83
	Límite superior	2926,84	2585,78	1,00	1181,62	244,80	1,00	2914,88	22,11	0,95	2794,46
<b>Huasco</b>	Valor estimado	131,71	331,44	1,00	24,96	58,11	0,98	129,45	9,84	0,90	118,33
	Límite inferior	131,71	48,93	0,98	17,30	15,23	0,93	123,06	4,63	0,78	103,27
	Límite superior	197,60	2585,78	1,00	48,92	244,80	1,00	196,79	22,11	0,95	188,66
<b>Catemu - LlayLlay</b>	Valor estimado	788,19	331,44	1,00	430,22	58,11	0,98	774,63	9,84	0,90	708,10
	Límite inferior	790,80	48,93	0,98	324,90	15,23	0,93	738,87	4,63	0,78	620,04
	Límite superior	790,80	2585,78	1,00	519,18	244,80	1,00	787,57	22,11	0,95	755,03
<b>Quintero - Puchuncavi</b>	Valor estimado	970,07	331,44	1,00	589,43	58,11	0,98	953,38	9,84	0,90	871,49
	Límite inferior	970,07	48,93	0,98	451,93	15,23	0,93	906,37	4,63	0,78	760,60
	Límite superior	970,07	2585,78	1,00	696,73	244,80	1,00	966,10	22,11	0,95	926,19
<b>Machali - Coya</b>	Valor estimado	1071,59	331,44	1,00	310,69	58,11	0,98	1053,15	9,84	0,90	962,70
	Límite inferior	1071,59	48,93	0,98	219,77	15,23	0,93	1001,22	4,63	0,78	840,19
	Límite superior	1071,59	2585,78	1,00	397,55	244,80	1,00	1067,21	22,11	0,95	1023,12
<b>Coronel - Lota- Hualpen- Talcahuano</b>	Valor estimado	13426,85	331,44	1,00	2493,54	58,11	0,98	13195,81	9,84	0,90	12062,48
	Límite inferior	13426,85	48,93	0,98	1727,42	15,23	0,93	12545,19	4,63	0,78	10527,52
	Límite superior	13426,85	2585,78	1,00	3260,42	244,80	1,00	13372,00	22,11	0,95	12819,54
<b>Independencia</b>	Valor	1039,16	827,09	1,00	62,08	110,23	0,99	1029,73	14,11	0,93	965,51

000542

VIA

	estimado																	
	Límite inferior	1039,16	9,60	0,90	21,33	4,87	0,79	825,76	2,44	0,59								612,85
	Límite superior	1039,16	65425,91	1,00	100,47	2349,77	1,00	1038,72	78,96	0,99								1026,00
	Valor estimado	3410,75	827,09	1,00	183,39	110,23	0,99	3379,81	14,11	0,93								3169,02
	Límite inferior	3410,75	9,60	0,90	62,87	4,87	0,79	2710,33	2,44	0,59								2011,52
	Límite superior	3410,75	65425,91	1,00	297,37	2349,77	1,00	3409,30	78,96	0,99								3367,55
	Valor estimado	14903,67	827,09	1,00	905,20	110,23	0,99	14768,46	14,11	0,93								13847,39
	Límite inferior	14903,67	9,60	0,90	311,07	4,87	0,79	11843,10	2,44	0,59								8789,55
	Límite superior	14903,67	65425,91	1,00	1464,40	2349,77	1,00	14897,32	78,96	0,99								14714,92

\*Notese que este evento está consignado diariamente en las bases de egresos hospitalarios.

### **CAPITULO 3. Comunicación de Riesgo**

Los resultados de estudios de investigación deben ser preparados con precisión, especificidad y con lenguaje objetivo y científico. Sin embargo dependiendo de la audiencia, es necesario simplificar los reportes de modo de transmitir el mensaje clave del estudio sin caer en tecnicismos que entorpezcan la comunicación de riesgo y que puedan ocasionar una malinterpretación. Científicos y epidemiólogos deben colaborar en la comunicación y apoyar a los tomadores de decisiones en la administración de riesgo (12).

National Research Council (1989) define la comunicación de riesgos como “un proceso interactivo de intercambio de información y opiniones entre individuos, grupos e instituciones” y si este proceso cumple con su propósito, entonces “eleva el nivel de comprensión de temas o acciones relevantes para aquellos involucrados y los satisface porque están adecuadamente informados dentro de los límites del conocimiento disponible” (13). Dicho lo anterior, el objetivo fundamental de la comunicación de riesgo es fomentar el conocimiento y comprensión de los distintos miembros de la sociedad, fortaleciendo la confianza, credibilidad, cooperación y diálogo constructivo.

En el proceso de comunicación de riesgo es relevante destacar el concepto de riesgo percibido en la población. Como indica Peter Sandmand (14), riesgo implica el conocimiento objetivo del peligro asociado a un determinado compuesto o sustancia y a esto se suma la emoción evocada por la situación en debate, lo cual se conoce como agravio. Esto último, hará que una audiencia adopte una posición más o menos reactiva a la comunicación que brinden las autoridades sobre un tema de interés público, y primará en la medida que exista menos información o conocimiento objetivo.

En el caso de los efectos del dióxido de azufre, existen diversos factores de agravio que pueden sensibilizar a los involucrados y que deben considerarse en el proceso de comunicación de riesgo, en especial aquellos vinculados a la distribución geográfica del contaminante. Por ejemplo, contar con una norma ejerce un efecto positivo en la población fomentando una sensación de seguridad generalizada. Por otro lado, en las zonas vulnerables mencionadas en este informe, elementos como justicia, incertidumbre, efectos retardados, efectos en niños y efectos en generaciones futuras, generan un ambiente adverso que el tomador de decisión debe manejar y contrarrestar con una comunicación que logre aumentar la confianza y comprensión y disminuir el temor por parte de los implicados (13).

Es por ello que en esta situación es recomendable cuantificar el riesgo a través de una medida relativa y una medida absoluta. En el caso de comunas que tengan una gran desidad poblacional es preferible acompañar el riesgo relativo con el numero de casos atribuibles el cual se obtiene luego de aplicar la fracción atribuible poblacional

(FAP) a la tasa de casos esperados. Por ejemplo si en una población de 100000 personas tengo un  $RR=2,2$  asociado a un contaminante, es relevante contar con el número de casos atribuibles a la contaminación para darle contexto a ese RR. Por otro lado si la población es pequeña, por ejemplo 30 personas, debo acompañar mi RR con el %FAP, pero sin entregar un número de casos atribuibles ya que en algunos casos el número de casos en poblaciones pequeñas no llega a ser un número entero. Como corolario de esto, una medida relativa debe ser acompañada de una medida absoluta que le otorgue contexto; comunicar medidas relativas como el riesgo relativo (RR), demanda cautela dado que el RR depende de la concentración de exposición de la población. Asimismo, reportar medidas absolutas en comunas con pocos habitantes también puede prestarse para malinterpretaciones, dado que en algunos casos a pesar de que existe una medida relativa de riesgo, la medida absoluta puede involucrar pocos o ningún casos, subestimando el riesgo en esa comunidad. Según la definición de Instituto Nacional de Estadísticas del 2005, caseríos y aldeas definidos por un número de habitantes de menos de 301 y entre 301 y 1000 habitantes respectivamente, corresponderían a poblaciones menores, y por otro lado ciudades mayores se definen por poblaciones entre 100.001 y 500.000 habitantes y grandes áreas urbanas se definen por 500.000 hasta 1.000.000 de habitantes (15). En ambos casos se deben tener las consideraciones de comunicación de riesgo anteriormente mencionadas.

Reportar medidas de impacto absolutas y relativas, permite cumplir con los principios de la comunicación de riesgo, otorgando veracidad, legitimidad y satisfaciendo la necesidad de información de los involucrados, los medios de comunicación y la población en general, estableciendo un contexto mediante el uso de una medida absoluta y permitiendo la comparación con otros escenarios a través de una medida relativa.

## LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA

Como se ha mencionado anteriormente, la realización de este informe se basa en el reporte de estadísticas e indicadores provistos por distintas fuentes de información. Por lo mismo, es necesario declarar las limitaciones e incertidumbres asociadas a dichos registros así como la reproducibilidad y validez de los estudios epidemiológicos utilizados.

1. En el caso de los eventos crónicos atribuibles al  $SO_2$  y que son reportados en este informe, existe evidencia y datos disponibles para su estimación. En el caso del asma en niños, la aproximación realizada se basa en la Encuesta Nacional de Salud (ENS) reportada en el informe del CENMA como se mencionó anteriormente. La utilización de ENS genera imprecisiones en la estimación dado que se utiliza la prevalencia de haber recibido tratamiento de asma alguna vez como tasa basal de asma. A pesar de que no es el mejor *proxy* de asma en niños, es una forma de aproximarse a los niños con asma que se encuentran en tratamiento y que por ende se encuentran en una etapa crónica, aunque controlada de su patología.

En esta situación la Encuesta Nacional de Salud es la mejor información disponible respecto de algunos estudios clínicos, principalmente por el diseño de muestreo que busca ser representativo y aleatorio. La evidencia reportada por estudios locales pareciera ser menos relevante dado que usan principalmente muestras por conveniencia reclutadas directamente en los centros de atención.

Contar con un registro centralizado nacional que de cuenta de todos los pacientes que son atendidos tanto en la red pública como privada, precisando variables como diagnóstico, inicio de la patología y seguimiento y que además esté disponible para todos, es la mejor forma de aproximarnos a la tasa basal de cada uno de los eventos en salud. Sin embargo, a la actualidad carecemos de la institucionalidad y recursos para llevar a cabo esta tarea.

2. En el caso de eventos agudos, la estimación de eventos atribuibles es compleja. En la actualización de las guías sobre calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud del año 2005, se destaca el cambio en el Volumen Espiratorio Forzado en población vulnerable, los asmáticos. Sin embargo este evento no puede ser calculado en población como la nuestra dado que no existen registro ad hoc. Adicionalmente, las fuentes de información sobre otros eventos agudos, no están disponibles a nivel comunal, por lo cual los eventos tanto crónicos como agudos seleccionados, se basan en la disponibilidad de datos.

3. Otra limitación de este informe está dada por las altas concentraciones de  $SO_2$  reportadas en algunas zonas vulnerables; esto hace que el cálculo de eventos

000544

VTA

atribuibles a la contaminación sea estimado de mejor forma con la fracción atribuible que con la ecuación que utiliza el número de habitantes, el beta de dosis-respuesta, la concentración de  $SO_2$  y la tasa basal. El riesgo relativo no es una función lineal y por lo mismo en la medida que aumentan las concentraciones de exposición al contaminante es necesario estimarlo considerando las concentraciones de exposición del escenario de análisis.



## CONCLUSIONES

La evaluación de riesgo es un proceso que permite identificar y conocer los eventos adversos asociados a contaminantes ambientales, estableciendo un marco de antecedente que combina información toxicológica, epidemiológica, e información propia del escenario que se está evaluando.

En ocasiones esta evaluación puede ser cualitativa estableciendo escenarios más riesgosos en presencia de mayores dosis de un contaminante específico en el ambiente. A pesar de que estas apreciaciones son útiles, los métodos cuantitativos son particularmente ventajosos para los tomadores de decisiones, quienes deben considerar los costos asociados a determinadas políticas públicas orientadas a disminuir el riesgo en la población.

En el presente informe, se han usado métodos de salud pública para cuantificar el riesgo atribuible a la concentración de  $\text{SO}_2$  presente en el aire de 10 zonas consideradas como vulnerables, debido a su proximidad con termoeléctricas y fundiciones. Los casos cuantificados se basan en información provista por la evidencia epidemiológica, los registros nacionales de eventos de salud y las estimaciones poblacionales de Instituto Nacional de Estadística. Asimismo se entrega información de tres comunas de la región metropolitana que sirven como control de las zonas en análisis.

Lo anterior permite concluir que los valores utilizados como referencia, conllevan a distintos escenarios de riesgo relativo que se traducen en una fracción atribuible a contaminación distinta para cada evento estudiado. A pesar de que exista una referencia nacional, es necesario contar con información a nivel comunal dadas las distintas realidades de producción de polución así como de acceso a salud a nivel de comuna.

**REFERENCIAS**

1. Chelala C. Impacto del ambiente sobre la salud infantil. Washington, D.C., OPS. 1999.
2. Minkler M, Garcia AP, Williams J, LoPresti T, Lilly J. Sí se puede: using participatory research to promote environmental justice in a Latino community in San Diego, California. *Journal Of Urban Health: Bulletin Of The New York Academy Of Medicine*. 2010;87(5):796-812.
3. OMS. Calidad del aire (exterior) y salud. Nota descriptiva N° 313. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. Consultado febrero 2015. 2014.
4. Orazio F, Nespoli L, Ito K, Tassinari D, Giardina D, Funis M, et al. Air pollution, aeroallergens, and emergency room visits for acute respiratory diseases and gastroenteric disorders among young children in six Italian cities. *Environmental health perspectives*. 2009;117(11):1780-5.
5. Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2013;187(11):1226-33.
6. Europe W. Air Quality Guidelines. Global Update. 2005.
7. Centro Nacional del Medio Ambiente. Informe preparado para el Ministerio de Medio Ambiente "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>). Diciembre, 2014.
8. Ministerio de Medio Ambiente. Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>). 2014.
9. Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P, Busby A, Dolk H. Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities. *Journal of epidemiology and community health*. 2007;61(8):719-22.
10. Pan G, Zhang S, Feng Y, Takahashi K, Kagawa J, Yu L, et al. Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China. *Respiratory medicine*. 2010;104(12):1903-11.
11. Ito K, Thurston GD, Silverman RA. Characterization of PM<sub>2.5</sub>, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*. 2007;17 Suppl 2:S45-60.

12. Soskolne C. Ethics and environmental epidemiology. In: Baker D, Nieuwenhuijsen M, editors. Environmental epidemiology 2008.
13. Covello V. Comunicacion de riesgo. In: Frumkin H, editor. Salud Ambiental De lo global a lo local 2010.
14. Sandman P. Risk = Hazard + Outrage. Risk Engineering Global Workshop. 2001(33).
15. Instituto Nacional de Estadísticas. CHILE: Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos. 2005. pp 11.

000546

VTA.

## **Consultas pasantía “Estimación cuantitativa de riesgo atribuible a SO<sub>2</sub> en zonas vulnerables de Chile”. Autora: Macarena Valdés.**

Fecha: marzo de 2015.

---

**Pregunta 1:** ¿Los *papers* elegidos son avalados como representativos? ¿Hay consistencia de los resultados entre los estudios que analizan la misma causa?

**R.** Los *papers* fueron elegidos según el criterio de validez externa principalmente en cuanto a fuentes de datos y operatividad de la variable de exposición, co-variables y registro del evento en estudio, en el contexto chileno. En algunos casos a pesar de que el paper incluido no cuenta con una muestra totalmente idéntica a la nuestra, fueron considerados modelos ajustados por co-variables del nivel individual.

Lamentablemente los registros chilenos de eventos en salud adolecen de desarrollo y no contamos con registros de eventos como: registro nacional de asmático por edades, o con registro específicos como consultas a urgencia por daño cromosómico en trabajadores. Por lo mismo la elección de estos papers estuvo en concordancia con la disponibilidad de registros similares a los del estudio incluido, para la realización de los cálculos posteriores.

Adicionalmente se trataron de incluir únicamente papers incluidos en el informe solicitado por el MMA al CENMA, aprovechando el recurso disponible, y tratando de mantener una consistencia con el trabajo realizado anteriormente. La revisión incluida en este informe indica que los eventos estudiados están asociados a la exposición estudiada, a pesar de no contar con un meta análisis en todos los casos. Aunque la revisión de la literatura detallada en el informe es exhaustiva, no todos los papers fueron útiles para la estimación de riesgo.

### Sobre el estudio “Air pollution and children’s respiratory symptoms in six cities of Northern China”:

**Pregunta 2:** En relación a la tabla 5, el modelo conjunto para tres parámetros involucrados genera que el SO<sub>2</sub> pierda significancia estadística. Esto suele suceder, por ejemplo, cuando se analiza PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, donde este último acapara toda la significancia dado que ambos parámetros están correlacionados. La opción elegida en los cálculos de casos fue el modelo econométrico con un solo parámetro (SO<sub>2</sub>) ¿Es válido técnicamente utilizar este valor siendo que hay correlación entre ellos?

**R.** Es válido dependiendo de la pregunta de investigación. La construcción de un modelo simple o múltiple, estadísticamente implica varios supuestos estadísticos. El supuesto de independencia es uno de ellos, y elegir el modelo ajustado implica contestar una pregunta que aunque tiene ribetes multicausal, al integrar varios contaminantes pierde independencia y podría generar errores en la estimación debido a un sobreajuste del modelo, induciendo colinealidad. La elección del modelo crudo en este caso respondía a nuestra pregunta de investigación efecto del SO<sub>2</sub> sobre un evento en salud, considerando que en condiciones reales

000547

VTA

se está expuesto a una mezcla de contaminantes y no sólo a uno (múltiples exposiciones correlacionadas).

Sobre el estudio "Mortality Associations with Long-Term Exposure to Outdoor Air Pollution in a National English Cohort":

**Pregunta 3:** Se menciona que los pacientes estudiados corresponden a un rango de edad entre 40 y 89 años. ¿No debería considerarse el mismo rango de edad en las poblaciones consideradas en el análisis?

**R.** Efectivamente como ustedes indican, deberíamos haber tenido un paper que midiera mortalidad general, en toda la población que es como se calcula esta tasa. Sin embargo, existe escasa literatura donde se mida este outcome en una serie de tiempo integrando exposición a largo plazo. Como en el punto anterior, se considera a esta como la mejor evidencia disponible de acuerdo al objetivo planteado en calculo de riesgo. Debo añadir que la función utilizada es aquella ajustada por el efecto de las características de los sujetos de estudios, y en este caso se incluyó en el modelo la edad, de modo que *hazard ratio* usado es aplicable a cualquier edad.

**Pregunta 4:** las conclusiones del paper mencionan que "*However, the stronger associations with respiratory mortality are not consistent with most US studies in which associations with cardiovascular causes of death tend to predominate*". Considerando esto ¿Es válido igualmente utilizar estos resultados?

**R.** En este artículo se consignó el dato sobre mortalidad general y no por causa específica correspondiente a la exposición a SO<sub>2</sub>. Como los autores expresan, los datos sobre mortalidad general fortalecen la evidencia ya existente, no mencionan datos discordantes.

En el caso de la exposición a PM2.5 se encontraron los resultados controversiales que tu mencionas. De todos modos que existan diferencias en cuanto a otros estudios o similitudes, es normal dependiendo de la población incluida y como ellos puntualizan en el artículo, la población que ellos consideraron en los registros consumía otros medicamentos debido a las comorbilidades. Probablemente las diferencias encontradas no fueron tan fuertes dado a que los pacientes crónicos de atención primaria, están mas controlados. Hubiese sido interesante estimar el efecto de polifarmacia en los modelos. Por otro lado eventos agudos de estancias por urgencia podrían ayudar a estimar el efecto agudo del contaminante en un paciente que generalmente no se cuida y donde el efecto del tratamiento de comorbilidades no está presente.

**Pregunta 5:** ¿Por qué el valor elegido corresponde al ajustado por “age, sex, smoking, BMI, education†” y no, por ejemplo, por el de ingreso u otro?

**R.** Los 3 modelos ajustados finales que se presentan en la tabla 3 “Hazard Ratios For All-Cause Mortality In 2003–2007 For An Interquartile Range Change In 2002 Pollutant Concentrations” difieren únicamente en el proxy de la posición socioeconómica. Personalmente me incliné por educación dada la forma de recolección de datos. Como lo indican los papers de Galobardes, según tu momento de la vida podríamos utilizar una variable distinta para aproximarnos a posición socioeconómica. Según Galobardes, la educación presenta ventajas comparativas con respecto al ingreso, en especial en condiciones donde las personas pueden tender a reportar menos ingresos. En este grupo tenemos una mezcla de cohorte de nacimiento distintas donde la educación, o el ingreso podría ser más o menos útil. Por tratarse de una cohorte cuyas variables son reportadas por el sujeto en estudio en condiciones de atención primaria, se elige educación de modo de evitar el sesgo de clasificación.

Sobre el estudio “Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities”:

**Pregunta 6:** se señala que el rango de población es de 3 a 12 años, sin embargo en el documento de pasantía se considera la población menor a 15 años.

**R.** Creo que acá hay un error porque este paper habla de mortalidad infantil y como se detalla en la metodología se incluyeron los registro de mortalidad infantil “Data on all-cause infant deaths (death within the first year of life) recorded between 1990 and 2000 were obtained from the Office for National Statistics for the following 10 major cities in England: Birmingham, Bristol, Leeds, Liverpool, London, Manchester, Middlesbrough, Newcastle, Nottingham and Sheffield. For each city, data were collapsed by date of death to generate a time series of daily infant death counts between 1990 and 2000”.

Para el calculo de la tasa de mortalidad infantil siempre se consideran los menores de 1 año muertos dividido por los nacidos vivos. En este informe se consignó información sobre los nacidos vivos y tasa de mortalidad infantil según la información del DEIS.

Sobre el estudio “Characterization of PM2.5, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models”:

**Pregunta 7:** En relación a la figura 8, el paper menciona que “CO and SO2’s associations with asthma ED visits (RR=1.15 (95% CI: 1.07, 1.25) per 1.3 p.p.m. increase and 1.20 (95% CI: 1.13, 1.28) per 6 p.p.b. increase, respectively) were “eliminated” once NO2 was included in the model, which is consistent with the result of monitor-to-monitor correlations, suggesting that NO2 has less exposure error than CO or SO2 in this data set.”. ¿Es válido utilizar el valor elegido si el efecto pierde significancia al incorporar un parámetro adicional?

000548  
VTA

**R. La elección de un modelo no se realiza únicamente con criterios de significancia estadística. La elección de un modelo simple o múltiple está en consonancia con la pregunta de investigación que se busca contestar. La utilización de pruebas paramétricas en la fase de análisis obliga a resguardar los supuestos estadísticos tras estas pruebas. En este caso ellos utilizan modelos que dejan al NO<sub>2</sub> fuera debido a las pruebas de concurvidad prefiriendo un modelo más parsimonioso, a pesar de reportarlo como un fuerte confusor. En la figura 7 de este mismo paper se reportan los RR para cada contaminante y podemos ver que las diferencias de los efectos entre los contaminantes son marginales y que el efecto confusor es despreciable o insignificante.**




**Anexo I: Referencias del trabajo de pasantía en salud pública, revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

A continuación se listan las referencias de la información utilizada para confeccionar el trabajo de pasantía en salud pública para la revisión de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre:

1. Health Effects Associated with Short-term Exposure to Low Levels of Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>) – A Technical Review. Alberta Health and Wellness, Health Surveillance, Edmonton, Alberta. Canadá (2006). ISBN 0-7785-3480-4. [www.health.gov.ab.ca](http://www.health.gov.ab.ca)
2. Minkler M, Garcia AP, Williams J, LoPresti T, Lilly J. Sí se puede: using participatory research to promote environmental justice in a Latino community in San Diego, California. *Journal Of Urban Health: Bulletin Of The New York Academy Of Medicine*. 2010;87(5):796-812.
3. Orazio F, Nespoli L, Ito K, Tassinari D, Giardina D, Funis M, et al. Air pollution, aeroallergens, and emergency room visits for acute respiratory diseases and gastroenteric disorders among young children in six Italian cities. *Environmental health perspectives*. 2009;117(11):1780-5.
4. Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2013;187(11):1226-33.
5. Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P, Busby A, Dolk H. Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities. *Journal of epidemiology and community health*. 2007;61(8):719-22.
6. Pan G, Zhang S, Feng Y, Takahashi K, Kagawa J, Yu L, et al. Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China. *Respiratory medicine*. 2010;104(12):1903-11.
7. Ito K, Thurston GD, Silverman RA. Characterization of PM<sub>2.5</sub>, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*. 2007;17 Suppl 2:S45-60.
8. Covello V. Comunicacion de riesgo. In: Frumkin H, editor. *Salud Ambiental De lo global a lo local* 2010.
9. Galobardes B, Shaw M, Lawlor DA, Lynch JW, Davey Smith G. Indicators of socioeconomic position. *J Epidemiol Community Health*. 2006; 60:7-12.
10. Wong CM, Atkinson RW, Anderson HR, et al. A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared. *Environ Health Perspect*. 2002; 110: 67-77.

1510000

# REPORT



Health Effects Associated with Short-term  
Exposure to Low Levels of Sulphur  
Dioxide (SO<sub>2</sub>)- A Technical Review

000550

VTA.

Alberta Health & Wellness  
Health Surveillance  
Health Strategies Division  
24<sup>th</sup> floor, 10025 Jasper Avenue  
Edmonton, Alberta T5J 2N3  
Phone: (780) 427-4518  
Fax: (780) 427-1470

You can find this document on Alberta Health and Wellness' Internet website -  
[www.health.gov.ab.ca](http://www.health.gov.ab.ca)

ISBN 0-7785-3480-4  
ISBN 0-7785-3481-2PDF

**HEALTH EFFECTS ASSOCIATED WITH  
SHORT-TERM EXPOSURE TO  
LOW LEVELS OF SULPHUR DIOXIDE (SO<sub>2</sub>)  
-A TECHNICAL REVIEW-**

**Alberta Health and Wellness  
Health Surveillance  
Health Strategies Division**

**Acknowledgements**

This report would not have been possible without the valuable contributions made by:

**Expert panel**

Dr. Randy Angle	Alberta Environment
Justin Balko	Alberta Health and Wellness
Dr. Nicholas Bayliss	Alberta Health and Wellness
Dr. Donald Davies	Cantox Environmental Inc.
Dr. Stephan Gabos	Alberta Health and Wellness
Geoff Granville	Shell Canada
Alex MacKenzie	Alberta Health and Wellness
Dr. Ingrid Vicas	Calgary Health Region

**Review Panel**

James Andruchow  
Lorelei Betke  
Michael Lam  
Norah Lee  
Rabindra Mahabeer  
Christine Teixeira  
Corinna Watt

**Health Surveillance Staff**

Dr. Karina Bodo  
Ada Chan  
Nancy Hlady  
Leigh Li

The authors would like to gratefully acknowledge the financial contribution from Alberta Environment. Many thanks also to Ms. Stephanie Vermeullen for her thorough and constructive review.

<b>TABLE OF CONTENTS</b>	<b>Page</b>
Executive Summary	6
Technical Summary	11
I. Background	28
II. Introduction	29
III. Terms of Reference	30
IV. Methods	32
V. Summary of Health Effects	35
A. Abbreviations	35
B. Overview	35
C. General Comments	36
D. Mortality	38
E. Respiratory System	46
Respiratory system – functional	46
Respiratory system – biochemical	71
Respiratory system – structural	76
Respiratory system – signs and symptoms	79
Respiratory system – other	81
F. Signs and Symptoms	84
G. Cardiovascular System	88
H. Eye	90
I. Gastrointestinal system	92
J. General Biochemical Effects	92
K. Immunological System	95
L. Kidney and Liver	98
M. Metabolic System	99
N. Nervous System	100
O. Olfactory System	101
P. Reproductive System	101
VI. Conclusions	102
Reference List	106
Appendix 1: Titles and Affiliations of the Expert Panel	176
Appendix 2: Members of the Review Team	178
Appendix 3: Search Strategy	180

	<b>Page</b>
Appendix 4: Review Forms	182
Clinical	183
Non-clinical	186
Epidemiology	191
Appendix 5: Tabular Summary of Studies	195

### **LIST OF TABLES**

Table 1A – Respiratory Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings – 1 to 5 Minute Exposures	144
Table 1B – Respiratory Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings – 6 to 10 Minute Exposures	144
Table 1C – Respiratory Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings – 11 to 30 Minute Exposures	145
Table 1D – Respiratory Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings – 31 Minute to 4 Hour Exposures	145
Table 1E – Respiratory Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings – >4 Hour Exposures	145
Table 2 – No Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Human Clinical Findings	146
Table 3A – “Positive” Respiratory Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Animal Toxicology Studies – Up to 2 Hour Exposures	147
Table 3B – “Positive” Respiratory Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Animal Toxicology Studies – 2 Hour to 1 Day Exposures	147
Table 3C – “Positive” Respiratory Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Animal Toxicology Studies – 1 Day to 7 Day Exposures	148
Table 3D – “Positive” Respiratory Effects Associated With Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Animal Toxicology Studies – Greater Than 7 Day Exposures	148
Table 4A Epidemiology: Mortality Endpoints Associated with Increases in Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Statistically Significant / Positive Findings	150



	Page
Table 4B Epidemiology: Mortality Endpoints Associated with Increases in Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Insignificant / No Associations Found	152
Table 4C Epidemiology: Mortality Endpoint Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Effects of Discrete SO <sub>2</sub> Concentrations or Comparisons of Concentrations – Positive / Statistically Significant Findings	155
Table 4D Epidemiology: Mortality Endpoint Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Effects of Discrete SO <sub>2</sub> Concentrations or Comparisons of Concentrations – Statistically Insignificant Findings / No Associations	155
Table 5A Epidemiology: Respiratory Health Effects Associated with Incremental Increases in Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Statistically Significant / Positive Findings	156
Table 5B Epidemiology: Respiratory Health Effects Associated with Incremental Increases in Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Insignificant / No Associations Found	159
Table 5C Epidemiology: Respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Effects of Discrete SO <sub>2</sub> Concentrations or Comparisons of Concentrations -Positive/Statistically Significant Findings	164
Table 5D Epidemiology: Respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Effects of Discrete SO <sub>2</sub> Concentrations or Comparisons of Concentrations– Statistically Insignificant Findings/No Associations	165
Table 5E Epidemiology: Respiratory Health Effects Associated with Increases in Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> : Statistically Significant / Positive Findings – <i>Protective Effect</i>	168
Table 6. Respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> Summary of “Positive” Findings: Clinical and Non-clinical studies	169
Table 7. Respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> Summary of “Negative” Findings: Clinical and Non-clinical studies	172
Table 8. Non-respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> Summary of “Positive” Findings: Clinical and Non-clinical studies	173
Table 9. Non-respiratory Health Effects Associated with Short-term Exposure to SO <sub>2</sub> Summary of “Negative” Findings: Clinical and Non-clinical studies	175

## EXECUTIVE SUMMARY

In response to Recommendations 9 and 59 of the final report of the Provincial Advisory Committee on Public Safety and Sour Gas released in December 2000, Alberta Health and Wellness commissioned reports on the health effects of low-level exposure to hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S) and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>). The H<sub>2</sub>S report on short-term exposure was released in July 2002 (Cantox Environmental, 2002). The present report on SO<sub>2</sub> is the second of four reports. The goal of these reports was to provide a comprehensive review of the available primary scientific literature in order to develop a quantitative understanding of the current state of knowledge with respect to the dose-response relationship between exposure to these contaminants (H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>) and health effects based on the weight of evidence in the peer-reviewed scientific literature. The focus of the third and fourth reports will be on the health effects of chronic exposure to H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>.

The development of the Terms of Reference of the H<sub>2</sub>S report was undertaken by an expert panel over a six-month period. The format and goal of this SO<sub>2</sub> report was much the same as the previously completed H<sub>2</sub>S report. In addition the Terms of Reference for this report were adopted directly from the H<sub>2</sub>S report with few changes. The Terms of Reference state that the focus of this scientific review is to be on the health effects of short-term exposure to SO<sub>2</sub>.

The eligibility criteria for the selection of literature were also adopted directly from the H<sub>2</sub>S report. The criteria were

developed from the Terms of Reference. Only primary studies published in peer-reviewed publications were included in this review. Articles that were not primary scientific studies but were reviews themselves were not included, the primary goal of this review being an unbiased assessment of the scientific literature, not a re-reporting of previously published reviews. Studies reviewed included human clinical studies (clinical), animal toxicology studies (non-clinical), and population studies and case reports (epidemiology). 347 studies satisfied the final eligibility criteria for inclusion in this report, substantially more than for the H<sub>2</sub>S report (45 studies) due in part to the inclusion of epidemiology studies.

Each study was critically assessed in terms of technical quality, including experimental design, conduct, and reporting. A level of confidence was assigned to each study based on the technical quality as judged by the reviewing team. The reviewing team consisted of seven members, all with scientific and/or epidemiologic backgrounds and extensive experience critically reviewing scientific literature. Each study was reviewed independently by three members of the reviewing team. The team members followed a pre-defined set of criteria for judging study quality. Of the 347 eligible studies reviewed, 184 (53%) were judged to be of low quality, 150 (43%) were of moderate quality, and only 15 (4%) were of high quality with no major weaknesses in study design or reporting.

The quality ranking of the studies was based on weaknesses or limitations identified by the reviewers. Some of the

more common limitations identified included: too few study subjects, too few exposure concentrations (inability to determine dose-response relationship), failure to follow Good Laboratory Practice guidelines, failure to follow conventional testing protocols, critical information missing on experimental protocols, and unmeasured, poorly measured or unreported exposure concentrations and/or times. In drawing conclusions from this review, emphasis was placed on those studies ranked "high" or "moderate". These studies were judged to have the fewest limitations and therefore provided the strongest and most reliable evidence of association. For some health effects, few moderate or high quality studies were identified.

Results of animal and human studies were evaluated separately. No attempt was made to extrapolate from the animal testing evidence to human effects. It must also be emphasized that this report is a scientific review and as such the interpretations of the science do not represent policy or suggest public health implications.

The greatest number of studies, as well as the greatest number of high and moderate quality studies were those investigating respiratory effects as a result of SO<sub>2</sub> exposure. The strength-of-evidence for respiratory effects provided by these studies confirms that SO<sub>2</sub> exposure under certain conditions (exposure concentration, duration, and breathing method) can adversely affect the respiratory system. Human studies evaluating subjects with bronchopulmonary disease were included as well as those evaluating healthy subjects.

#### A. Evidence from Human Studies

Two types of studies were evaluated for evidence of effects on humans.

- Clinical studies involved controlled experiments on human volunteers.
- Epidemiology studies investigated short-term changes in health effects in populations with short-term changes in ambient concentration.

Both healthy subjects and those with respiratory illness (asthma or chronic obstructive pulmonary disease) were included in the studies.

**Clinical studies** covered a broad range of exposure durations. Therefore, the summaries of the findings are broken down by exposure time to facilitate comparison.

The weight of evidence for exposures up to 30 minutes suggests that healthy humans can experience exposures to SO<sub>2</sub> up to 10 ppm with transitory effects<sup>1</sup> on pulmonary function<sup>2</sup>, even under challenging conditions involving hyperventilation, mouth-only exposure, and heavy exercise. Transitory effects may be observed at concentrations as low as 0.75 ppm.

<sup>1</sup> Transitory effects: these effects were observed generally, but not always, for the duration of exposure with functioning returning to normal levels within minutes of hours of cessation of exposure.

<sup>2</sup> Pulmonary function or pulmonary effects: this refers primarily to spirometric changes (e.g. specific airways resistance, forced expiratory volume, etc.) that are measured in a clinical setting. In some cases, pulmonary effects may include clinical symptoms such as bronchoconstriction or throat irritation.

For exposures up to 30 minutes, asthmatics appear to demonstrate pulmonary effects at lower thresholds compared to healthy humans (0.1 ppm). However, even in this population subgroup the clinical effects are transient and may or may not require transient pharmacologic intervention.

The weight of evidence suggests that for single exposures up to 4 hours and repeated exposures between 3 days and 3 weeks, transitory pulmonary effects might occur for asthmatics at exposure concentrations between 0.5 and 1 ppm with exercise and for healthy humans between 0.75 and 25 ppm with exercise, with some evidence for a concentration-dependent response in healthy subjects.

**Epidemiology studies** were divided into two types based on presentation of exposure concentration. One set of studies calculated exposures as increases in ambient concentration above a baseline or average concentration. The other set of studies reported exposure as discrete concentrations, either as average concentrations or a concentration range.

A weight of evidence evaluation is difficult for the epidemiology studies. This is because the majority of the epidemiology studies (107 of 147) were ranked low quality. For those that ranked moderate quality, there were an equal number of studies that found insignificant or no associations between ambient SO<sub>2</sub> concentration and health outcomes as there were that reported an association.

Deriving causal associations from environmental epidemiologic studies is difficult for a number of reasons. No

high quality epidemiology studies were identified. All of the epidemiology studies were subject to substantial limitations due to misclassification of either or both exposure and outcome. The majority of these studies are ecological in nature with outcomes determined on an individual level and exposure determined at a population level. The exposure data collected was generally for ambient levels. Since humans spend a large portion of their time indoors and travel through various microclimates during various activities, ambient levels will likely not provide a good measure of exposure at the individual level. Subsequently, the major weakness observed in these epidemiology studies is the potential for exposure misclassification as a result of the exposure assessment methods. Much of the exposure and outcome data used in these studies is retrospective and from public records, which increases the probability of misclassification due to inconsistent diagnosis of disease status or incorrect assessment of exposure. In addition, many confounding factors cannot be accounted for when using these types of data.

The epidemiology studies also present challenges for interpretation. The different exposure metrics used in the studies makes for difficulty in interpretation. For those studies looking at increases above a baseline, it should be noted that the baseline concentrations differ for each study. The time-averaging or time over which exposure was calculated is different between studies, making comparisons difficult. The populations used tended to be small and relatively undefined. For those studies that did report statistically significant results, the lower confidence intervals

were often very close to one and there were few or no associations where the  $OR > 2$ .

In addition,  $SO_2$  is just one element in a mixture of pollutants found in "air pollution". It is difficult to isolate the effects of  $SO_2$  from those of other single pollutants or combinations of pollutants. Because of these substantial limitations, the confidence in the results and conclusions from these epidemiology studies could not be judged to be higher than moderate and in most cases the confidence was judged to be low.

There is little reliable evidence in the peer-reviewed scientific literature that meets the terms of reference for this review of human health effects involving the eye, kidney and liver, or the cardiovascular, gastrointestinal, metabolic, immunological, reproductive, or nervous systems. It should be noted that  $SO_2$  is generally considered an eye irritant. However, the conclusion in this report stems from the paucity of good-quality peer-reviewed scientific literature reporting specific effects on the eye. Much of the literature on reproductive effects on humans involves exposures longer than 30 days, which were not covered in this report, but will be covered in subsequent reports.

#### **B. Evidence from animal studies**

Much of the animal evidence for respiratory effects concentrates on the mechanisms of action of health effects from  $SO_2$  exposure. Animal studies are also referred to as "**non-clinical**" studies.

As in the human clinical studies, the non-clinical animal studies covered a broad range of exposure durations.

Therefore, the summaries of the findings are broken down by exposure time to facilitate comparison.

The concentrations in studies of animals exposed for up to 2 hours ranged between 0.5 ppm and 1000 ppm. For concentrations up to 100 ppm, effects reported were predominantly very mild respiratory effects and changes at the cellular or ciliary level. Above 100 ppm, greater pulmonary effects were in evidence, with indications of changes to the lung. There is evidence of increasing severity of effect with increasing concentration suggesting a possible dose response relationship.

In studies employing exposures between 2 and 24 hours, mild respiratory effects and delayed airway reactivity were reported with concentrations up to 40 ppm. Damage to the lungs was reported at concentrations of 800 ppm and 1225 ppm.

With exposures between 1 and 7 days, slight changes were observed in lung function and in response to virus challenges at concentrations of 0.1 ppm to 34.5 ppm. At the higher concentrations of 100 ppm and 600 ppm, changes to lung structure were reported.

Only five studies investigated exposures between 7 and 30 days. One study reported changes in response to virus challenges with exposures up to 0.1 ppm for 4 weeks. The other four studies reported changes in lung biochemistry and some decrease in pulmonary function at concentrations between 10 and 600 ppm.

Only a few animal studies looked at the effect of  $SO_2$  exposure on the liver or

kidneys. However, there is some evidence of decreased levels of liver lipids and triglycerides and decreased enzyme activity in liver and kidney following continuous SO<sub>2</sub> exposure at 10 ppm for 15 days.

There is some evidence that exposure to SO<sub>2</sub> can affect the metabolic system, in particular lipid metabolism, at exposure times of several days. This effect seems to differ depending on which organ of the body is investigated.

There is some evidence from animal studies that SO<sub>2</sub> exposure both as an adult and prenatally can affect behaviour in adult mice subjected to challenging conditions. There is also some evidence that exposure to SO<sub>2</sub> can affect the lipid content of the brain. The outcomes of both these studies are of unknown clinical significance and the number of studies is limited, although the quality of the studies suggests the results are reliable. It has been established in several species that bronchial restriction upon SO<sub>2</sub> exposure is a reflex reaction; however, the mechanism of this reflex has not been conclusively determined.

In conclusion, there is limited animal evidence with respect to signs and symptoms, or effects on the eye, and reproductive, gastrointestinal, or cardiovascular systems found in the studies reviewed for this report.

## Sí Se Puede: Using Participatory Research to Promote Environmental Justice in a Latino Community in San Diego, California

Meredith Minkler, Analilia P. Garcia, Joy Williams,  
Tony LoPresti, and Jane Lilly

**ABSTRACT** *Community-based participatory research (CBPR) increasingly is seen as a potent tool for studying and addressing urban environmental health problems by linking place-based work with efforts to help effect policy-level change. This paper explores a successful CBPR and organizing effort, the Toxic Free Neighborhoods Campaign, in Old Town National City (OTNC), CA, United States, and its contributions to both local policy outcomes and changes in the broader policy environment, laying the groundwork for a Specific Plan to address a host of interlocking community concerns. After briefly describing the broader research of which the OTNC case study was a part, we provide background on the Environmental Health Coalition (EHC) partnership and the setting in which it took place, including the problems posed for residents in this light industrial/residential neighborhood. EHC's strong in-house research, and its training and active engagement of promotoras de salud (lay health promoters) as co-researchers and policy change advocates, are described. We explore in particular the translation of research findings as part of a policy advocacy campaign, interweaving challenges faced and success factors and multi-level outcomes to which these efforts contributed. The EHC partnership's experience then is compared with that of other policy-focused CBPR efforts in urban environmental health, emphasizing common success factors and challenges faced, as these may assist other partnerships wishing to pursue CBPR in urban communities.*

**KEYWORDS** *Community-based participatory research, Environmental justice policy, Promotoras, Latinos*

### INTRODUCTION

Visitors to the historic "Old Town" district of San Diego, CA, United States rarely venture beyond this chic tourist destination to the 6×15 block neighborhood 10 miles to the south, known as Old Town National City (OTNC). However, this formerly residential community, which "has for decades been treated by planners as a dumping ground for polluting industry and warehouses,"<sup>1</sup> provides researchers and environmental health advocates with a textbook example of the potential of community-based participatory research (CBPR), organizing and advocacy for studying urban environmental health problems, and working on the policy level to help effect change.

CBPR is concisely defined as "systematic inquiry, with the participation of those affected by the issue, for the purposes of education and action or effecting change."<sup>2</sup>

Minkler, Garcia, and LoPresti are with the UC Berkeley, Berkeley, CA, USA; Williams and Lilly are with the Environmental Health Coalition, Old Town National City, CA, USA.

Correspondence: Meredith Minkler, UC Berkeley, Berkeley, CA, USA. (E-mail: [mink@berkeley.edu](mailto:mink@berkeley.edu))

With its emphasis on empowerment, co-learning, community capacity building, and balancing research and action,<sup>3</sup> this orientation to research has shown particular promise in the areas of urban health and environmental justice.<sup>4-8</sup>

This paper explores a successful CBPR and organizing effort, the Toxic Free Neighborhoods Campaign, in OTNC, and its contributions to both local policy outcomes and changes in the broader policy environment laying the groundwork for a Specific Plan to address a host of interlocking community concerns. After briefly describing the broader research of which the OTNC case study was a part, we provide background on the Environmental Health Coalition (EHC) partnership and the setting in which it took place, including the problems posed for residents in this light industrial/residential neighborhood. The EHC's strong in-house research and its training and active engagement of *promotoras de salud* (lay health promoters) as co-researchers and policy change advocates are described. We explore in particular the translation of research findings as part of a policy advocacy campaign, interweaving challenges and success factors and multi-level outcomes to which these efforts contributed. The EHC partnership's experience then is compared with that of other policy-focused CBPR efforts in urban environmental health, emphasizing common success factors and challenges faced, as these may assist other partnerships wishing to pursue a CBPR approach in urban communities.

#### STUDY PURPOSE AND METHODS

The EHC partnership was one of six policy-focused CBPR partnerships in California included in a broader study, funded by The California Endowment, to explore the role of CBPR as a strategy for linking place-based work and policy to promote healthier communities. Following Yin's<sup>9</sup> case study protocol, two members of the research team visited OTNC in 2008, conducting key source interviews with the lead community and academic partners and a focus group with four *promotoras*, each of whom signed a consent form approved by our university's Institutional Review Board. Phone interviews with three local policy makers and observation at a hearing also were undertaken, along with a guided tour of the neighborhood, and archival review and analysis of relevant internal documents and media coverage.

Data analysis followed a procedure developed and successfully used in an earlier, cross-site case study analysis of ten CBPR partnerships undertaking policy-focused work across the United States.<sup>10,11</sup> A coding template developed for the national study included key domains that were also of interest in the present study (e.g., partnership genesis, research methods, policy goals, activities and outcomes, contextual factors, capacity building, and sustainability). In addition, and based on subsequent literature,<sup>12,13</sup> new coding categories were added, including changes in the policy environment and what needs to be in place for successful work to occur at the policy level. Audiotapes of the interviews and focus group were professionally transcribed, and an initial round of coding was independently conducted by two of the authors, who identified key themes and codes, compared their findings, and returned to the data to reconcile any discrepancies.<sup>14</sup> The qualitative software package, ATLAS.ti™ (version 5.5) was then used to group all key domains by site and generate reports. A second round of coding was conducted using the reports, and a similar reconciliation process was undertaken. Consistent with CBPR principles, a



preliminary case study report based on the findings was shared with partners at EHC for member checking to help ensure the accuracy of data interpretation.

## BACKGROUND

The Environmental Health Coalition was founded in 1980 as a non-profit organization, to study and address environmental and social justice issues by building community capacity and providing an organizational base for neighborhood engagement in political decision making.<sup>15</sup> The nonprofit's staff includes both professionally trained researchers and organizers and three to five community residents hired for their expert knowledge of the region and their skills in community building, organizing, and advocacy.

Central to EHC's modus operandi has been its *Salud Ambiental, Lideres Tomando Accion* program (SALTA, or Environmental Health, Leaders Taking Action) through which lay health promoters have been trained since 1995. The SALTA trainings' dual components focus on (1) skill building in community organizing and advocacy, media, and the political process, and (2) specific issues, such as land use, air quality, and energy. Each *promotora* goes through the skill-based SALTA program, and a separate SALTA program focused on the issue set most relevant in her neighborhood. Although EHC has undertaken campaigns in a variety of topical areas in both San Diego and the border regions of Tijuana, Mexico, we focus here on its Toxic Free Neighborhoods Campaign in OTNC, and subsequent efforts to help enact a Specific Plan that would help address this and other concerns of the area's approximately 1,600 residents.<sup>16</sup> Founded in 1887 and known historically as the center of the area's large Latino community, Old Town National City lost many of its residential property rights in the 1950s and 1960s, when an all-white City Council passed measures that encouraged industries to move into the neighborhood.<sup>1</sup> During this same era, Interstate 5 was constructed, demolishing homes, cutting through the original neighborhood, and becoming the western boundary of the neighborhood. As a result of these developments, OTNC suffers from a disproportionate burden of toxic air contaminants. According to a 2006 audit, just eight of 133 businesses in this community had all necessary operating permits, and EHC's own research suggested that well over two thirds of the toxic pollutants in this community come from its many, often noncompliant autobody and paint shops.<sup>1</sup> A truck-driving school situated across the street from an elementary school and other stationary and mobile polluting facilities also contributed to the fact that OTNC had asthma rates significantly higher than those of San Diego at large, or the state. Fourteen percent of children under 18 in OTNC were reported by their parents to have been diagnosed with asthma in EHC's 2005 community survey.<sup>1</sup> In contrast, Behavioral Risk Factor Surveillance Survey data from 2005 found that 11% of boys and 6% of girls aged 0–17 in California had this condition.<sup>17</sup> Numerous studies have shown strong associations between high levels of diesel exhaust and elevated rates of respiratory ailments and asthma.<sup>18,19</sup> Similarly, many of the chemical emissions from autobody and paint shops have been shown to cause or exacerbate asthma, key among them diisocyanates, the major cause of occupational asthma in the United States.<sup>20</sup>

Although as noted above, OTNC suffers disproportionately from environmental hazards and related adverse health outcomes, it also has many assets, particularly in the area of civic engagement. An active neighborhood council and church organizing ministry, a local school with substantial parental involvement, and the EHC itself are

among key building blocks that have enabled the community to stand up for its rights and work to effect change. Finally, the very small size of the community, which occupies just 0.036 square miles, means that “everybody knows everybody,” and city council members and other community leaders are easily accessible to residents.

### THE PARTNERSHIP

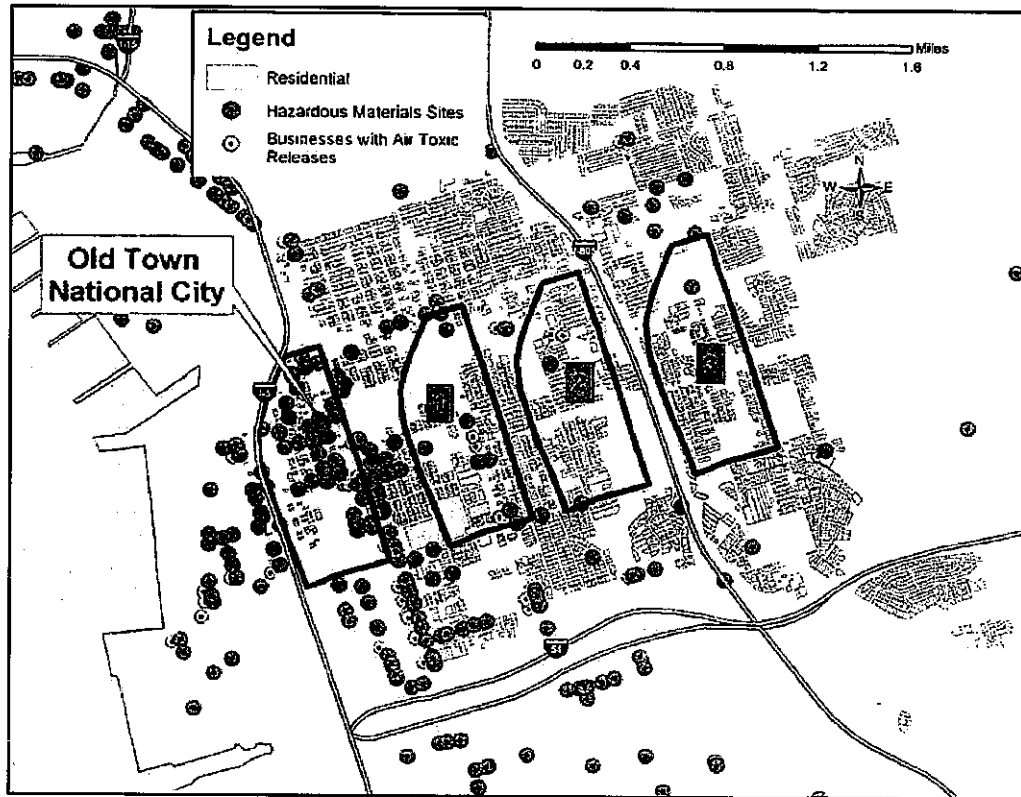
Although the EHC had not historically targeted particular health issues, the high level of community concern over asthma and its potential links to industry in the neighborhood made this an important focus of attention. With support from The California Endowment, the James Irvine Foundation, and two environmental justice grants from the National Institute of Environmental Health Sciences (2000–2004 and 2004–2008) focused on land use, air quality, and children’s health, EHC formed a partnership with the Southern California Environmental Health Sciences Center at the University of Southern California (USC) to help address these concerns. Later, during the policy phase of the work in 2005–2006, a partnership with the University of San Diego’s (USD) Environmental Law Clinic was formed as well.

### RESEARCH METHODS, ROLES, AND FINDINGS

EHC’s Toxic Free Neighborhoods Campaign involved a range of research approaches from secondary data analysis to Geographic Information Systems (GIS) mapping, survey research, air sampling using ultra-fine particulate (P-trak) counters, and legal and policy analysis. Children’s Health Study researchers at USC made available to the Coalition their own work on air quality and children’s health, as well as on the links between proximity of sources of diesel pollution and children’s respiratory health.<sup>21,22</sup> The burden of disease analyses conducted by these researchers indicated estimates of excess respiratory illnesses attributable to nitrogen dioxide, ozone, and particulate matter in local communities.<sup>21,22</sup> These outside academic colleagues’ successful efforts to quantify excess cases of asthma symptoms (manifested in school absenteeism, etc.) that could be attributed to excess particulate matter exposures “did apply specifically to National City” and provided important context for the current study.

Coalition members also did their own air quality measurements, using P-trak counters to measure the smallest and most dangerous particles, both near the Momax truck-driving school (located opposite an elementary school) and at a control site (City Hall). This simple comparison showed a dramatic difference in air quality, from 25,000 particles per cubic centimeter at City Hall to 150,000 near a moving Momax truck.<sup>23</sup>

EHC’s in-house academic researcher then conducted GIS mapping to quantify toxic emissions exposures on a larger scale (see Figure 1). Data on local air toxics “hot spots” were collected from the California Air Resources Board’s inventories of toxic emissions by facility (<http://www.arb.ca.gov/app/emsinv/facinfo/facinfo.php>) and the San Diego County Air Pollution Control District. Using the ESRI mapping program ArcView TM, boundaries of OTNC were used to create a “footprint” of the neighborhood and three other similarly sized (0.036 square miles) footprints adjacent to OTNC, in order to compare the annual number of pounds of toxic emissions to which residents were exposed. As indicated in Figure 1, the “footprint” around



**FIGURE 1.** Comparing emissions: Old Town National City and three adjacent footprints.

**Toxic Air Contaminant Emissions (lbs. per yr.)**

<b>Old Town</b>	<b>23,114</b>
<b>Footprint 1</b>	<b>5,963</b>
<b>Footprint 2</b>	<b>3,674</b>
<b>Footprint 3</b>	<b>0</b>

Source: J. Williams, in EHC Report, *Reclaiming Old Town National City, 2005*. Based on data from County Department of Environmental Health and California Air Resources Board, available through Right to Know legislation.

Note: Does not include acetone and other gases and particulates that are not regulated as "toxic air contaminants" in California

OTNC is far more densely packed with hazardous materials sites and businesses with toxic air releases, with over 23,000 lbs of toxic air contaminants released in OTNC in 2005, with comparison figures of 6,000, 3500, and zero lbs, respectively, in the three adjacent footprints.<sup>1</sup> The far higher rates of air toxics in the OTNC footprint were attributed largely to the more than 20 autobody shops in this area, which together account for 70% of the reported toxics in this area.<sup>1</sup>

Complementing the academic partners' studies was a third prong of the research: a 56-item survey of 119 adult residents of OTNC conducted by bilingual

teams of trained *promotoras* with guidance from EHC staff. Seventeen *promotoras* completed the full, six-session training, which included sessions on topics including land use and environmental health and on how to conduct surveys and minimize bias. Six of the *promotoras* then conducted the survey with a nonrandom convenience sample obtained primarily through door-to-door canvassing, with additional parents contacted in front of the local school and invited to participate. An estimated 66% response rate was achieved, with 110 of the 119 surveys having all questions answered. Following survey data collection, two EHC members with formal research training conducted preliminary data analysis creating simple frequencies, breaking the data down, where appropriate, by categories (e.g., renter versus homeowner), and putting the findings into graphs and pie charts to facilitate the *promotoras'* involvement in the interpretation process. In the words of one staff member, "We pasted the entire large conference room with those pie charts," and the *promotoras* engaged in lively discussions of their meaning and resultant recommendations for action. Community meetings were then held to further disseminate the study findings and elicit additional input.

Survey results indicated that 14% of the respondents' children had been diagnosed with asthma and that 32% of children and 51% of adults lacked health insurance. Survey respondents reported a high level of support for a proposed Specific Plan, which would end the neighborhood's designation as a "light manufacturing/residential" area, and they had strong feelings about what the Plan should include. Over 90% of respondents, for example, supported a Plan that would involve relocating industry to a new industrial park outside the neighborhood. Finally, and despite widespread concern with addressing air pollution, the number one priority item turned out to be affordable housing—a finding that helped broaden the action agenda of EHC.

The findings of the survey, along with the principles developed by the *promotoras*, other community members and EHC staff, were published in August, 2005 as part of a widely publicized report entitled, *Reclaiming Old Town National City: A Community Survey*.<sup>1</sup> Although the town's mayor occasionally made comments like, "Anyone can conduct a survey and get any result," an EHC leader reported that few accusations of bias were made. In contrast, as noted below, a number of newspaper articles and editorials, and even the draft Specific Plan itself, cited the study in positive ways, and the report's principles or recommendations were used to develop the formal land use map that in turn helped shape the final Specific Plan.

### **From Research to Policy Action**

Although the action component of CBPR can take many forms, policy- or systems-level change frequently is critical for affecting the lives of large numbers of people.<sup>24</sup> For EHC, policy level advocacy, drawing on the research findings and related recommendations, has been a particularly important avenue for working to address environmental injustice and quality of life in OTNC. Following publication of the report and its "Principles for Revitalization in Old Town," EHC and its partners undertook a number of policy related steps and activities to help effect change. Although the nonlinear nature of policymaking process was clearly evidenced in EHC's experience in this regard, key policy steps and activities identified by Kingdon<sup>25</sup> and others<sup>26,27</sup> were in evidence. Briefly, Kingdon discusses the three "policy streams" that need to converge for successful policy-making efforts: a *problem stream*, in which issues are identified as problems and included in the policy

agenda; a *policy stream*, in which different policy solutions are considered; and a *political stream*, in which policy makers provide their support in favor of a particular solution. He and other policy analysts<sup>26,27</sup> also discuss the steps in the policy process as including problem definition, setting an agenda and creating awareness, considering policy alternatives and deciding on which to pursue, policy enactment, implementation, and modification.

*Problem Definition/Identification* Studies by USC researcher Jerrett and his colleagues<sup>21</sup> had shown an association between traffic-related pollution and the onset of asthma, while the work of Guaderman et al.<sup>22</sup> suggested that current levels of air pollution had chronic, adverse effects on lung development of children ages 10–18, leading to significant deficits in lung functioning in adulthood. This academic research, coupled with EHC's survey findings of children's asthma rates well above the state average and residents' shared personal experiences, helped shine a spotlight on asthma and its likely relationship to poor land use planning. Together with the Coalition's powerful GIS data (see Figure 1), the research further helped demonstrate a broader problem: environmental injustice in the location of autobody shops and other toxic release facilities, with OTNC bearing the brunt of resultant pollution and other adverse human and environmental costs of the neighborhood's designation as a "light manufacturing/residential" area.<sup>1</sup> Together, this research played an important role in providing credible evidence during the problem identification/problem-stream phase of the policy process.

*Setting an Agenda and Creating Awareness* As part of the problem stream, agenda setting takes place when a problem is recognized as an issue that calls out for government attention and potential action.<sup>25</sup> Using both quantitative data and residents' stories regarding poor land use planning and its consequences, including high rates of asthma linked in part to toxic releases from autobody shops, EHC and its partners initiated a broad-based and multi-faceted public and policy maker awareness campaign. Effective use of media advocacy, with articles in the *San Diego Union Tribune*<sup>28</sup> and on popular city blogs<sup>29</sup> as well as stories in EHC's newsletter *Toxinformer*, published in English and Spanish, were among the strategies used to create awareness. A *Union Tribune* article thus reported the survey's finding that 14% of local children had diagnosed asthma but also cited EHC's belief that poor access to care probably meant that this was a very conservative figure. The article further quoted a USC academic partner's findings regarding the relationship between proximity to diesel sources and adverse childhood health outcomes, including both asthma and stunted lung development.<sup>22,28</sup>

Door knocking by EHC volunteers, passing out flyers, and urging attendance at hearings and community and house meetings also were employed, as was residents' and staff members' testimony at public meetings, and briefing of elected officials.

EHC's success in creating awareness and organizing OTNC was greatly aided by its relationships with key institutions in the neighborhood, chief among these the local elementary school (one of whose teachers chaired EHC's board), the church-based Saint Anthony's Organizing Ministry, and the Old Town Neighborhood Council. The *promotoras'* frequent involvement with the school and church, and their bridge building with such institutions, helped EHC reach local families effectively and efficiently.

Although the academically trained research partners frequently played key roles in providing testimony and in other ways helping get on the policy makers' agenda,

a special effort was made by EHC to enable the “front and center” participation of *promotoras* and other residents, who described in detail having been taught “how to look at the TV cameras, speak to reporters... reach a wider audience with our message.”

*Constructing Policy Alternatives and Deciding on a Policy to Pursue* As Themba et al.<sup>30</sup> point out, developing good policy requires a careful exploration of the larger context in which an issue is embedded. In a process similar to what policy makers themselves go through as part of the policy stream in the policymaking process, EHC used strategic planning and other means to help community members think through their priorities, and the policy strategies most likely to be effective in helping achieve them. With respect to the signature goal of reducing neighborhood pollution, EHC leaders thus helped residents review the pros and cons of a variety of policy alternatives, among them eminent domain (state power to take private property for public use, compensating the owner), code compliance, re-zoning, relying on market forces, and amortization. The latter approach sets a reasonable time period for an individual whose business is inconsistent with current zoning to “recoup” his or her investment before that use is terminated. Since residents trusted neither the government (regarding eminent domain and code enforcement) nor market forces, and believed re-zoning was necessary but not sufficient to bring about change, working for an amortization ordinance was deemed the best immediate policy option for which to work. This effort in turn led EHC and its community residents and partners to focus on a larger policy goal: getting a Specific Plan for OTNC, which would address not only the toxic emissions issue but also other hot-button concerns of residents, among them limiting gentrification pressures and increasing access to housing which is affordable to the mostly low-income residents of OTNC.

*Policy Advocacy* EHC staff, *promotoras*, and other partners and allies engaged in a variety of activities to help achieve their policy objectives and impact on the political stream of the policymaking process. Using “power mapping”<sup>31</sup> (a process in which groups select the specific policy objective they seek and identify policy targets and other key players, their strength and stance on the issue, etc.), they literally mapped out on butcher block paper key allies and opponents and their policy targets, e.g., the City Council and other organizations and individuals with the power to make desired changes. EHC then worked with the USD Environmental Law Clinic to develop the legal grounds for the amortization ordinance and help advocate for its adoption.

Presentations at City Council meetings were described by policy makers and others as particularly effective, and included the *promotoras*’ sharing of “statistics and stories” (e.g., their survey findings and their lived experience as residents and mothers), EHC staff and researchers’ presentations of visually compelling GIS and other data, and the *promotoras*’ then giving Council members a handout or “leave behind” summarizing the problem, the evidence, and their proposed solutions. A “great relationship with the local media” and strong alliances with advocates well beyond OTNC further contributed to the successful passage of an amortization ordinance in August 2006. Maintenance of strong lines of communication with key policy makers was also described as a key strategy, as was mobilizing the community to be present at hearings and other events and show their support on this and related issues. Although one policy maker interviewed commented that amortization had

already been under consideration by the City Council when the EHC became involved, two others who were intimately involved in the process, as well as mass media accounts, stressed the important role which the partnership played during the convergence of the three policy streams resulting in an actual policy change. One policy maker remarked that:

“They [EHC] played a major role because as policymakers when we see a community of 15–30 fill up a meeting room, and 30 different leaders come from the community at large, we see that it is a concern. We as policymakers see that we really need to look into [it] before we can make decisions.”

Another City Council member commented that EHC “influenced the policy environment” largely because of its effectiveness in “bringing all of the parties together to resolve whatever issues were at stake. Without that approach... usually change does not happen.”

Similarly, policy advocacy through these and related channels was used to help make the case for a Specific Plan. In the words of a City Council member we interviewed, “They [EHC] brief me, share concerns... one-on-one, through phone calls...” and by inviting her to be part of relevant community events. This policymaker also noted the value of EHC’s data in policy advocacy, commenting that “numbers and statistics make or break an argument.”

#### **POLICY IMPLEMENTATION AND OUTCOMES**

Credible research and follow-up actions by EHC and its allies were described by policy makers and others as having had a substantial impact on several policy-related outcomes. As one EHC leader commented with respect to the coalition’s footprints graphic, for example, (Figure 1), the map was “the scientific articulation” of what the residents and the local church and school “had been calling out [and] when politicians saw that, they went, ‘Oh wow. This is actually an issue for us and we really need to deal with it. We’re going to look real bad if we don’t.’” Passage of the amortization ordinance in August 2006 would allow Council members to phase out polluters. EHC’s data on the extremely high rates of ultra fine particulate matter in diesel exhaust from Momax trucks near the local elementary school, together with effective advocacy by EHC and its allies at the school and a nearby church, also were credited with helping limit the operation of the truck-driving school.

EHC was further described by key informants we interviewed as “a major force” in getting a \$180,000, City-funded feasibility study on the creation of an industrial park outside the city limits where polluting industries could relocate. Furthermore, and in response to the *promotoras*’ survey finding that affordable housing was the number one concern of residents, EHC and its allies were successful in getting an agreement from the City to convert a 10-acre brownfield in the middle of Old Town into a 250-unit affordable housing project, which would include five acres of restored marshland and recreational space. The City’s hiring of an architect in September 2008 to conduct a community outreach process for site development, and inclusion of the site plans in the bidding process to select a developer in December 2008, also were described as stemming in substantial measure from the work of EHC and its allies on this issue.

In October 2009, the OTNC City Council voted to include a Health and Environmental Justice Element in its General Plan to better address the way land use

practices affect community health. In so doing, National City became the first municipal area in California to include environmental justice as a full element of its general plan. Following additional community meetings and a City Council meeting in which EHC members, residents, teachers, scientists, and other supporters offered testimony, the Council unanimously adopted the Westside (Old Town) Specific Plan in March 2010. The Specific Plan will slowly relocate industrial businesses out of the neighborhood while allowing businesses that provide residents with “goods and services, recreation and public transit.”<sup>32</sup> Several policy makers we interviewed described the EHC partnership as a major contributor to both the form and content of the Plan and its eventual passage. EHC’s survey findings on community preferences regarding building heights (e.g., two or three versus five stories), density, and provisions for affordable housing thus provided some of the data needed to ensure that the Plan reflected resident concerns and desires. As a city councilmember commented:

“EHC [kept] the City Council informed on key changes identified by the community to be included in the Specific Plan. They get residents to be involved [and] bring up issues that without their participation or input, we as the City Council would not have thought about. EHC and its partners bring to the forefront key examples of changes we can make to create and design a better, more inclusive plan.”

An op ed piece by the current mayor and a long-time resident announcing passage of the Specific Plan further both cited EHC’s GIS data and emphasized the role of community involvement in achieving this historic victory.<sup>33</sup>

Not all of the outcomes of this project have been positive, however: while expressing her support for the amortization ordinance, for example, another policy maker commented that this tool “has a negative association” [and] “when we talked to gross polluters and specific businesses, they accused us of being anti-business.” Furthermore, without the needed zoning changes, actual enforcement of the amortization ordinance proved impossible. As a Council member remarked, the presence of just two code enforcers for the entire city precluded enforcement of even the existing codes—a particular problem given that the vast majority of the businesses operating in OTNC are not in compliance.

Of even greater concern to an EHC leader was the worry that with its emphasis on new housing with recreational spaces and other desirable features, as well as offering a profit-making opportunity for developers, it may have an undesirable consequence, since “You’re creating an atmosphere that’s ripe for gentrification.” He added that it was critical, therefore, that the Specific Plan be developed and implemented in such a way that “the folks who have been suffering these injustices for decades and fighting for change are the ones who benefit from it, and that they’re not just simply displaced.”

#### **ADDITIONAL OUTCOMES: BUILDING COMMUNITY CAPACITY FOR SUSTAINABLE CHANGE**

Although this paper has focused primarily on environmental justice research and policy advocacy and its outcomes, EHC’s contributions to individual community capacity building also should be underscored, as this too is a key goal of CBPR.<sup>3,24,30</sup> As noted earlier, integral to the Coalition’s work has been the training and continued



mentoring of *promotoras* who received small stipends, meals, and childcare and have been actively engaged in EHC's community outreach and organizing work. Describing the intensive training in which she had participated as part of her preparation for participation in the Toxic Free Neighborhoods Campaign, one *promotora* remarked that participants learned not only about EHC's history and mission but also "how to educate ourselves, how to keep our homes healthy... how to talk to [people], how to get them involved." Another *promotora* described how they learned to design and conduct credible surveys based on community-identified concerns, how to approach potential participants and later, "how to express yourself within City Council." In the latter regard, an important part of the training involved preparation for participation in Council meetings and similar public venues and debriefings, which were held immediately afterwards. In conducting such sessions, however, EHC staff had to walk a difficult tightrope. As one staff member remarked,

"I think there's a tension between helping people structure and organize their presentation and making sure that folks don't get so caught up in the technical side of it that they lose the emotion in what they're saying. It's the emotion behind the stories that carries the potential to impact the decision makers. I think that we had to pull back at certain times when it came off like over-preparation, and just tell them to let it fly."

As assessed by both staff members and the *promotoras* themselves, however, the trainings were successful in helping participants feel more empowered and capable of helping make a difference. As one *promotora* reflected, "One of the things I learned from the training is that we, as a community, have the *power* to make changes... that if the entire community is united and we are all in agreement and want that change, we have the power to have *them* [city officials] change their minds."

The *promotoras* also faced challenges, however, among them frustrations caused by slowness of change, particularly with respect to long term goals and objectives. Reflecting on this problem, an EHC staff member commented that, in retrospect,

"I would have liked to have worked with them on smaller, practical, get-it-done-quickly projects during the course of the Specific Plan. We knew it would be long, but we didn't know it would be over five years from start to finish. You can use every organizing trick in the book, but after that much time, it gets very difficult to sustain interest."

Although some shorter term projects were undertaken, e.g., the amortization ordinance and efforts to close the trucking school across the street from the local elementary school, "more small, hands-on stuff that energized people, such as community gardens, neighborhood watch [and] alley restorations" could have helped them achieve smaller victories along the way.

The *promotoras* also noted personal problems, including being labeled *chismosas* (gossips) by some other women in the community, facing distrust and resentment from their husbands and sometimes incurring bad feelings from their children for being out of the house. Although none of the *promotoras* quit because of family pressures, according to EHC staff, "there were definitely some very rough patches, and a lot of tearful office conversations where that decision was contemplated." To help address these challenges, one of EHC's most successful strategies was to recruit and involve husbands. As a staff member noted,

“Those that got up close to it realized that it was noble, respectful, important work, and had pride. I also think that inviting the guys to the celebrations and graduations helped.” This male staff member also mentioned the importance of just meeting and hanging out with the husbands, “in part because it defused any sort of suspicion they had about their wives working with a guy.” Emphasizing that men were involved in the work, too, also helped dispel stereotypic notions some of the men had that their wives were simply “gossiping.”

Most of the women interviewed reported that, with time, their family members became not only accepting of their roles but proud of them and sometimes actively engaged in the campaign themselves. As one *promotora* commented,

“Every time we go to a City Council meeting and see the reports on TV, my kids will say, ‘Mom, that is not true what the City Council members are saying.’ Because they are also educating themselves alongside us and that is something very beautiful.”

Finally, and of particular importance from the perspective of sustainability, five trained *promotoras* have been hired onto EHC staff as community organizers. Furthermore, one of the community residents who had worked closely with the EHC and its allies at the local church subsequently was elected to the City Council and now serves as Vice Mayor of OTNC. In helping to groom current and future civic leaders, EHC and its partners have further helped improve the prospects for policy-level changes that can in turn promote health and environmental justice.

## DISCUSSION

Fleishman<sup>34</sup> has noted that “Meaningful community engagement in urban health research is an aspirational goal that deserves the attention of the research community and the public at large.” As illustrated in this and other case studies,<sup>6-8,35-37</sup> the form of engagement known as CBPR also merits, and is receiving, increased attention from policy makers. The EHC partnership is an example of a CBPR effort that appears to have both produced credible science and helped bring about environmental health policy change. EHC’s in-house research, including toxic release footprints of OTNC and adjacent areas, provided visually powerful data on the toll that disproportionate exposure was taking on this community. Similarly, both quantitative data from university-based colleagues and a *promotora*-led survey of residents received good media coverage and frequently were cited in testimony before the City Council and other bodies to help capture the key concerns and priorities of residents and in turn help shape the Specific Plan.

From a policy perspective, passage of the amortization ordinance, the passing of a law to limit the operation a truck-driving school adjacent to the local elementary school, and the securing of funds for a feasibility study for an industrial park outside the city limits all were described by local media and relevant policy makers and other stakeholders as having been substantially related to the work of EHC and its partnership.<sup>23,28</sup> These incremental changes, moreover, were important in helping achieve the longer term goal of putting into place a Specific Plan, whose content and passage were described as reflecting substantially the contributions of EHC and its allies.

Although the findings of the case study presented in this article are, by definition, not generalizable, they reinforce those of a number of other studies involving policy-focused CBPR in environmental justice. The Trade, Health and Environment (THE) Impact Project, for example, a regional coalition comprised of community-based organizations (CBOs) and academic partners in Los Angeles, Long Beach, and the Inland Valleys, trained community members to serve on neighborhood assessment teams and gather data through traffic counts and the measurement of particle concentration.<sup>37</sup> Their collaboration, with academic partners at USC, contributed to the passing of the Clean Truck Plan and to a successful delay of the expansion of a major freeway to allow more public participation and consideration of its community and health impacts.<sup>37</sup> In Northern Manhattan, NY, United States, impressive CBPR by a partnership between West Harlem Environmental Action (WE ACT) and epidemiologists at the Mailman School of Public Health at Columbia University<sup>38</sup> was described by EPA policy makers as having played a key role in helping to secure tighter air-quality standards, as well as the placement, by the EPA, of permanent air monitors in Harlem and other “hot spots” around the country.<sup>10,35</sup> Furthermore, several of these efforts have been credited with helping change the broader policy environment. THE Impact Project has been described as having helped “change the debate” on neighborhood contamination through increased community participation.<sup>37</sup> Similarly, the Southern California Environmental Justice Collaborative was given substantial credit for the fact that the state EPA and other decision-making bodies increasingly think in terms of *cumulative* rather than individual risk in their policy deliberations.<sup>7,10,39</sup> Although National City represents a much smaller geographic area, the work of the EHC partnership likewise was described by policy makers and others interviewed as having helped change the policy environment, with the organization and its active community base identified as an important force influencing governmental planning efforts.

Several of the factors that appeared critical to the success of the EHC partnership also have been observed with respect to other environmental health CBPR partnerships. The need for strong alliances and a solid community base has been widely cited,<sup>6,7,10,30,39,40</sup> as has the importance of credible science that can “stand up to careful scrutiny.”<sup>7,10,24,35,36,41</sup> The powerful combination of research, community organizing and policy advocacy in this work also frequently has been emphasized. As Morello-Frosch and her colleagues<sup>7</sup> argue:

[Strong CBPR partnerships] “promote not only good science, but science that is focused on important problems that affect the lives of real people, and they do so while enhancing community capacity and participation in research and advocacy—all of which can ultimately improve the regulatory and policymaking process”

The combining of several kinds of data collection, and of balancing “statistics and stories,” similarly has been highlighted as enhancing efforts to move policy.<sup>7,10,24,30,42,43</sup> Indeed, EHC and each of the other abovementioned projects both undertook quantitative data collection and provided training for community members in public speaking and in other ways communicating their personal stories and messages as a key component of the work.

The importance of making the time to engage in substantial background work, including strategic planning, power mapping, and researching policy options and alternatives as a prelude to policy action, has been widely discussed in the literature<sup>6,24,30,35–37,40,43</sup> and was well-demonstrated in the EHC partnership.

Relatedly, effective use of the mass media has proven an important feature of policy-oriented CBPR in environmental justice and related areas.<sup>6,7,10,30,40</sup>

Although attention to and skills in the above areas served the EHC partnership well, a number of challenges and barriers were uncovered in this case study, many of which also have been reported in other policy-focused CBPR partnerships working to promote environmental justice in low income urban areas.

In both OTNC and West Oakland, CA, United States, for example, a policy win (OTNC's amortization ordinance and West Oakland's 2006 truck ordinance) proved difficult to enforce due to either zoning that precluded enforcement or inadequate staff for providing oversight.<sup>44</sup> In New York City, the WE ACT partnership's successful efforts to help close a bus depot in Northern Manhattan (which was home to seven of the City's eight depots) similarly was described as involving a shell game, with the City soon opening another depot in a different part of this community.

Time and role constraints and complications, particularly for community partners, also have been widely reported<sup>10,34,42-47</sup> and were a particular issue for EHC *promotoras* in the early stages of the work. Resentment from husbands and children, and being labeled as "gossips" by some community women not involved in the work, were of particular concern and are a reminder of the need to address the fact that training and hiring community members as team members may make them "outsiders within" or as Freire<sup>48</sup> remarks, "strangers in their own community." Substantial time for trust building,<sup>34,45,47</sup> special training, and mentoring of community partners with respect to these and other challenging aspects of their roles, and, in the case of communities like the heavily Latino OTNC, outreach to participants' husbands, are an important part of individual and community capacity building. Provision of meals and childcare, as well as a modest stipend also can be important in helping to lessen some of the burdens that community partners often face in this work. Finally, training for academic and other outside partners is needed so that they can better understand, and where possible avoid or ameliorate, such problematic aspects of participation for their community partners.<sup>10,45-47</sup>

Interestingly, one widely cited limitation faced by many CBPR partnerships, namely, inadequate financial support, particularly for community partners,<sup>10,34,45-47</sup> appeared not to have presented a major obstacle to the EHC partnership. EHC's earlier noted ability to bring in substantial funding from The California Endowment and The James Irvine Foundation, as well as eight years of NIH funding in support of its work, was a major contributor to its fiscal viability and its consequent ability to foster sustainability. The EHC partnership's experience, like that of WE ACT and the Southern California Environmental Justice Collaborative highlighted above, underscores the importance of foundation and federal funding that makes "long term investment in change,"<sup>7</sup> including support for developing the internal capacity of CBO partners to bring in and administer large federal or foundation grants over a long time period. The value of having strong, in-house researchers who can both help design rigorous research and write competitive grant proposals also was pointed out.

Policy-focused CBPR is labor and time intensive and, as indicated above, may face numerous barriers and obstacles at each step of the process. At the same time, however, partnerships like that of the EHC in OTNC remain important examples of the potential of CBPR for producing sound research and at the same time helping to amplify community voice toward the end of helping to promote policies that can improve the prospects for environmental justice in urban communities.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research study was made possible by a grant from The California Endowment, and we gratefully acknowledge the Foundation, and particularly research director Will Nicholas, for their belief in and support of this project. We acknowledge as well the assistance of research assistant Angela Ni, consultants Victor Rubin, Angela Glover Blackwell, and Mildred Thompson at PolicyLink, and Nina Wallerstein at the University of New Mexico. Finally, our deepest appreciation is extended to the EHC partners, community members, and policy makers in National City whose sharing of their insights and experiences made this study possible.

**OPEN ACCESS** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited.

## REFERENCES

1. Environmental Health Coalition. *Reclaiming Old Town National City: a community survey*. National City: Environmental Health Coalition; 2005.
2. Green LW, George MA, Daniel M, et al. *Study of participatory research in health promotion*. Ottawa: The Royal Society of Canada; 1994.
3. Israel BA, Schulz AJ, Parker EA, et al. Review of community-based research: assessing partnership approaches to improve public health. *Annu Rev Public Health*. 1998; 19: 173-202.
4. Brugge D, Hynes PH. *Community research in environmental health: studies in science, advocacy and ethics*. Burlington: Ashgate; 2005.
5. O'Fallon LR, Dearry A. Community-based participatory research as a tool to advance environmental health sciences. *Environ Health Perspect*. 2002; 110(S2): 155-159.
6. Corburn J. *Street Science: community knowledge and environmental health justice*. Cambridge: MIT Press; 2005.
7. Morello-Frosch R, Pastor M Jr, Sadd J, Porras C, Prichard M. Citizens, Science and data judo: leveraging secondary data analysis to build a community-academic collaborative for environmental justice in Southern California. In: Israel BA et al, eds. *Methods in community-based participatory research for health*. San Francisco: Jossey-Bass; 2005: 371-393.
8. Shepard PM, Northridge ME, Prakash S, Stover G. Preface: advancing environmental justice through community-based participatory research. *Environ Health Perspect*. 2002; 110: 139-140.
9. Yin R. *Case study research: design and methods*. Thousand Oaks: Sage; 2003.
10. Minkler M, Brechwitz Vásquez V, Chang C, et al. *Promoting healthy public policy through community-based participatory research: ten case studies*. Oakland, CA: PolicyLink; 2008. <http://www.policylink.org>. Accessed November 16, 2009.
11. Minkler M, Brechwitz VA, Tajik M, Petersen D. Promoting environmental justice through community-based participatory research: the role of community and partnership capacity. *Health Educ Behav*. 2008; 35(1): 119-137.
12. Guthrie K, Louise J, Foster CC. *The challenge of assessing policy and advocacy activities: moving from theory to practice*. Los Angeles: The California Endowment; 2006.
13. Wallerstein N, Oetzel J, Duran B, Tafoya G, Belone L, Rae R. What predicts outcomes in CBPR? In: Minkler M, Wallerstein N (eds.) *Community-based participatory research for health: from processes to outcomes*, 2nd edn. San Francisco: Jossey-Bass; 371-388.
14. Patton M. *Qualitative research and evaluation methods*. 3rd ed. Thousand Oaks: Sage; 2003.

15. Environmental Health Coalition. *Building power to win: strategic vision 2008–2018*. National City: Environmental Health Coalition.
16. San Diego Association of Governments. Publications; 2005. [http://www.sandag.org/resources/demographics\\_and\\_other\\_data/demographics/fastfacts/index.asp](http://www.sandag.org/resources/demographics_and_other_data/demographics/fastfacts/index.asp). Accessed January 16, 2010.
17. Environmental Health Investigations Branch, California State Department of Health Services. *The burden of asthma in California: a surveillance report*. Sacramento, CA: California State Department of Health Services; 2007.
18. Diaz-Sanchez D. The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease. *Allergy*. 1997; 52: 52-56.
19. Kagawa J. Health effects of diesel exhaust emission—a mixture of air pollutants of worldwide concern. *Toxicology*. 2000; 181–182: 349-353.
20. Bernstein JA. Overview of diisocyanate and occupational asthma. *Toxicology*. 1996; 111 (1-3): 181-189.
21. Jerrett M, Shankardass K, Berhane K, et al. Traffic-related air pollution and asthma onset in children: a prospective cohort study with individual exposure measurement. *Environ Health Perspect*. 2008; 116(10): 1433-1438.
22. Guaderman WJ, Avol E, Gilliland F, Vora H, Thomas D, Berhane K. The effect of air pollution on lung development from 10–18 years of age. *N Engl J Med*. 2004; 351(11): 1-11.
23. Sierra T. Fumes from business spur residents to act. *San Diego Union Tribune*, February 10, 2007, B1, B7–B8.
24. Minkler M. Linking science and policy through community-based participatory research to address health disparities. *Am J Public Health*. 2010; 100(1): S81-S87.
25. Kingdon JW. *Agendas, alternatives, and public policies*. 2nd ed. New York: Addison-Wesley; 2003.
26. Longest BB Jr. *Health policymaking in the United States*. 3rd ed. Chicago: AUPH/Health Administration Press; 2006.
27. Bardach E. *A practical guide for policy analysis: the eightfold path to more effective problem solving*, 2nd edn. Washington: CQ Press; 2005.
28. Taylor M. *Neighbors grow into activist role*. *San Diego Union-Tribune* (Our South County), April 12, 2008, 1 and 4.
29. Davis RA. Schizophrenic neighborhood hoping for change. *Voices of San Diego.org*. Available at: <http://www.voiceofsandiego.org>. Accessed on: August 24, 2006.
30. Themba Nixon M, Minkler M, Freudenberg N. The role of CBPR in policy advocacy. In: Minkler M, Wallerstein N, eds. *Community-based participatory research for health: from process to outcomes*. 2nd ed. San Francisco: Jossey-Bass; 2008: 307-320.
31. Ritas C, Minkler M, Ni A, Halpin H. Using CBPR to promote policy change: exercises and online resources. In: Minkler M, Wallerstein N, eds. *Community-based participatory research for health: from processes to outcomes*, 2nd ed. San Francisco: Jossey-Bass; 459–464.
32. Zuniga J. City adopts renewal plan for Westside. *Sign On San Diego, Union Tribune*. <http://signonsandiego.com>. Accessed May 16, 2010.
33. Morrison R, Richardson D. A healthier Old Town National City. *Sign on San Diego*. <http://signonsandiego.com>. Accessed March 31, 2010.
34. Fleishman AR. Community engagement in urban health research. *J Urban Health*. 2007; 84(4): 469-471.
35. Vásquez VB, Minkler M, Shepard P. Promoting environmental health policy through community based participatory research: a case study from Harlem, New York. *J Urban Health*. 2006; 83(1): 101-110.
36. Freudenberg N, Rogers MA, Ritas C, Nerney M. Policy analysis and advocacy: an approach to community-based participatory research. In: Israel B et al., eds. *Methods in community-based participatory research for health*. San Francisco: Jossey-Bass; 2005: 349-370.

37. Hricko A. Global trade comes home: community impacts of goods movement. *Environ Health Perspect.* 2008; 116(2): A79-A81.
38. Kinney PL, Aggarwal M, Northridge ME, et al. Airborne concentrations of PM<sub>2.5</sub> and diesel exhaust particles on Harlem sidewalks: a community-based pilot study. *Environ Health Perspect.* 2000; 108: 213-218.
39. Petersen D, Minkler M, Breckwich VA, Corage Baden A. Community-based participatory research as a tool for policy change: a case study of the Southern California Environmental Justice Collaborative. *Rev Policy Res.* 2006; 23(2): 339-353.
40. Wing S, Horton RA, Muhammad N, et al. Integrating epidemiology, education, and organizing for environmental justice: community health effects of industrial hog operations. *Am J Public Health.* 2008; 98(8): 1390-1397.
41. Buchanan D, Miller F, Wallerstein N. Ethical issues in community based participatory research: balancing rigorous research with community participation in community intervention studies. *Prog Commun Health Partner* 2007; (1.2): 153-160.
42. Israel BA, Krieger J, Vlahov D, et al. Challenges and facilitating factors in sustaining community-based participatory research partnerships: lessons learned from the Detroit, New York City and Seattle Urban Research Centers. *J Urban Health.* 2006; 83(6): 1022-1040.
43. Ritas C. Speaking Truth, Creating Power: a guide to policy work for community based participatory research practitioners; 2003. [http://futurehealth.ucsf.edu/pdf\\_files/Ritas.pdf](http://futurehealth.ucsf.edu/pdf_files/Ritas.pdf). Accessed January 15, 2008.
44. Gonzalez P, Minkler M, Gordon M, et al. Community-based participatory research and policy advocacy to reduce diesel pollution in West Oakland, California. *Am J Public Health* (in press); 2010
45. Seifer SD. Building and sustaining community-institutional partnerships for prevention research: findings from a National collaborative. *J Urban Health.* 2006; 83(6): 989-1003.
46. Minkler M. Ethical challenges for the "outside" researcher in community based-participatory research. *Health Educ Behav.* 2004; 31(6): 684-697.
47. Israel BA, Parker EA, Rowe Z, et al. Community-based participatory research: lessons learned from the centers for children's environmental health and disease prevention research. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(10): 1463-1471.
48. Freire P. *Pedagogy of the oppressed*. New York: Continuum; 1971.

## Air Pollution, Aeroallergens, and Emergency Room Visits for Acute Respiratory Diseases and Gastroenteric Disorders among Young Children in Six Italian Cities

Flavia Orazio,<sup>1</sup> Luigi Nespoli,<sup>2</sup> Kazuhiko Ito,<sup>3</sup> Davide Tassinari,<sup>4</sup> Daniela Giardina,<sup>5</sup> Maurizio Funis,<sup>6</sup> Alessandra Cecchi,<sup>7</sup> Chiara Trapani,<sup>7</sup> Gisella Forgeschi,<sup>8</sup> Massimo Vignini,<sup>9</sup> Luana Nosetti,<sup>2</sup> Sabrina Pigna,<sup>10</sup> and Antonella Zanobetti<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Pediatric Emergency Room, Santobono's Hospital, Naples, Italy; <sup>2</sup>Pediatric Emergency Room, Pediatric Department, University of Varese, Varese, Italy; <sup>3</sup>Nelson Institute of Environmental Medicine, New York University School of Medicine, New York, New York, USA; <sup>4</sup>Pediatric Emergency Room, Pediatric Department, University of Bologna, Bologna, Italy; <sup>5</sup>Pediatric Emergency Room, Maggiore's Hospital, Bologna, Italy; <sup>6</sup>Pediatric Emergency Room, Pediatric Department, Torre Galli, Florence, Italy; <sup>7</sup>Pediatric Emergency Room, Mayer Hospital, Florence, Italy; <sup>8</sup>Pediatric Emergency Room, Ponte a Niccheri Hospital, Florence, Italy; <sup>9</sup>Pediatric Emergency Room, Pediatric Department, Salei Hospital, Ancona, Italy; <sup>10</sup>Pediatric Emergency Room, Gallarate Pediatric Hospital, Gallarate, Italy; <sup>11</sup>Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts, USA

**BACKGROUND:** Past studies reported evidence of associations between air pollution and respiratory symptoms and morbidity for children. Few studies examined associations between air pollution and emergency room (ER) visits for wheezing, and even fewer for gastroenteric illness. We conducted a multicity analysis of the relationship between air pollution and ER visits for wheezing and gastroenteric disorder in children 0–2 years of age.

**METHODS:** We obtained ER visit records for wheezing and gastroenteric disorder from six Italian cities. A city-specific case–crossover analysis was applied to estimate effects of particulate matter (PM), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and carbon monoxide, adjusting for immediate and delayed effects of temperature. Lagged effects of air pollutants up to 6 prior days were examined. The city-specific results were combined using a random-effect meta-analysis.

**RESULTS:** CO and SO<sub>2</sub> were most strongly associated with wheezing, with a 2.7% increase [95% confidence interval (CI), 0.5–4.9] for a 1.04- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in 7-day average CO and a 3.4% (95% CI, 1.5–5.3) increase for an 8.0- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in SO<sub>2</sub>. Positive associations were also found for PM with aerodynamic diameter  $\leq 10 \mu\text{g}$  and NO<sub>2</sub>. We found a significant association between the 3-day moving average CO and gastroenteric disorders [3.8% increase (95% CI, 1.0–6.8)]. When data were stratified by season, the associations were stronger in summer for wheezing and in winter for gastroenteric disorders.

**CONCLUSION:** Air pollution is associated with triggering of wheezing and gastroenteric disorders in children 0–2 years of age; more work is needed to understand the mechanisms to help prevent wheezing in children.

**KEY WORDS:** air pollution, asthma in children, epidemiology of asthma, children's health. *Environ Health Perspect* 117:1780–1785 (2009). doi:10.1289/ehp.0900599 available via <http://dx.doi.org/> [Online 13 August 2009]

Mounting evidence indicates that air pollution plays an important role on morbidity and mortality in all ages and especially in children. Many studies have focused on the association between pollutants and adverse respiratory health effects in children around the world (Bates 1995; Bedeschi et al. 2007; Dockery et al. 1996; Loomis et al. 1999; Ostro et al. 1999; Romieu et al. 2002; Thurston et al. 1997; Vigotti et al. 2007). In a European review, Valent et al. (2004) reported that among children 0–4 years of age, between 1.8% and 6.4% deaths could be explained by outdoor air pollution, whereas acute lower respiratory tract infections due to indoor air pollution accounted for 4.6% of all deaths and 3.1% of disability-adjusted life-years (DALYs). Recently, epidemiologic studies have also suggested that the effects of air pollution, at current levels, are particularly pronounced in the first years of life (Brauer et al. 2002).

Children are especially susceptible and may be more exposed than adults to ambient

air pollution, partly because children have higher ventilation rates than adults and because they tend to spend more time outdoors. Gastroenteritis is an inflammation of the gastrointestinal tract. The inflammation can be caused by infection with certain viruses, bacteria, or toxicants or by adverse reaction to ingested material or medication. Inhaled environmental pollutants in the first ages of life can have profound impacts on the interrelationships between signaling molecules and their targets, thereby upsetting homeostasis in the lung and possibly in the intestine (Kasper et al. 2005).

A few multicity studies have investigated the short-term effects of air pollutants on the development of respiratory infections and wheezing in very young children, using a case–crossover analysis or time-series analysis (Barnett et al. 2005; Bedeschi et al. 2007; Galan et al. 2003; Lin et al. 2003; Luginaah et al. 2005; Romeo et al. 2006; Tobias et al. 2003; Vigotti et al. 2007). However, none

has studied gastroenteric diseases, which represent a major fraction of morbidity outcomes in children, including visits to the emergency room (ER).

Air pollution is a concern in Italy, and several studies of mortality and hospital admissions in adults (Katsouyanni et al. 1996) and children (Bedeschi et al. 2007; Romeo et al. 2006; Vigotti et al. 2007) have addressed this issue.

In this study, we examined the association between air pollution and pediatric hospital ER visits for wheeze and gastroenteric disorders among children 0–2 years of age in six Italian cities between 1996 and 2002.

We applied a multicity case–crossover analysis to study the acute effect of particulate matter with aerodynamic diameter  $\leq 10 \mu\text{g}$  (PM<sub>10</sub>), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and carbon monoxide, and aeroallergens (Graminaceae and Urticaceae) on the risk of ER visits for wheezing and gastroenteric disorders among children 0–2 years of age, and we examined whether that risk was modified by season.

### Data and Methods

**Health data.** We examined the association between air pollution and daily pediatric hospital ER visits of children 0–2 years of age living in six Italian cities: Ancona (west on the

Address correspondence to A. Zanobetti, Department of Environmental Health, Exposure Epidemiology, and Risk Program, Harvard School of Public Health, 401 Park Drive, Landmark Center, Suite 415 West, P.O. Box 15698, Boston, MA 02215 USA. Telephone: (617) 384-8751. Fax: (617) 384-8745. E-mail: [azanob@hsph.harvard.edu](mailto:azanob@hsph.harvard.edu)

We thank I. Tamos for the creation of daily air pollution data in Naples (Ufficio Provinciale Napoli Dati Ambientali); F. Scotti and C. De Paoli for the collection of wheezing data in Gallarate (Gallarate Hospital); L. Silvestri for the collection of wheezing data in Varese (University of Varese); F. Pannuti for the collection of wheezing data in Naples (San Paolo Hospital); M. Russo for the aeroallergens levels measurements in Naples; E. Brigante for the collection of wheezing data in Naples (Annunziata Hospital), and G. Ianieri for the collection of wheezing data in Ancona.

The authors declare they have no competing financial interests.

Received 21 January 2009; accepted 13 August 2009.



sea), Bologna (center), Padua (north), Varese and Gallarate (north), Florence (center), and Naples (south). Varese and Gallarate were analyzed as one because these are two small municipalities near to each other in a zone with several industries in the north of Italy.

We collected information on daily ER visits for wheezing (Castro-Rodriguez et al. 2000) for the years 1996–2000 from the main pediatric hospitals in each city. Pediatric doctors in the ER collected information through questionnaires administered to the family when they were bringing their children to the ER.

We extracted daily counts of wheezing, defined as respiratory disease of lower airways (Martinez 2005). Wheezing resembles a musical sound generated by the high-speed airflow through the lumen that obstructs the airways. The children present rhinitis with coughing, and dyspnea; the chest is enlarged. Soft rales and wheezing, especially at the end of inspiration, are detected through auscultation.

We also extracted gastroenteric disorders, defined as acute enteric disease with diarrhea and vomiting (Elliott and Dalby-Payne 2004). In the study, children were excluded if they accidentally ingested poisonous substances, had urinary infection, or had gastroesophageal reflux.

**Environmental data.** Air pollution data were obtained from the Italian Environmental Protection Agency ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) for the six cities during the years 1996–2002.

We analyzed ambient PM<sub>10</sub> (available in Florence, Bologna, and Naples), total suspended particulates (TSP) (available in Ancona, Varese, Padua), NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and CO.

PM<sub>10</sub> and TSPs were measured by  $\beta$  attenuation, SO<sub>2</sub> by pulse fluorescence, NO<sub>2</sub> by chemiluminescence, O<sub>3</sub> by ultraviolet absorption, and CO by infrared absorption. Pollutants concentrations were expressed as 24-hr means for TSP, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub> and as the maximum of 8-hr means between 0800 and 1600 hours for CO and O<sub>3</sub>. The 24-hr and 8-hr averages were computed if at least 77% of the measures were available for all the pollutants.

We transformed the TSP data in PM<sub>10</sub> in those cities where only TSP was available using the conversion factor (PM<sub>10</sub> = 0.83 × TSP) suggested by the 1999 Council Directive of European Commission (Council Directive EC 1999).

Many of the cities have more than one monitoring location, and we computed local daily mean pollution concentrations as the average of all monitors in the city. We obtained local mean temperature and relative humidity from the same monitoring stations that collected air pollution data. We also obtained data on aeroallergens such as Gramineae and Urticaceae. The levels of these airborne pollens were collected using a volumetric spore

trap (VPPS 2000; Lanzoni Co., Bologna, Italy) located on the rooftop of each city's central station. Daily pollen counts were converted into 24-hr average concentrations expressed as grains per cubic meter. During the study period, daily pollen data were available from April to September in each city, and in Naples, Ancona, and Varese-Gallarate for all year. Because pollen data were very sparse during winter, this analysis was performed only in the summer.

**Statistical methods.** We investigated the association between daily air pollution concentrations and emergency visits for wheezing and acute enteric disease in children using a case–crossover design (Maclure 1991). The case–crossover design samples only case days, and a case subject becomes a control subject on days without event, in this analysis ER admission. By using control days close in time to the event day, there is no confounding by slowly varying personal characteristics, because each subject is the perfect match for himself. Moreover, the case–crossover method controls for long-term trend and seasonality by design. Air pollution has short-term serial correlation, and to ensure that all of our control days were independent, we chose control days matched on day of the week in the same month and year as the event day. In addition, for a sensitivity analysis, we conducted case–crossover analysis by matching on every third day from the case day in the same month and year, which provides more control days. In the every-third-day referent sampling method, day-of-week variable was included in the regression model.

To control for potential impacts of weather, we used same-day mean temperature to control for immediate effects and the average of the lags 1–3 of mean temperature to represent the delayed effects. Because risk may vary nonlinearly with temperature, we used natural cubic spline (with three degrees of freedom) for both the same day and the moving average of the previous 3 days. Both temperature terms (same day and lag 1–3) were included simultaneously in the models. We also included a natural cubic spline with three degrees of freedom to control for relative humidity. Because the relationship between air

pollution and wheeze or gastroenteric illness may change across seasons, we also conducted stratified analyses by season, defined as summer for the months of April–September and winter as October–March. Air pollution was modeled linearly. We analyzed the effect from the same day up to 6 prior days; we also computed the moving averages as averages of the exposure lags. For example, the 2-day moving average (lag 0–1) was computed as the mean of the same and previous days; the 3-day moving average (lag 0–2) included lag 0, 1, and 2, and so on, up to the 7-day moving average (lag 0–6), which is the average of lag 0–6 days.

The analysis was conducted in each city separately. To estimate an average effect for all cities, the city-specific results were combined using a random-effect meta-analysis using the method of DerSimonian and Laird (1986). We also report the *p*-values for the test of homogeneity. The results are expressed as percentage increase in each outcome for an interquartile range (IQR) increase in exposure. The IQRs were computed as the average IQR across the cities. The data were analyzed using a conditional logistic regression (PROC PHREG release 8.2; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

## Results

The six cities analyzed in this study span north, central, western, and southern regions of Italy and present differences in terms of weather and population. The largest among the six cities is Naples, with a population of around 1 million. The smallest city, Gallarate (population ~ 50,000), and the second smallest city, Varese (~ 90,000), were combined for the analysis. Thus, Ancona (population ~ 100,000) effectively had the smallest population in our analysis. The population of children 0–2 years of age was about 2% of the total population in these cities.

Table 1 shows the daily mean and SD of ER visits for wheeze and gastroenteric illness for all year and by season. The mean number of emergency visits for total wheezing varies between 18 in Naples, the largest city, and < 1 in Ancona, the smallest city. The daily counts for wheeze are generally larger in cold season

**Table 1.** Descriptive statistics for daily counts of ER visits in each city, in total and by season (mean ± SD).

	Ancona	Bologna	Florence	Naples	Padua	Varese–Gallarate
Total wheeze						
All	0.7 ± 1.0	3.6 ± 3.4	1.9 ± 2.2	18.3 ± 9.1	4.8 ± 4.9	1.0 ± 1.3
Winter	0.9 ± 1.1	4.7 ± 3.7	2.6 ± 2.6	22.1 ± 10.1	6.6 ± 5.7	1.3 ± 1.4
Summer	0.6 ± 0.9	2.4 ± 2.5	1.1 ± 1.3	14.6 ± 5.8	3.0 ± 2.8	0.7 ± 1.0
No. of admissions	1,337	6,526	4,776	33,501	5,299	1,833
Total gastroenteric disorders						
All	0.4 ± 0.7	1.7 ± 1.6	0.9 ± 1.2	8.0 ± 3.8	2.9 ± 2.4	0.5 ± 0.8
Winter	0.3 ± 0.6	1.9 ± 1.8	1.1 ± 1.4	6.6 ± 3.0	2.9 ± 2.4	0.6 ± 0.9
Summer	0.4 ± 0.7	1.5 ± 1.4	0.8 ± 1.0	9.4 ± 4.0	2.9 ± 2.4	0.5 ± 0.7
No. of admissions	641	3,102	2,372	14,626	3,170	1,003
Years of study	1996–2000	1996–2000	1996–2002	1996–2000	1996–1998	1996–2000

than in warm season, whereas for gastroenteric illness, there is little seasonal pattern.

Table 2 shows the distribution of the weather variables and air pollution. The weather is relatively mild, with the mean temperature ranging from 12.7°C in Varese–Gallarate (north) to 18.6°C in Naples (south). The mean levels of gaseous air pollutants varied by a factor of two across these six cities, with Naples showing the highest levels, whereas the mean levels of PM were less variable. The number of missing values varies by city, with Varese and Gallarate being the city with the highest percentage of missing values (between 1% and 22%). Across the other cities, the percentage of missing values varied between 0 and 8%.

Associations between air pollutants and ER visits for both wheezing and gastroenteric disorders were positive at all single-day lags (result not shown) but consistently less significant than those for moving averages. (For SO<sub>2</sub> only we found significant associations from lag 2 to lag 6.) Therefore, we present the result using moving averages.

Table 3 shows the combined results for total wheezing for all the moving averages. Among the air pollutants, CO was most strongly associated with ER visits for wheezing, followed by SO<sub>2</sub>. However, generally positive associations were found for PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> as well, and, although some associations were not statistically significant, for

all the pollutants considered the estimated risks increased as the average of longer lags were considered. For CO, the estimated risks were significant for all the moving averages analyzed. For example, the percentage excess risk estimate for the lag 0–6 (i.e., the average of 0- through 6-day lags) was 2.7% [95% confidence interval (CI), 0.5–4.9] in total wheezing for a 1.04-µg/m<sup>3</sup> increase in the average of 0- through 6-day lags of CO. The strongest association between ER visits for wheezing and SO<sub>2</sub> was found for the lag 0–7, with a 3.4% (95% CI, 1.5–5.3) increase for a 8.0-µg/m<sup>3</sup> increase in SO<sub>2</sub>. No significant associations were found with O<sub>3</sub>.

The associations between air pollution and ER visits for gastroenteric disorders (Table 4) were generally weaker than those for wheezing. CO and SO<sub>2</sub> showed significant associations, but unlike the result for wheezing, the estimated risks for CO were not consistently larger for the moving averages with longer lags. The strongest association for CO was found for the 3-day moving average (i.e., average of 0- through 2-day lags, lag 0–2), with a 3.8% increase (95% CI, 1.0–6.8) per 1.1 µg/m<sup>3</sup> increase in CO. For SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and PM<sub>10</sub>, the estimated risks were larger for the moving averages with longer lags, although significant associations were found only for the lag 0–6 and lag 0–7 of SO<sub>2</sub>. No significant associations were found with O<sub>3</sub>.

Tables 3 and 4 also present the *p*-values for homogeneity; although for total wheeze we found significant (at significance level of 0.05) heterogeneity in PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, not much heterogeneity between the cities was found for gastroenteric disorders.

The results from the sensitivity analyses in which control days were chosen from every third day from the case day in the same month and year show the pattern of associations (the lag structure and relative strength of associations across pollutants) similar to that of the main analysis, but the strength of associations is somewhat weaker in the sensitivity analysis despite larger number control days.

When data were stratified by season (Figure 1), for wheezing, the risk estimates for NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and CO were larger in summer than in winter. However, the CIs for these estimates were wide, and therefore these contrasts were not statistically significant. For gastroenteric disorders, the estimated risks for NO<sub>2</sub> and CO were larger in winter than in summer, although, again, these differences were not statistically significant.

The results for aeroallergens during summer are reported in Tables 3 and 4 and in Figure 1. Unlike air pollutants, the extent of lagged associations between the pollen and ER visits were shorter, with the four lag 0–3 being most consistently significant. We found a significant effect at lag 3, with a 0.9% increase (95% CI, 0.1–1.7) in total wheeze for 9.6 grains/m<sup>3</sup> in Gramineae and a 2.6% increase (95% CI, 0.05–5.3) in gastroenteric disorders for 27.7 grains/m<sup>3</sup> in Urticaceae.

The varying widths of CIs seen in Figure 1 are attributable mainly to the difference in distributional characteristics of the exposure variables—those with narrow CIs tend to be the exposure variables with right-skewed distributions, whereas those with wide confidence bands tend to be those with more normally distributed variables.

## Discussion

The present study shows a significant association between hospital emergency visits for wheezing and gastroenteric disorders in children 0–2 years of age and air pollution levels in six urban cities in Italy, located in different geographical areas (northern, central and southern Italy, plus seaside localities and hinterland territory) having different climatic conditions.

Very young children represent a population more susceptible to adverse health effects; the immune system in the early ages of life is still underdeveloped, as it must recognize the newly assimilated foods during the weaning period. Furthermore, children having a lesser corporeal surface but a higher respiratory frequency inhale and absorb more pollutants in relation to their weight compared with adults.

**Table 2.** Mean ± SD for environmental variables in six cities.

	Ancona	Bologna	Florence	Naples	Padua	Varese–Gallarate
Temperature (°C)						
All	14.6 ± 7.1	16.2 ± 9.1	15.3 ± 7.2	18.6 ± 7.0	15.1 ± 7.4	12.7 ± 7.5
Winter	9.5 ± 4.4	9.7 ± 5.7	9.8 ± 4.7	13.9 ± 4.7	9.4 ± 4.4	6.5 ± 4.5
Summer	19.7 ± 5.4	22.6 ± 7.2	20.7 ± 4.8	23.3 ± 5.7	21.0 ± 4.8	18.4 ± 4.6
Relative humidity (%)						
All	60.8 ± 21.1	69.0 ± 12.0	72.6 ± 15.2	44.0 ± 22.9	83.2 ± 7.3	70.7 ± 18.6
Winter	63.4 ± 21.0	72.5 ± 12.5	76.9 ± 15.8	44.4 ± 23.6	84.6 ± 6.6	73.3 ± 19.6
Summer	58.2 ± 20.8	65.6 ± 10.6	68.1 ± 13.1	43.5 ± 22.3	81.9 ± 7.6	68.3 ± 17.4
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
All	43.2 ± 42.1	50.8 ± 26.1	43.8 ± 18.9	44.5 ± 18.3	48.1 ± 13.5	63.2 ± 22.1
Winter	38.1 ± 27.4	61.7 ± 28.4	46.5 ± 20.0	39.4 ± 18.4	46.9 ± 14.6	67.6 ± 25.2
Summer	48.3 ± 52.1	40.1 ± 18.0	41.0 ± 17.2	49.6 ± 16.8	49.4 ± 12.0	59.1 ± 17.7
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
All	42.5 ± 32.9	64.8 ± 20.3	57.9 ± 17.8	78.6 ± 30.6	48.7 ± 18.2	40.8 ± 17.0
Winter	47.5 ± 35.2	73.3 ± 19.2	63.5 ± 19.1	86.8 ± 35.6	55.2 ± 20.3	49.0 ± 18.1
Summer	37.5 ± 29.5	56.4 ± 17.8	52.3 ± 14.4	70.5 ± 21.9	42.1 ± 12.8	33.1 ± 11.4
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
All	14.6 ± 9.8	7.2 ± 6.0	5.5 ± 4.3	21.1 ± 25.2	17.3 ± 7.3	7.0 ± 5.9
Winter	14.7 ± 10.8	10.1 ± 6.7	6.9 ± 5.2	18.5 ± 19.3	19.1 ± 8.2	10.9 ± 6.1
Summer	14.5 ± 8.6	4.4 ± 3.3	4.1 ± 2.5	23.6 ± 29.6	15.4 ± 5.6	3.5 ± 2.6
CO (µg/m <sup>3</sup> )						
All	2.1 ± 0.9	1.4 ± 0.9	1.5 ± 0.8	2.6 ± 1.3	1.9 ± 0.9	1.3 ± 0.8
Winter	2.3 ± 0.8	1.8 ± 1.0	1.9 ± 0.8	3.0 ± 1.6	2.4 ± 0.9	1.8 ± 0.8
Summer	1.9 ± 0.9	0.9 ± 0.5	1.1 ± 0.4	2.3 ± 1.0	1.4 ± 0.4	0.8 ± 0.3
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )						
Winter	30.7 ± 30.7	23.9 ± 40.5	22.5 ± 16.7	54.7 ± 18.5	34.6 ± 18.8	23.5 ± 17.9
Summer	41.3 ± 29.6	72.9 ± 40.5	60.7 ± 19.1	86.8 ± 32.4	55.9 ± 20.3	69.0 ± 26.9
Gramineae (grains/m <sup>3</sup> )						
Summer	2.6 ± 10.7	25.1 ± 39.2	4.8 ± 12.7	4.2 ± 9.1	4.4 ± 9.8	31.5 ± 113.1
Urticaceae (grains/m <sup>3</sup> )						
Summer	37.9 ± 44.4	36.9 ± 65.9	2.7 ± 6.8	59.9 ± 95.0	15.4 ± 32.5	12.1 ± 27.3

However, only a few studies have investigated the respiratory effects of air pollution among very young children to date. A recent study in Copenhagen (Andersen et al. 2008) found an association between incident wheezing symptoms in infants (0–1 years of age) and air pollution (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO) with 3- to 4-day lag, consistent with the delayed associations found in our study. Barnett et al. (2005) analyzed data on respiratory hospital admissions in children for three age groups (< 1, 1–4, 5–14 years) in five cities in Australia and two in New Zealand. They found significant association between air pollution (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub>) and hospitalizations for pneumonia and acute bronchitis for the age groups

< 1 and 1–4 years and all respiratory diseases for the three age groups. Pollution levels in those countries were lower than those observed in Italian cities. Villeneuve et al. (2007) examined associations between air pollution and ER visits for asthma among children (2–4, 5–14 years of age) and adults (e.g., 15–24, 25–44 years of age) and reported that the air pollution associations were strongest among young children, with NO<sub>2</sub> and CO having especially pronounced associations. For the 2- to 4-year-old group, CO showed the strongest associations in the warm season, and the estimated risks increased as longer lags were included in the moving averages, which is also consistent with our finding.

More studies examined either older children or children as defined with wider age ranges. These include two studies from Italian cities. Vigotti and colleagues (2007) investigated associations between air pollution and ER visits for respiratory complaints for children (< 10 years of age) and the elderly (> 65 years of age) in Pisa and found significant increase in the ER visits and with increases in PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> (CO was positive but not significantly associated). Similarly, Bedeschi et al. (2007) found increases in ER visits for respiratory diseases among children < 15 years of age associated with elevated levels of PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, with a magnitude of excess risks comparable with those found in our study. In

**Table 3.** Percentage increase (95% CI) in risk of total wheeze for an IQR increase in air pollution: combined results across six cities and *p*-value for homogeneity test.

Pollutant	Percent (95% CI)	IQR	<i>p</i> -Value for homogeneity
CO lag 0–1	1.7 (0.2 to 3.3)	1.1	0.85
CO lag 0–2	2.2 (0.5 to 3.9)	1.1	0.76
CO lag 0–3	2.3 (0.5 to 4.1)	1.1	0.50
CO lag 0–4	2.1 (0.2 to 4.0)	1.1	0.48
CO lag 0–5	2.4 (0.1 to 4.8)	1.0	0.37
CO lag 0–6	2.7 (0.5 to 4.9)	1.0	0.41
NO <sub>2</sub> lag 0–1	1.4 (–1.6 to 4.4)	26.0	0.02
NO <sub>2</sub> lag 0–2	2.1 (–1.3 to 5.7)	24.9	< 0.001
NO <sub>2</sub> lag 0–3	2.3 (–1.4 to 6.2)	24.0	< 0.001
NO <sub>2</sub> lag 0–4	2.7 (–1.1 to 6.6)	23.2	< 0.001
NO <sub>2</sub> lag 0–5	2.6 (–1.2 to 6.7)	22.8	< 0.001
NO <sub>2</sub> lag 0–6	2.8 (–1.0 to 6.7)	22.2	0.02
PM <sub>10</sub> lag 0–1	1.8 (–2.0 to 5.7)	21.3	< 0.001
PM <sub>10</sub> lag 0–2	1.7 (–2.9 to 6.4)	20.7	< 0.001
PM <sub>10</sub> lag 0–3	2.5 (–2.6 to 7.8)	20.1	< 0.001
PM <sub>10</sub> lag 0–4	2.9 (–2.9 to 9.0)	19.7	< 0.001
PM <sub>10</sub> lag 0–5	3.4 (–2.5 to 9.8)	19.3	< 0.001
PM <sub>10</sub> lag 0–6	3.8 (–2.3 to 10.3)	18.9	< 0.001
SO <sub>2</sub> lag 0–1	0.1 (–1.4 to 1.6)	8.7	0.85
SO <sub>2</sub> lag 0–2	0.9 (–0.7 to 2.5)	8.5	0.90
SO <sub>2</sub> lag 0–3	1.7 (0.0 to 3.4)	8.3	0.82
SO <sub>2</sub> lag 0–4	2.1 (0.4 to 3.9)	8.2	0.54
SO <sub>2</sub> lag 0–5	2.8 (0.9 to 4.6)	8.1	0.52
SO <sub>2</sub> lag 0–6	3.4 (1.5 to 5.3)	8.0	0.61
O <sub>3</sub> lag 0–1	–1.9 (–6.6 to 3.1)	42.1	0.11
O <sub>3</sub> lag 0–2	–3.1 (–8.9 to 3.1)	41.5	0.03
O <sub>3</sub> lag 0–3	–2.9 (–9.5 to 4.1)	41.7	0.02
O <sub>3</sub> lag 0–4	–3.7 (–11.2 to 4.5)	41.5	> 0.001
O <sub>3</sub> lag 0–5	–4.4 (–13.3 to 5.5)	41.5	> 0.001
O <sub>3</sub> lag 0–6	–4.6 (–15.2 to 7.4)	41.6	> 0.001
Summer only Gramineae	0.4 (–0.5 to 1.2)	9.6	0.52
Lag 1	0.4 (–0.4 to 1.2)	9.6	0.61
Lag 2	0.6 (–0.6 to 1.7)	9.6	0.22
Lag 3	0.9 (0.1 to 1.7)	9.6	0.45
Lag 0–1	0.5 (–0.5 to 1.6)	10.2	0.54
Lag 0–2	0.7 (–0.5 to 1.9)	10.4	0.45
Lag 0–3	1.2 (–0.1 to 2.5)	10.7	0.43
Urticaceae	0.3 (–0.3 to 1.0)	27.7	0.54
Lag 1	0.4 (–0.3 to 1.0)	27.7	0.44
Lag 2	0.0 (–0.6 to 0.7)	27.7	0.86
Lag 3	0.4 (–0.2 to 1.1)	27.7	0.70
Lag 0–1	0.5 (–0.3 to 1.3)	28.2	0.52
Lag 0–2	0.5 (–0.5 to 1.4)	29.9	0.53
Lag 0–3	0.7 (–0.4 to 1.8)	30.8	0.71

**Table 4.** Percentage increase (95% CI) in risk of gastroenteric disorders for an IQR increase in air pollution: combined results across the six cities, and *p*-value for homogeneity.

Pollutant	Percent (95% CI)	IQR	<i>p</i> -Value for homogeneity
CO lag 0–1	2.7 (0.1 to 5.4)	1.1	0.71
CO lag 0–2	3.8 (1.0 to 6.8)	1.1	0.85
CO lag 0–3	4.9 (–1.7 to 11.9)	1.1	0.27
CO lag 0–4	4.7 (–7.0 to 17.8)	1.1	0.05
CO lag 0–5	3.5 (–8.5 to 17.0)	1.0	0.05
CO lag 0–6	2.7 (–12.0 to 20.0)	1.0	0.01
NO <sub>2</sub> lag 0–1	–1.1 (–3.2 to 1.1)	26.0	0.57
NO <sub>2</sub> lag 0–2	0.1 (–3.0 to 3.3)	24.9	0.26
NO <sub>2</sub> lag 0–3	1.8 (–2.4 to 6.2)	24.0	0.08
NO <sub>2</sub> lag 0–4	2.9 (–1.6 to 7.6)	23.2	0.07
NO <sub>2</sub> lag 0–5	2.3 (–1.9 to 6.6)	22.8	0.14
NO <sub>2</sub> lag 0–6	2.5 (–1.7 to 6.9)	22.2	0.16
PM <sub>10</sub> lag 0–1	2.4 (–1.0 to 5.8)	21.3	0.28
PM <sub>10</sub> lag 0–2	2.4 (–1.4 to 6.3)	20.7	0.21
PM <sub>10</sub> lag 0–3	2.7 (–1.5 to 7.0)	20.1	0.15
PM <sub>10</sub> lag 0–4	2.9 (–1.9 to 7.9)	19.7	0.08
PM <sub>10</sub> lag 0–5	3.2 (–1.6 to 8.3)	19.3	0.09
PM <sub>10</sub> lag 0–6	3.8 (–1.6 to 9.4)	18.9	0.04
SO <sub>2</sub> lag 0–1	–0.1 (–2.5 to 2.3)	8.7	0.78
SO <sub>2</sub> lag 0–2	0.2 (–2.3 to 2.8)	8.5	0.84
SO <sub>2</sub> lag 0–3	1.0 (–1.6 to 3.7)	8.3	0.50
SO <sub>2</sub> lag 0–4	4.1 (–0.5 to 9.0)	8.2	0.16
SO <sub>2</sub> lag 0–5	7.0 (0.1 to 14.3)	8.1	0.06
SO <sub>2</sub> lag 0–6	8.5 (0.6 to 16.9)	8.0	0.04
O <sub>3</sub> lag 0–1	2.1 (–3.8 to 8.4)	42.1	0.15
O <sub>3</sub> lag 0–2	2.0 (–4.4 to 8.8)	41.5	0.16
O <sub>3</sub> lag 0–3	4.0 (–3.9 to 12.5)	41.7	0.08
O <sub>3</sub> lag 0–4	4.2 (–5.2 to 14.5)	41.5	0.03
O <sub>3</sub> lag 0–5	5.6 (–4.5 to 16.7)	41.5	0.03
O <sub>3</sub> lag 0–6	6.5 (–3.8 to 17.8)	41.6	0.06
Summer only Gramineae	–0.3 (–1.6 to 0.9)	9.6	0.98
Lag 1	0.4 (–0.8 to 1.6)	9.6	0.46
Lag 2	0.8 (–1.2 to 2.9)	9.6	0.05
Lag 3	1.0 (0.0 to 2.1)	9.6	0.66
Lag 0–1	0.1 (–1.5 to 1.6)	10.2	0.74
Lag 0–2	0.7 (–1.7 to 3.0)	10.4	0.18
Lag 0–3	1.2 (–1.2 to 3.7)	10.7	0.21
Urticaceae	0.0 (–1.8 to 1.9)	27.7	0.12
Lag 1	0.7 (–1.3 to 2.8)	27.7	0.07
Lag 2	0.0 (–1.0 to 1.0)	27.7	0.46
Lag 3	2.6 (0.0 to 5.3)	27.7	0.01
Lag 0–1	0.7 (–1.9 to 3.3)	28.2	0.05
Lag 0–2	0.7 (–1.9 to 3.5)	29.9	0.11
Lag 0–3	1.9 (–1.4 to 5.4)	30.8	0.06

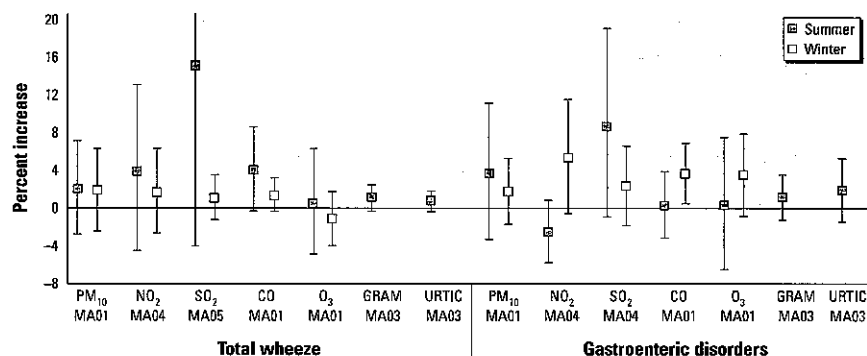
the study by Bedeschi et al., the associations appeared to increase or persist at longer lags (up to 5 days), which is also consistent with our finding. Thus, the results from the Italian studies that involved older children are consistent with the finding from our study with very young children.

In our study, CO showed the strongest associations with ER visits for wheezing, followed by SO<sub>2</sub>. However, PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> also showed consistently positive risk estimates (though not statistically significant) with the lag structure of associations similar to those for CO and SO<sub>2</sub>. In the studies that we mentioned above, as well as in other studies that found associations between air pollution and children's respiratory morbidity—such as the analysis by Luginaah et al. (2005) in Windsor, Ontario, Canada, or the study by Lin et al. (2005) in Toronto, Ontario, Canada—researchers found associations with similar groups of air pollutants, generally including two or more from CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and some PM indices. These pollutants likely share the same temporal fluctuations due to air stagnation, but they also represent local combustion sources including traffic. Thus, it may be more reasonable to consider these pollutants as surrogate indicator(s) of traffic and local combustions than to attempt to seek independent effects of single pollutants. It is also worth noting that the main source of pollution in five of these urban areas is traffic, whereas one of them is exposed also to industrial sources.

A study conducted by Brauer and co-investigators (2002) in the Netherlands, though different in the study design, found an association between residing near motorways with intense road traffic and a higher prevalence in respiratory infections with wheezing and asthma in children in the same age group as in our study (0–2 years of age). Studies are needed to investigate connections between short-term associations, incidence, and prevalence of these respiratory outcomes.

Another interesting result of our study is the association between air pollution and gastroenteric emergency visits. This is the first study to report this association in children. Previous studies (Chen et al. 2000; Lipsett et al. 1997), which examined ER visits for gastroenteritis as a control group, did not find association with the gaseous pollutants or PM indices. The mechanisms underlying these effects are not well known. Gastroenteritis is an inflammation of the gastrointestinal tract that could be caused by infection or by adverse reaction to ingested or inhaled material (Kasper et al. 2005). It is possible that particles are involved in the mechanism. Poorly soluble particles deposited in the oral passages may be cleared by coughing and expectoration or by swallowing into the gastrointestinal tract. Soluble particles are likely to be rapidly absorbed after deposition, but deposition depends on the rate of dissolution of the particle and the molecular size of the solute (U.S. Environmental Protection Agency 2004). Our study focused on very young children, who are still developing. Therefore, our findings might reflect the susceptibility of this age group. Clearly, more studies are needed to replicate our finding in this age group and to understand the possible mechanisms.

Public health implication of the impact of air pollution on wheezing at a very young age may be profound. Viral infections determining wheezing are frequent conditions in children < 3 years of age, and in case of an increased individual genetic susceptibility (Martinez 2005), an abnormal reaction may occur because of the immaturity of the immune response, thus facilitating the onset of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in adult ages. Further research is needed to investigate the mechanism(s) contributing to the interactions between viral infections and the exposure to ambient air pollution, to help prevent wheezing in children and the possible onset of COPD in adult ages.



**Figure 1.** Combined results by season for total wheeze and gastroenteric disorders. Abbreviations: GRAM, Gramineae; URTIC, Urticaceae. Results are expressed as percent increase (95% CI) in risk of wheeze and gastroenteric disorders for an IQR increase in air pollution. The results by season for selected moving averages (MA) are presented in the x-axes for each outcome (total wheeze and gastroenteric disorders) and for each pollutant for lag days 1, 3, 4, and 5.

The limitations of our study include relatively small counts of the outcomes studied, as reflected in the wide CIs—a tradeoff when investigating the outcomes at a very narrow age interval. Also, the particle indices available (TSP and PM<sub>10</sub>) are somewhat limited in that there were no data available on fine particles or their chemical constituents, which would have allowed a better characterization of the type of air pollution that may be responsible for the observed associations.

In conclusion, we found association between hospital emergency visits for wheezing and gastroenteric disorders in children 0–2 years of age and air pollution levels in urban cities in Italy. Local combustion sources, including traffic, may be responsible for the observed associations. Further research is needed to investigate the impact of air pollution on very young children, as they may also influence their health conditions at a later stage of life.

## REFERENCES

- Andersen ZJ, Loft S, Kettel M, Stage M, Scheike T, Hermansen MN, et al. 2008. Ambient air pollution triggers wheezing symptoms in infants. *Thorax* 63(8):710–716.
- Barnett AG, Williams GM, Schwartz J, Neller AH, Best TL, Petroeschevsky AL, et al. 2005. Air pollution and child respiratory health: a case-crossover study in Australia and New Zealand. *Am J Respir Crit Care Med* 171(11):1272–1278.
- Bates DV. 1995. The effects of air pollution on children. *Environ Health Perspect* 103(suppl 6):49–53.
- Bedeschi E, Campari C, Candela S, Collini G, Caranci N, Frasca G, et al. 2007. Urban air pollution and respiratory emergency visits at pediatric unit, Reggio Emilia, Italy. *J Toxicol Environ Health A* 70(3–4):261–265.
- Brauer M, Hoek G, Van Vliet P, Meliefste K, Fischer PH, Wijga A, et al. 2002. Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med* 166(8):1092–1098.
- Castro-Rodriguez JA, Holberg CJ, Wright AL, Martinez FD. 2000. A clinical index to define risk of asthma in young children with recurrent wheezing. *Am J Respir Crit Care Med* 162(4):1403–1406.
- Chen L, Yang W, Jennison BL, Omaye ST. 2000. Air particulate pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Reno, Nevada. *Inhal Toxicol* 12(4):281–298.
- Council Directive EC. 1999. Council Directive 1999/30/EC of April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxide of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal of the European Commission L* 163(26 June 1999):41–60.
- DerSimonian R, Laird N. 1986. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials* 7(3):177–188.
- Dockery DW, Cunningham J, Damokosh AI, Neas LM, Spengler JD, Koutrakis P, et al. 1996. Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect* 104:500–505.
- Elliott EJ, Dalby-Payne JR. 2004. Acute infectious diarrhoea and dehydration in children. *Med J Aust* 181(10):565–570.
- Galan I, Tobias A, Banegas JR, Aranguiz E. 2003. Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *Eur Respir J* 22(5):802–808.
- Kasper DL, Braunwald E, Fauci AS, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL. 2005. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. New York:McGraw-Hill.
- Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A, et al. 1996. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *J Epidemiol Community Health* 50(suppl 1):S12–S18.
- Lin M, Chen Y, Burnett RT, Villeneuve PJ, Krewski D. 2003.

000567

VTA

## Air pollution and wheeze in children

- Effect of short-term exposure to gaseous pollution on asthma hospitalisation in children: a bi-directional case-crossover analysis. *J Epidemiol Community Health* 57(1):50-55.
- Lin M, Stieb DM, Chen Y. 2005. Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto: a case-crossover analysis. *Pediatrics* 116(2):235-240.
- Lipssett M, Hurlay S, Ostro B. 1997. Air pollution and emergency room visits for asthma in Santa Clara County, California. *Environ Health Perspect* 105:216-222.
- Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. 1999. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 10(2):118-123.
- Luginaah IN, Fung KY, Gorey KM, Webster G, Wills C. 2005. Association of ambient air pollution with respiratory hospitalization in a government-designated "area of concern": the case of Windsor, Ontario. *Environ Health Perspect* 113:290-296.
- Maclure M. 1991. The case-crossover design: a method for studying transient effects on the risk of acute events. *Am J Epidemiol* 133(2):144-153.
- Martinez FD. 2005. Heterogeneity of the association between lower respiratory illness in infancy and subsequent asthma. *Proc Am Thorac Soc* 2:157-161.
- Ostro BD, Eskeland GS, Sanchez JM, Feyzioğlu T. 1999. Air pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ Health Perspect* 107:69-73.
- Romeo E, De Sario M, Forastiere F, Compagnucci P, Stafoggia M, Bergamaschi A, et al. 2006. PM<sub>10</sub> exposure and asthma exacerbations in pediatric age: a meta-analysis of panel and time-series studies [in Italian]. *Epidemiol Prev* 30(4-5):245-254.
- Romieu I, Samet JM, Smith KR, Bruce N. 2002. Outdoor air pollution and acute respiratory infections among children in developing countries. *J Occup Environ Med* 44(7):640-649.
- Thurston GD, Lippmann M, Scott MB, Fine JM. 1997. Summertime haze air pollution and children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 155(2):654-660.
- Tobias A, Galan I, Banegas JR, Aranguiz E. 2003. Short term effects of airborne pollen concentrations on asthma epidemic. *Thorax* 58(8):708-710.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2004. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Research Triangle Park, NC:National Center for Environmental Assessment-RTP Office.
- Valent F, Little D, Bertollini R, Nemer LE, Barbone F, Tamburini G. 2004. Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *Lancet* 363(9426):2032-2039.
- Vigotti MA, Chiaverini F, Biagiola P, Rossi G. 2007. Urban air pollution and emergency visits for respiratory complaints in Pisa, Italy. *J Toxicol Environ Health A* 70(3-4):266-269.
- Vileneuve PJ, Chen L, Rowe BH, Coates F. 2007. Outdoor air pollution and emergency department visits for asthma among children and adults: a case-crossover study in northern Alberta, Canada. *Environ Health* 6:40-44.



000568

# Mortality Associations with Long-Term Exposure to Outdoor Air Pollution in a National English Cohort

Iain M. Carey<sup>1</sup>, Richard W. Atkinson<sup>1</sup>, Andrew J. Kent<sup>2</sup>, Tjeerd van Staa<sup>3,4</sup>, Derek G. Cook<sup>1</sup>, and H. Ross Anderson<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Division of Population Health Sciences and Education and MRC-PHE Centre for Environment and Health, St George's, University of London, London, United Kingdom; <sup>2</sup>AEA Technology P.L.C., Harwell IBC, Didcot, Oxfordshire, United Kingdom; <sup>3</sup>Clinical Practice Research Datalink, Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, London, United Kingdom; <sup>4</sup>Utrecht Institute for Pharmaceutical Sciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands; and <sup>5</sup>MRC-PHE Centre for Environment and Health, King's College London, London, United Kingdom

**Rationale:** Cohort evidence linking long-term exposure to outdoor particulate air pollution and mortality has come largely from the United States. There is relatively little evidence from nationally representative cohorts in other countries.

**Objectives:** To investigate the relationship between long-term exposure to a range of pollutants and causes of death in a national English cohort.

**Methods:** A total of 835,607 patients aged 40–89 years registered with 205 general practices were followed from 2003–2007. Annual average concentrations in 2002 for particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 10 (PM<sub>10</sub>) and less than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone, and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) at 1 km<sup>2</sup> resolution, estimated from emission-based models, were linked to residential postcode. Deaths (n = 83,103) were ascertained from linkage to death certificates, and hazard ratios (HRs) for all- and cause-specific mortality for pollutants were estimated for interquartile pollutant changes from Cox models adjusting for age, sex, smoking, body mass index, and area-level socioeconomic status markers.

**Measurements and Main Results:** Residential concentrations of all pollutants except ozone were positively associated with all-cause mortality (HR, 1.02, 1.03, and 1.04 for PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub>, respectively). Associations for PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub> were larger for respiratory deaths (HR, 1.09 each) and lung cancer (HR, 1.02, 1.06, and 1.05) but nearer unity for cardiovascular deaths (1.00, 1.00, and 1.04).

**Conclusions:** These results strengthen the evidence linking long-term ambient air pollution exposure to increased all-cause mortality. However, the stronger associations with respiratory mortality are not consistent with most US studies in which associations with cardiovascular causes of death tend to predominate.

**Keywords:** air pollution; mortality; cohort study; respiratory

Epidemiologic studies suggest that long-term exposure to ambient air pollution is associated with increased mortality (1, 2). Much of this evidence comes from cohort studies in the United States where the focus has been on associations with fine particles. In particular, the American Cancer Society (ACS) study

(Received in original form October 1, 2012; accepted in final form March 5, 2013)

Supported by Policy Research Programme in the Department of Health.

**Author Contributions:** Conception and design, I.M.C., R.W.A., A.J.K., T.v.S., D.G.C., and H.R.A. Analysis, interpretation, and drafting of manuscript, I.M.C., R.W.A., D.G.C., and H.R.A.

Correspondence and requests for reprints should be addressed to Richard W. Atkinson, Ph.D., Division of Population Health Sciences and Education and MRC-PHE Centre for Environment and Health, St George's, University of London, Cranmer Terrace, London SW17 0RE, UK. E-mail: atkinson@sgul.ac.uk

This article has an online supplement, which is accessible from this issue's table of contents at [www.atsjournals.org](http://www.atsjournals.org)

Am J Respir Crit Care Med Vol 187, Iss. 11, pp 1226–1233, Jun 1, 2013

Copyright © 2013 by the American Thoracic Society

Originally Published in Press as DOI: 10.1164/rccm.201210-17580C on April 3, 2013

Internet address: [www.atsjournals.org](http://www.atsjournals.org)

## AT A GLANCE COMMENTARY

### Scientific Knowledge on the Subject

Long-term exposure to ambient levels of fine particulate matter has been associated with increased mortality, particularly from cardiovascular disease, in several US population cohorts. There is less cohort evidence available outside the United States on gaseous pollutants and on respiratory outcomes.

### What This Study Adds to the Field

Concentrations of particulate matter, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide, but not ozone, were associated with increased all-cause mortality in a large national cohort in England. However, unlike US studies we found larger associations for respiratory rather than cardiovascular causes of death. These findings add to the evidence that from an international perspective there is important heterogeneity in the effects of air pollution on cause-specific mortality.

(3) and the Six-Cities study (4) have been extensively reanalyzed confirming their initial findings (5–9). Associations with the air pollution mixtures experienced by populations in Europe (10–16) and worldwide (17–20) have also been reported.

Where studies have investigated cause-specific mortality, the focus has been on cardiovascular disease (2). By contrast, the evidence for associations with respiratory mortality is less convincing (1) because many studies have lacked statistical power, or used a combined cardiorespiratory outcome because of the smaller number of respiratory deaths (4, 12). A recent report on the global impact of particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>) on chronic obstructive pulmonary disease (COPD) was reliant on only three studies, all from the United States (21). Few cohort studies have used large, population-based, nationally representative samples to investigate a range of respiratory and cardiovascular causes separately, or considered a range of criteria pollutants.

In this study, we investigate the associations between long-term exposure to a range of outdoor air pollutants and both all-cause and cause-specific mortality using a national cohort of adults registered with family practitioners in England, using linkage to a national mortality register to provide details on date and underlying cause of death.

## METHODS

The Clinical Practice Research Datalink is a large, validated, and nationally representative database containing anonymized patient data from UK primary care (22). It includes a full longitudinal medical

record for each patient consulting their family practitioner including information on diagnoses made within the practice. We selected 205 English practices, recording high-quality data according to Clinical Practice Research Datalink internal standards, which had available linked death registrations from the Office for National Statistics. From these, we identified 836,557 patients aged between 40 and 89 years, fully registered for at least 1 year on January 1, 2003 (23).

The following information was extracted from the electronic patient record and used to construct covariates: age; sex; smoking (non-, ex-, and current smoker, with further categories of 1–19, 20–30, and 40+ cigarettes per day); and body mass index (BMI) (<20, ≥20 and <25, ≥25 and <30, ≥30). The last recorded status before January 1, 2003 was used to code the variables, except for nonsmokers, who were reclassified as ex-smokers if they had older historical codes indicating smoking. A “missing” category was assigned for subjects with no recorded value before 2003. Socioeconomic status (SES) was classified using three separate census measures of deprivation (income, employment, and education), measured on a geographic area of approximately 1,500 people (24). A total of 950 patients had no census information and were dropped from the analyses. Deaths were classified according to the underlying cause on the death certificate (ICD-10): circulatory, I00–I99; coronary heart disease (CHD), I20–I25; myocardial infarction, I21–I23; stroke, I61, I63–I64; heart failure, I50; respiratory, J00–J99; pneumonia, J12–J18; COPD, J40–J44, J47; and lung cancer, C33–C34. We performed sensitivity analyses defining circulatory deaths as any mention on the certificate, and respiratory deaths restricted to where there was no mention of circulatory disease on the certificate.

Annual mean concentrations in 2002 of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>) for 1-km grid squares covering England were linked anonymously from grid centroid to the nearest residential postcode centroid for each patient (23). The pollutant concentrations were estimated using air dispersion models, developed by AEA Technology (Didcot, Oxfordshire, UK) over the past 10 years (25), for reporting to the UK Government and the European Commission for policy formulation (26). The models for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub> were constructed by estimating quantities of emissions by sector (e.g., power generation, domestic combustion, road traffic) with subsequent pollution concentrations calculated by summing estimates for pollutant-specific components, such as point and local area sources. O<sub>3</sub> maps were constructed by interpolating data

from rural monitoring stations and adjusting for effects of altitude and nitrogen oxide emissions. Model validation using national air quality monitors and networks (see Tables E1 and E2 in the online supplement) was good for NO<sub>2</sub> ( $R^2 = 0.57$ – $0.80$ ) and O<sub>3</sub> ( $R^2 = 0.48$ – $0.71$ ); moderate for PM<sub>10</sub> ( $R^2 = 0.29$ – $0.46$ ) and PM<sub>2.5</sub> ( $R^2 = 0.23$ – $0.71$ ); but less successful for SO<sub>2</sub> ( $R^2 = 0$ – $0.39$ ). Further details on the methodology and validation are provided in the online supplement.

We used Cox proportional hazards models (SAS version 9.1.3; SAS Institute, Inc., Cary, NC) to investigate associations between pollution concentrations in 2002 and subsequent mortality in 2003–2007. We adjusted cumulatively for (1) age and sex; (2) smoking and BMI; and (3) in turn, income, employment, and education. Two-pollutant models were considered only when the correlation coefficient between pollutants was below 0.5. We performed stratified analyses to assess effect modification by the covariates. To account for clustering, the modified sandwich estimate of variance was used to produce robust standard errors. As a sensitivity analysis, we investigated the impact of fitting a random effect for practice in a shared frailty model (Stata version 10.1; StataCorp LP, College Station, TX). To allow comparison across pollutants, hazard ratios (HRs) were quantified for an interquartile range change in each pollutant (Table 1).

## RESULTS

Of the 835,607 patients with linked census data, successful post-code linkage to all pollutants was made for approximately 99% of patients (Table 1). There was significant variation in modeled pollution concentrations by practice region ( $P < 0.001$ ). Practices in southern England (excluding Greater London) had the lowest annual concentrations of all pollutants except O<sub>3</sub>. By contrast, practices within Greater London had the highest concentrations for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and NO<sub>2</sub>, the latter over 70% higher than other southern practices (33.3 vs. 19.4 μg/m<sup>3</sup>). Areas with a lower SES (higher census deprivation scores of income, employment, and education) were associated with higher concentrations for all pollutants except O<sub>3</sub>. Within our cohort, annual concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were both strongly correlated with NO<sub>2</sub> ( $r = 0.9$ ); moderately correlated with SO<sub>2</sub> ( $r = 0.5$ ); and negatively correlated with O<sub>3</sub> ( $r = -0.5$ ).

TABLE 1. SUMMARY OF ASSIGNED POLLUTANT CONCENTRATIONS FOR STUDY COHORT (N = 835,607)

	Assigned Annual Average Concentration in 2002 (μg/m <sup>3</sup> )				
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
No. of patients with pollution linkage (%)	830,842 (99%)	830,842 (99%)	823,442 (99%)	830,429 (99%)	824,654 (99%)
Mean pollution (SD)	19.7 (2.3)	12.9 (1.4)	3.9 (2.1)	22.5 (7.4)	51.7 (2.4)
Minimum–maximum range	12.6–29.8	8.5–20.2	0.1–24.2	4.5–60.8	44.5–63.0
Interquartile range	3.0	1.9	2.2	10.7	3.0
Practice region means (SD)					
North (81 practices)	19.8 (2.3)	13.0 (1.5)	4.8 (2.1)	23.4 (6.3)	50.9 (2.4)
South (excluding London) (96 practices)	19.1 (2.0)	12.5 (1.2)	3.3 (1.9)	19.4 (6.1)	52.6 (2.2)
London (28 practices)	22.5 (1.2)	14.6 (0.8)	3.8 (1.2)	33.3 (4.5)	50.2 (0.8)
Test for heterogeneity	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Correlation with census socioeconomic scores*					
Income deprivation	0.25	0.26	0.11	0.24	-0.11
Employment deprivation	0.15	0.17	0.17	0.16	-0.12
Education deprivation	0.14	0.15	0.20	0.05	-0.08
Correlation with other pollutants					
PM <sub>2.5</sub>	0.99	—	—	—	—
SO <sub>2</sub>	0.45	0.46	—	—	—
NO <sub>2</sub>	0.84	0.85	0.37	—	—
O <sub>3</sub>	-0.40	-0.39	-0.41	-0.46	—
Intraclass correlation by practice†	0.87	0.85	0.77	0.90	0.94

Definition of abbreviations: NO<sub>2</sub> = nitrogen dioxide; O<sub>3</sub> = ozone; PM<sub>2.5</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 2.5 μm; PM<sub>10</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 10 μm; SO<sub>2</sub> = sulfur dioxide.

\* Income deprivation measures the proportion of the population experiencing income deprivation in an area. Employment deprivation measures deprivation conceptualized as involuntary exclusion of the working-age population from the labor market. Education deprivation measures the extent of deprivation in terms of education, skills, and training in a local area.

† Proportion of total variation explained by between-practice differences.

A total of 83,103 deaths (9.9% of all patients) were recorded between January 1, 2003 and December 31, 2007 with an underlying cause of death recorded in 80,505 (97%). There were 28,976 (35%) deaths from circulatory; 10,583 (13%) from respiratory; and 5,273 (6%) from lung cancer causes. A total of 37,443 (45%) had some mention of cardiovascular disease on the death certificate. Of all respiratory deaths, 7,740 (73%) had no mention of cardiovascular disease on the death certificate. Higher, age- and sex-adjusted, mortality rates were associated with greater deprivation, living in the North, abnormal BMI, and recorded smoking intensity at baseline (Table 2).

The relationships between residential air pollution concentrations in 2002 and all-cause mortality during 2003–2007 are shown in Table 3. Associations were positive for all pollutants, except for O<sub>3</sub>, which were negative. After adjustment for smoking and BMI these ranged from 6–7% for interquartile range increases in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub>, mostly reducing to 2–4% after adjustment for one of the area deprivation markers, with income having the biggest influence. For example, in a model adjusted for area income level, a 1.9 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>2.5</sub> was associated with an HR of 1.02 (95% confidence interval [CI], 1.00–1.05). In two-pollutant models all associations were attenuated, with associations with SO<sub>2</sub> proving the most robust (see Table E3).

Analyses for specific causes of death (Table 4) revealed that the strongest associations were for respiratory deaths where all pollutants, except O<sub>3</sub>, were positively associated with increases in mortality. For example, in a model adjusted for area income, a 1.9 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>2.5</sub> was associated with an HR of 1.09 (95% CI, 1.05–1.13), whereas a 3.0 µg/m<sup>3</sup> increase in O<sub>3</sub> was associated with an HR of 0.94 (95% CI, 0.90–0.97). Comparable HRs were also observed for deaths from COPD and pneumonia (see Table E4). By contrast, there was less evidence of associations with cardiovascular causes of death (Table 4), where only SO<sub>2</sub> showed a relationship (HR, 1.04; 95% CI, 1.03–1.06). The pattern was similar with deaths from CHD, myocardial infarction, or stroke, although associations were observed between PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> and deaths from heart failure as underlying cause (see Table E4). For lung cancer (Table 4), the strongest associations were seen with NO<sub>2</sub> (HR, 1.06; 95% CI, 1.00–1.12). Extending the definition of cardiovascular deaths to any mention on the death certificate, combining them with respiratory deaths, or restricting the definition of respiratory deaths to those without mention of cardiovascular disease, did not materially alter the above findings (see Table E5).

Further analyses of the association with respiratory deaths by selected covariates showed that for PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, and NO<sub>2</sub> there was still evidence of a relationship with respiratory mortality in younger ages (40–64 yr), nonsmokers, and those without any COPD or asthma at baseline (see Table E6). For example, for PM<sub>2.5</sub> a 1.9 µg/m<sup>3</sup> increase produced an HR of 1.14 (95% CI, 1.08–1.20) for patients classed as nonsmokers at baseline. The association was strongest in more income-deprived areas for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and NO<sub>2</sub>, but highest for SO<sub>2</sub> in least-deprived areas.

Adjustment for within-practice clustering using frailty models attenuated the associations for all pollutants, especially for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> when also adjusted for area income (see Table E7). However, the associations between the pollutants and respiratory mortality remained robust (e.g., for PM<sub>2.5</sub> a 1.9 µg/m<sup>3</sup> increase produced an HR of 1.07; 95% CI, 1.03–1.11).

## DISCUSSION

This study of a national cohort has observed associations between annual concentrations of ambient air pollution and risk

**TABLE 2. AGE-SEX ADJUSTED PERCENTAGES OF PATIENTS WHO DIE DURING FOLLOW-UP BY BASELINE FACTORS (N = 835,607)**

Baseline Variables	Level	No. Patients	No. Deaths	Adj %*
Sex	Male	404,716	41,207	10.2%
	Female	430,891	41,896	9.7%
Age	40–49	242,267	3,195	1.3%
	50–59	227,972	7,245	3.2%
	60–69	165,838	13,048	7.9%
	70–79	128,179	26,585	20.7%
	80–89	71,351	33,030	46.3%
Smoking	Non	386,591	31,404	8.0%
	Ex (unknown)	75,785	11,186	10.0%
	Ex (1–19 cigs/d)	54,344	6,572	10.7%
	Ex (20–39 cigs/d)	26,382	3,184	12.3%
	Ex (40+ cigs/d)	5,223	734	12.3%
	Current (unknown)	17,506	2,445	11.0%
	Current (1–19 cigs/d)	88,211	9,393	14.1%
	Current (20–39 cigs/d)	50,763	4,989	16.7%
	Current (40+ cigs/d)	4,552	602	19.7%
	Not recorded	126,250	12,594	10.0%
Body mass index	<20	33,078	4,189	14.5%
	≥20 and <25	269,925	23,218	9.2%
	≥25 and <30	243,289	23,950	9.1%
	≥30	108,966	11,636	11.4%
	Not recorded	180,349	20,110	10.9%
Practice region	North	319,455	33,633	10.7%
	South (excl. London)	424,165	41,477	9.5%
	London	91,987	7,993	9.5%
Income deprivation quintile†	1 (most deprived)	104,137	13,724	12.8%
	2	147,788	17,752	11.3%
	3	180,382	18,495	9.9%
	4	197,066	18,020	9.2%
	5 (least deprived)	206,234	15,112	8.2%
Employment deprivation quintile†	1 (most deprived)	114,006	15,711	12.8%
	2	149,663	17,264	10.9%
	3	170,764	17,156	9.8%
	4	190,694	17,295	9.2%
	5 (least deprived)	210,480	15,677	8.3%
Education deprivation quintile†	1 (most deprived)	120,795	15,959	12.8%
	2	158,955	17,761	10.9%
	3	168,465	16,504	9.7%
	4	178,578	16,279	9.3%
	5 (least deprived)	208,814	16,600	8.3%

\* Percentages adjusted to age–sex structure of overall population.

† Census-based national rankings.

of subsequent death. These relationships were robust to adjustment for smoking and BMI, but attenuated when adjusting for small area SES markers. For cause-specific mortality, associations were larger for respiratory mortality and closer to unity for cardiovascular mortality. Associations with respiratory mortality were also found in nonsmokers and those without COPD or asthma at baseline.

Cohort studies of long-term exposure to air pollution and mortality are predominately based in the United States and have tended to focus on fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) (4, 6, 27–34). A 2010 review by the American Heart Association (2) reported HRs for PM<sub>2.5</sub> and all-cause mortality ranging from 0.99–1.21 per 10 µg/m<sup>3</sup>, whereas a systematic review in 2008 calculated a pooled relative risk of 1.06 (1). Our estimate when scaled to a 10 µg/m<sup>3</sup> increment, and adjusted for area income, produced an HR of 1.13 (95% CI, 1.00–1.27).

Previous cohort studies have tended to emphasize associations with cardiovascular disease, in part because respiratory deaths are far fewer (4, 12) and in part because cardiovascular



**TABLE 3. HAZARD RATIOS FOR ALL-CAUSE MORTALITY IN 2003–2007 FOR AN INTERQUARTILE RANGE CHANGE IN 2002 POLLUTANT CONCENTRATIONS**

Baseline Variables Adjusted For	PM <sub>10</sub> (n = 830,842)		PM <sub>2.5</sub> (n = 830,842)		SO <sub>2</sub> (n = 823,442)		NO <sub>2</sub> (n = 830,429)		O <sub>3</sub> (n = 824,654)	
	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI
+ age, sex	1.08	1.05–1.11	1.09	1.06–1.12	1.07	1.05–1.09	1.09	1.06–1.12	0.93	0.90–0.96
+ age, sex, smoking, BMI	1.06	1.04–1.09	1.07	1.05–1.10	1.06	1.04–1.08	1.07	1.04–1.11	0.94	0.91–0.96
+ age, sex, smoking, BMI, income*	1.02	1.00–1.04	1.02	1.00–1.05	1.04	1.03–1.05	1.03	1.00–1.05	0.93	0.90–0.96
+ age, sex, smoking, BMI, employment*	1.04	1.01–1.06	1.04	1.02–1.07	1.03	1.02–1.05	1.04	1.01–1.07	0.94	0.91–0.97
+ age, sex, smoking, BMI, education*	1.04	1.02–1.06	1.04	1.02–1.06	1.03	1.01–1.05	1.06	1.03–1.08	0.96	0.93–0.98
10 unit change (income model)	1.07	0.99–1.16	1.13	1.00–1.27	1.20	1.12–1.28	1.02	1.00–1.05	0.86	0.78–0.94

Definition of abbreviations: BMI = body mass index; CI = confidence interval; HR = hazard ratio; NO<sub>2</sub> = nitrogen dioxide; O<sub>3</sub> = ozone; PM<sub>2.5</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 2.5 μm; PM<sub>10</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 10 μm; SO<sub>2</sub> = sulfur dioxide.

Number of deaths for each pollutant analysis was as follows: PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> = 82,475; SO<sub>2</sub> = 81,636; NO<sub>2</sub> = 82,421; O<sub>3</sub> = 81,627. Interquartile ranges for each pollutant were as follows: PM<sub>10</sub> = 3.0 μg/m<sup>3</sup>; PM<sub>2.5</sub> = 1.9 μg/m<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub> = 2.2 μg/m<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub> = 10.7 μg/m<sup>3</sup>; O<sub>3</sub> = 3.0 μg/m<sup>3</sup>.

\*Census deprivation score.

risks were found to be greater than respiratory (7, 35). US cohort studies of cardiovascular deaths and PM<sub>2.5</sub> have reported HRs (per 10 μg/m<sup>3</sup>) in the range 1.12 (35) to 1.76 (30). Our finding of 1.01 for PM<sub>2.5</sub> (when adjusted for income) is considerably lower and is more in line with the two European studies (13, 15) listed in the American Heart Association review (2), which reported associations closer to 1.00. The only cardiovascular subgroup in our study to show evidence of an association with PM<sub>2.5</sub> was heart failure deaths. This corresponds to our analysis of disease incidence based on the same cohort (23). We have no firm explanation for the weaker associations between PM<sub>2.5</sub> and CHD in our study as compared with the ACS (8). Both studies used standard ICD coding of death certificates as the outcome but there remains the possibility of differences in the certification practice of clinicians. Other relevant differences to consider include time period; population characteristics (including the likely greater use of statins among our patients with CHD); pollution sources; and the spatial scale of the pollution model.

In contrast to the results for cardiovascular mortality, we observed larger and more robust associations with respiratory mortality. Cohort studies that investigated respiratory mortality,

summarized in Table 5, have generally reported HR or risk ratios in excess of one, although many have lacked statistical power. The California Teachers Study focused results on cardiovascular rather than respiratory mortality, despite comparable HRs (36). The largest US study (the ACS) initially reported an HR of 0.92 (35); however, a more recent analysis based on almost twice as many respiratory deaths reported an HR of 1.03 (37). Elsewhere, population studies in Norway (13), Japan (18), New Zealand (17), and China (38) have all reported statistically significant, positive associations with respiratory mortality. In the United Kingdom, a national ecologic study (39) reported larger effects of black smoke (a reflectance measure of black carbon particles <4 μm in diameter) on respiratory mortality (HR, 1.19) in the most recent exposure periods (1990–1994), whereas a Scottish study (40) also found larger relationships with respiratory mortality (HR, 1.26). Our scaled findings for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> (HR, 1.30 and 1.54, respectively, per 10 μg/m<sup>3</sup>) adjusted for area income deprivation exceed all but one (38) of the reported estimates in Table 5; however, we note the smaller mean and standard deviation of our modeled concentrations compared with other studies.

**TABLE 4. HAZARD RATIOS FOR SPECIFIC CAUSES OF MORTALITY IN 2003–2007 FOR AN INTERQUARTILE RANGE CHANGE IN 2002 POLLUTANT CONCENTRATIONS**

Cause of Death and Baseline Variables Adjusted For	PM <sub>10</sub> (n = 830,842)		PM <sub>2.5</sub> (n = 830,842)		SO <sub>2</sub> (n = 823,442)		NO <sub>2</sub> (n = 830,429)		O <sub>3</sub> (n = 824,654)	
	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI	HR	95% CI
<b>Circulatory*</b>										
+ age, sex	1.06	1.03–1.09	1.07	1.03–1.10	1.07	1.05–1.09	1.07	1.03–1.10	0.94	0.91–0.97
+ age, sex, smoking, BMI	1.05	1.02–1.08	1.05	1.02–1.09	1.06	1.04–1.08	1.05	1.02–1.09	0.95	0.92–0.97
+ age, sex, smoking, BMI, income <sup>†</sup>	1.00	0.97–1.03	1.00	0.97–1.03	1.04	1.03–1.06	1.00	0.97–1.03	0.96	0.94–0.99
+ age, sex, smoking, BMI, education <sup>†</sup>	1.02	0.99–1.04	1.02	1.00–1.05	1.03	1.01–1.05	1.03	1.00–1.07	0.96	0.94–0.98
<b>Respiratory*</b>										
+ age, sex	1.19	1.14–1.24	1.20	1.15–1.25	1.13	1.09–1.17	1.22	1.16–1.27	0.89	0.85–0.94
+ age, sex, smoking, BMI	1.16	1.12–1.21	1.17	1.12–1.22	1.12	1.09–1.15	1.17	1.12–1.23	0.91	0.87–0.95
+ age, sex, smoking, BMI, income <sup>†</sup>	1.08	1.04–1.12	1.09	1.05–1.13	1.09	1.06–1.12	1.09	1.04–1.14	0.94	0.90–0.97
+ age, sex, smoking, BMI, education <sup>†</sup>	1.11	1.08–1.15	1.12	1.08–1.16	1.07	1.04–1.10	1.15	1.10–1.20	0.93	0.90–0.96
<b>Lung cancer*</b>										
+ age, sex	1.12	1.05–1.20	1.14	1.07–1.22	1.10	1.05–1.15	1.20	1.12–1.27	0.89	0.84–0.95
+ age, sex, smoking, BMI	1.07	1.02–1.13	1.08	1.03–1.14	1.07	1.03–1.11	1.13	1.07–1.19	0.92	0.88–0.97
+ age, sex, smoking, BMI, income <sup>†</sup>	1.01	0.96–1.06	1.02	0.97–1.07	1.05	1.01–1.08	1.06	1.00–1.12	0.94	0.90–0.99
+ age, sex, smoking, BMI, education <sup>†</sup>	1.03	0.98–1.08	1.04	0.99–1.09	1.03	0.99–1.06	1.11	1.05–1.17	0.94	0.90–0.98

Definition of abbreviations: BMI = body mass index; CI = confidence interval; HR = hazard ratio; NO<sub>2</sub> = nitrogen dioxide; O<sub>3</sub> = ozone; PM<sub>2.5</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 2.5 μm; PM<sub>10</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 10 μm; SO<sub>2</sub> = sulfur dioxide.

Interquartile ranges for each pollutant were as follows: PM<sub>10</sub> = 3.0 μg/m<sup>3</sup>; PM<sub>2.5</sub> = 1.9 μg/m<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub> = 2.2 μg/m<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub> = 10.7 μg/m<sup>3</sup>; O<sub>3</sub> = 3.0 μg/m<sup>3</sup>.

\* Number of deaths for each pollutant analysis was as follows. Circulatory: PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> = 28,743; SO<sub>2</sub> = 28,441; NO<sub>2</sub> = 28,726; O<sub>3</sub> = 28,427. Respiratory: PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> = 10,508; SO<sub>2</sub> = 10,408; NO<sub>2</sub> = 10,500; O<sub>3</sub> = 10,437. Lung cancer: PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> = 5,244; SO<sub>2</sub> = 5,192; NO<sub>2</sub> = 5,241; O<sub>3</sub> = 5,210.

<sup>†</sup> Census deprivation score. Results adjusting for employment were similar to those adjusting for education (data not shown).

**TABLE 5. RESULTS FROM PUBLISHED COHORT STUDIES OF LONG-TERM EXPOSURE TO PARTICULATE MATTER AND RESPIRATORY MORTALITY**

Study	Setting	N	Age (yr)	Definition of Respiratory Disease	No. of Respiratory Deaths	Exposure Years	Mean Exposure ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (SD)	Key Adjustments	HR per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95% CI per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM<sub>10</sub></b>										
Abbey <i>et al.</i> , 1999 (27)	California, United States	6,338 (nonsmokers)	27–95	ICD-9: 460–519	272	1973–1992	51.3 (16.6)	Past smoking, education, BMI, exercise	1.06	0.99–1.15
Naess <i>et al.</i> , 2007 (13)	Oslo, Norway	143,842	51–90	ICD-10: J40–J47	1,455	1992–1995	Range, 6.6–30.1	Occupation, education	1.06–1.28	n/a
Hales <i>et al.</i> , 2010 (17)	New Zealand	1,051,464	30–74	ICD-9: 162, 470–478, 490–519	3,213	1995–2001	8.3 (8.4)	Smoking, BMI, census SES	1.14	1.05–1.23
Lipsett <i>et al.</i> , 2011 (36)	California, United States	61,181 (female teachers)	20–80+	ICD-9: 460–519 & ICD-10: J00–J98	453	1996–2005	29.2 (9.7)	Smoking, BMI, exercise, census SES	1.08	0.98–1.19
Hart <i>et al.</i> , 2011 (34)	United States	53,814 (male truckers)	15–85	ICD-10: J10–18, J40–J98	317	1985–2000	26.8 (6.0)	Census region	1.04	0.85–1.27
Dong <i>et al.</i> , 2012 (38)	Shenyang, China	9,941	35–103	ICD-10: J00–J99	72	1998–2009	154 (41)	Smoking, education, income, BMI, exercise	1.67	1.60–1.74
Present study	United Kingdom	831,788	40–89	ICD-10: J00–J99	10,518	2002	19.8 (2.3)	Smoking, BMI, income	1.30	1.15–1.47
<b>PM<sub>2.5</sub></b>										
Naess <i>et al.</i> , 2007 (13)	Oslo, Norway	143,842	51–90	ICD-10: J40–J47 (COPD)	1,455	1992–1995	Range, 6.6–22.3	Occupation, education	1.07–1.41	n/a
Beelen <i>et al.</i> , 2008 (15)	Netherlands	117,528	58–67	ICD-10: J00–J99	904	1987–1996	28.3 (3.1)	Smoking, education, BMI, diet	1.07	0.75–1.52
Jerrett <i>et al.</i> , 2009 (37)	United States	448,850	30+	ICD-9: 460–519	9,891	1999–2000	13.8 (n/a)	Smoking, education, BMI, exercise	1.03	0.96–1.11
Katanoda <i>et al.</i> , 2011 (18)	Japan	63,520 (no baseline respiratory disease)	40–70+	ICD-9: 460–519	677	1974–1983	Area range, 16.8–41.9	Smoking, occupation	1.16	1.04–1.30
Lipsett <i>et al.</i> , 2011 (36)	California, United States	73,489 (female teachers)	20–80+	ICD-9: 460–519 and ICD-10: J00–J98	404	1996–2005	15.6 (4.5)	Smoking, BMI, exercise, census SES	1.21	0.97–1.52
Hart <i>et al.</i> , 2011 (34)	United States	53,814 (male truckers)	15–85	ICD-10: J10–18, J40–J98	317	1985–2000	26.8 (6.0)	Census region	1.18	0.91–1.54
Lepeule <i>et al.</i> , 2012 (9)	Six cities, United States	8,096	25–74	ICD-10: J40–J47 (COPD)	247	1974–2009	15.9 (n/a)	Smoking, education, BMI	1.17	0.85–1.62
Cesaroni <i>et al.</i> , 2013 (16)	Rome, Italy	1,265,058	30+	ICD-9: 460–519	8,825	2005	23.0 (4.4)	Education, occupation, census SES	1.03	0.97–1.08
Present study	United Kingdom	831,788	40–89	ICD-10: J00–J99	10,518	2002	12.9 (1.4)	Smoking, BMI, income	1.54	1.27–1.86
<b>Black smoke</b>										
Elliot <i>et al.</i> , 2007 (39)	United Kingdom	662,343	30+	ICD-9: 460–519	8,471	1990–1994	13.3 (5.3)	Area SES	1.19 <sup>†</sup>	1.05–1.36
Beelen <i>et al.</i> , 2008 (15)	Netherlands	117,528	58–67	ICD-10: J00–J99	904	1987–1996	13.9 (2.2)	Smoking, education, BMI, diet	1.22	0.99–1.50
Yap <i>et al.</i> , 2012 (40)	Scotland*	15,188/6,299	45–64/35–64	ICD-9: 480–487, 490–496, 786.0, 786.2	606/174	1970–1979	19.3 (3.9)/23.2 (7.5)	Smoking, BMI, social class, blood pressure	1.26/0.97	1.02–1.55/0.79–1.18
<b>Total suspended particles</b>										
Cao <i>et al.</i> , 2011 (19)	China	70,947	40+	ICD-9: "Respiratory"	921	1991–2000	289	Smoking, education, BMI, exercise	1.00	0.99–1.03

*Definition of abbreviations:* BMI = body mass index; CI = confidence interval; COPD = chronic obstructive pulmonary disease; HR = hazard ratio; ICD = International Classification of Diseases; PM<sub>2.5</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 2.5  $\mu\text{m}$ ; PM<sub>10</sub> = particulate matter with a median aerodynamic diameter less than 10  $\mu\text{m}$ ; SES = socioeconomic status.

Where a study has produced multiple estimates over time (e.g. American Cancer Society), we have only included the most recent estimate.

\* Study included two separate cohorts, so both sets of results are included.

<sup>†</sup> This was not a cohort study, and so relative risk is given.

Our associations with respiratory mortality were similar if we further subcategorized into COPD and pneumonia, each representing about 40% of all respiratory deaths. A Norwegian study (13) found positive associations for PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> across different age and sex groups for COPD death (Table 5), whereas the ACS (35) and a Japanese study (18) reported positive associations with pneumonia but not COPD. Our associations with respiratory mortality were found in patients classed as nonsmokers, and those without COPD or asthma at the study outset. Other studies have reported little variation of their association with respiratory mortality across their smoking groups (27, 36, 38), or have lacked power to test this (35). A Japanese study (18) demonstrated an effect of PM<sub>2.5</sub> on respiratory mortality in female never-smokers (HR, 1.29). Only a Dutch study (15) reported stronger relationships for respiratory mortality and pollution exposure (in this case black smoke) in current smokers.

The evidence from cohort studies for an association between SO<sub>2</sub> and mortality is mixed (1). In the ACS reanalysis (8), SO<sub>2</sub> was associated with all-cause, cardiopulmonary, and ischemic heart disease mortality, and coefficients for fine particles and mortality were markedly reduced when SO<sub>2</sub> was included as a covariate (5). Our robust findings resonate with a UK study that found long-term associations between SO<sub>2</sub> and mortality (39), and found larger effects with respiratory deaths. Recent cohort studies from Japan (18) and China (19) have also reported associations with respiratory mortality, contrasting with earlier studies that found little evidence (15, 27). The causal nature of associations between SO<sub>2</sub> and mortality have been questioned in part because of the correlation between sulfur dioxide and particles and the lack of persuasive hypotheses linking exposure to low concentrations of sulfur dioxide and death (41).

NO<sub>2</sub> has been associated with increased all-cause mortality in some (11, 12, 15, 34, 38) but not all cohort studies (8, 36). Some studies have reported greater effects for respiratory deaths alone (15, 18, 34, 38). A large Dutch cohort found moderate associations with all-cause mortality (HR, 1.03 scaled to a 10 µg/m<sup>3</sup> change), and larger associations with respiratory mortality (HR, 1.12) (15), which compares closely with 3% and 9% increases in our adjusted HRs for a similar incremental change. Similarly to the Dutch study (15), we also found no associations with cardiovascular mortality, unlike US studies, which reported positive associations for CHD (8, 34, 36), or a small German study that found elevated effects for cardiopulmonary, of which over 90% were cardiovascular deaths (12).

Evidence for long-term health effects of exposure to ozone has come exclusively from US cohorts (8, 27, 29, 36, 37, 42); however, the picture has not been consistent. A study of nonsmokers found raised HR between mean monthly O<sub>3</sub> concentrations and respiratory mortality but lacked precision (27). Extensive analyses of the ACS suggested small, long-term associations with mortality for summer, but not annual, ozone concentrations (8). A further analysis involving two-pollutant models including particles (PM<sub>2.5</sub>) suggested associations with summer ozone persisted only for respiratory mortality (37), whereas another found relationships with cardiopulmonary mortality alone (42). Our data found negative associations with mortality irrespective of cause, which may be partly explained by negative correlations between ozone and the other pollutants; however, they were not completely explained away in two pollutant models. Because there was little variation within our practice clusters, the modeled O<sub>3</sub> concentrations may be largely representing regional levels, where ozone was higher in southern England, where mortality is lower. Because ozone is a highly seasonal pollutant and its production depends on the presence of precursors and sunlight, a metric based on summer ozone concentrations might have been more discriminatory and informative (8).

In our study, air pollution concentrations were derived from emission-based dispersion models, which potentially improve on other methods, such as geostatistical interpolation and land use regression (43) but depend on the quality of data used. A comparison of modeling methods using a large Dutch cohort concluded that dispersion models performed favorably compared with land use regression (44). We have previously applied these models in cross-sectional analyses of national English health survey data (45) and they have been used extensively by the UK Government for reporting to the European Commission (25) and for policy purposes including burden estimation (26).

We have previously discussed the performance and validation of these models (23), and provide further details in the online supplement. Briefly, external validation of the model with monitoring sites in 2002 suggested better modeling of NO<sub>2</sub> compared with PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>. Because of a limited number of monitoring sites, model validation statistics for PM<sub>2.5</sub> were not available until 2009; however, the modeling for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> uses the same general methodology and model performance was similar between the two. The better relative performance of NO<sub>2</sub> is perhaps not surprising, because of the complexity of the PM mixture for which the sources are not well characterized. Although this suggests greater confidence in results for NO<sub>2</sub>, we have emphasized our results with PM<sub>2.5</sub> because it is the most important regulated pollutant, is regarded as more likely to be causal, and is commonly used for health impact assessments. The R<sup>2</sup> reported for NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> were comparable with those found in a study using land use regression models to estimate concentrations in the United Kingdom in 2001 (46).

Misclassification is also likely to have resulted from assigning pollution estimates at a 1 km<sup>2</sup> resolution. Although misclassification of exposure will likely bias effect estimates toward the

null (47), and may explain the lack of associations found with cardiovascular mortality, it seems unlikely to explain why stronger associations were found with respiratory mortality. The exposure estimates used for existing cohort studies vary from those that are at a larger community level spatial scale (4, 6, 48) to those where the estimate is at the residential address (13, 16). Our study therefore lies somewhere between the two, and it is possible that this may explain some of the differences between our results and those of other cohorts.

One of the strengths of our study was that it incorporated data from the clinical record, and linked in deaths from a national data collection system. Although we adjusted for individual confounders, such as smoking, misclassification may have arisen, either because of missing values or because of patients being incorrectly classed as nonsmokers on their medical record. Even if recorded correctly, our variable fails to quantify the lifetime burden of current or ex-smokers. Although this limits the precision of our smoking adjustment, it seems unlikely to completely explain away associations seen in nonsmokers.

Although we were unable to adjust for individual socioeconomic markers, neighborhood indicators of socioeconomic deprivation have been shown to be acceptable proxies (49). In our models, this adjustment attenuated all air pollution associations especially with cardiovascular mortality. Because the SES indices may be measured on a smaller geographic scale than our modeled pollution in urban areas, they could be representing concentration gradients not captured by the pollution models. However, given the modest correlations that exist nationally between SES and pollution concentrations, it seems unlikely that the SES indices are over adjusting and erroneously explaining all of the associations observed. Indeed, even if this was not the case for associations with cardiovascular mortality, it cannot explain the stronger associations we found with respiratory mortality before and after SES adjustment. Although we found patients in more socially deprived areas have higher pollution concentrations (except ozone), this contrasted with the ACS (8) where similar census variables were not strongly related, and subsequently had little impact on their effect estimates. In a national Canadian cohort (48), higher concentrations were found in more affluent areas, and HRs associated with exposure to PM<sub>2.5</sub> increased after socioeconomic adjustment.

The potential limitations of using cause of death coding from death certificates to classify respiratory deaths has been identified by others (35). For example, a patient with their cause of death listed as pneumonia might have warranted a more appropriate underlying cause of death from long-term chronic conditions, such as CHD, stroke, or COPD (50). A recent report estimated that among all deaths in England and Wales, respiratory deaths are overrecorded by 7%, whereas circulatory deaths are underrecorded by 6% (51). However, for such misclassification to explain a spurious relationship with respiratory deaths and the absence of one with cardiovascular deaths, it requires that virtually all the excess deaths caused by air pollution were those being misclassified, and at a greater rate than the report suggested. Such a scenario seems unlikely. However, to account for potential misclassification we performed sensitivity analyses, which included any mention of circulatory death on the certificate, and restricted respiratory deaths to those with no mention of cardiovascular disease. These showed similar patterns to the underlying cause analyses, suggesting misclassification was unlikely to explain stronger associations with respiratory death. We also noted that associations with respiratory deaths remained when analyses were restricted to younger patients, who will have less comorbidity, and thus the issue of miscoding on their death certificate may be less relevant.

Because of the anonymous nature of the data, we were unable to investigate spatial autocorrelation beyond adjusting for clustering by practice. Patients from the same practice are likely to be

more similar to each other than patients from different practices, and this has implications for the precision of our estimates. We chose to conservatively account for this by using the modified sandwich estimate of variance to produce standard errors, which are robust to within practice correlation. As a sensitivity analysis we considered shared frailty models, which fit a random effect to explicitly model this correlation, and found an attenuation of all estimates. A similar attenuation was seen with other modeling approaches that estimated the within cluster effect by accounting for the mean practice concentration level or stratifying the model by practice (data not shown). The implication may be that differences in overall practice area concentrations are driving many of the associations, which is not surprising because this is where most of the variation in the pollution model arises. Although we advise caution when extrapolating our estimates to population impact calculations, we note that our associations with respiratory mortality remained whatever the approach.

This population-based, nationally representative English cohort extends the body of evidence linking air pollution to all-cause mortality but contrary to a number of studies from the United States and elsewhere found that the effects on respiratory mortality were greater than on cardiovascular mortality. When the evidence from existing published cohorts is considered as a whole it seems that there is important heterogeneity in the results for cause-specific mortality. The reasons may lie in differences in various aspects of the methods of investigation, population susceptibility, or toxicity of the air pollution mixture but remain to be elucidated.

**Author disclosures** are available with the text of this article at [www.atsjournals.org](http://www.atsjournals.org).

**Acknowledgment:** The views expressed in this paper are those of the authors and do not reflect the official policy or position of the Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (MHRA). Clinical Practice Research Datalink is owned by the Secretary of State of the UK Department of Health and operates within the MHRA. Clinical Practice Research Datalink has received funding from the MHRA, Wellcome Trust, Medical Research Council, NIHR Health Technology Assessment programme, Innovative Medicine Initiative, UK Department of Health, Technology Strategy Board, Seventh Framework Programme EU, various universities, contract research organizations, and pharmaceutical companies.

## References

- Chen H, Goldberg MS, Villeneuve PJ. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. *Rev Environ Health* 2008;23:243-297.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA III, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, et al.; American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331-2378.
- Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW Jr. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:669-674.
- Dockery DW, Pope CA III, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 1993;329:1753-1759.
- Health Effects Institute. Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality. 2000.
- Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287:1132-1141.
- Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:667-672.
- Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, Turner MC, Pope CA III, Thurston G, Calle EE, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Res Rep Health Eff Inst* 2009;140:5-114, discussion 115-136.
- Lepeule J, Laden F, Dockery D, Schwartz J. Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ Health Perspect* 2012;120:965-970.
- Nafstad P, Håheim LL, Oftedal B, Gram F, Holme I, Hjerremann I, Leren P. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow up of 16 209 Norwegian men. *Thorax* 2003;58:1071-1076.
- Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Le Moual N, Cantagrel A, Annesi-Maesano I, Charpin D, Declercq C, Neukirch F, Paris C, et al. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occup Environ Med* 2005;62:453-460.
- Gehring U, Heinrich J, Krämer U, Grote V, Hochadel M, Sugiri D, Kraft M, Rauchfuss K, Eberwein HG, Wichmann HE. Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. *Epidemiology* 2006;17:545-551.
- Naess O, Nafstad P, Aamodt G, Clausen B, Rosland P. Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol* 2007;165:435-443.
- Rosenlund M, Picciotto S, Forastiere F, Stafoggia M, Perucci CA. Traffic-related air pollution in relation to incidence and prognosis of coronary heart disease. *Epidemiology* 2008;19:121-128.
- Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, Jerrett M, Hughes E, Armstrong B, Brunekreef B. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 2008;116:196-202.
- Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, Stafoggia M, Sozzi R, Davoli M, Forastiere F. Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. *Environ Health Perspect* 2013;121:324-331.
- Hales S, Blakely T, Woodward A. Air pollution and mortality in New Zealand: cohort study. *J Epidemiol Community Health* 2012;66:468-473.
- Katanoda K, Sobue T, Satoh H, Tajima K, Suzuki T, Nakatsuka H, Takezaki T, Nakayama T, Nitta H, Tanabe K, et al. An association between long-term exposure to ambient air pollution and mortality from lung cancer and respiratory diseases in Japan. *J Epidemiol* 2011;21:132-143.
- Cao J, Yang C, Li J, Chen R, Chen B, Gu D, Kan H. Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study. *J Hazard Mater* 2011;186:1594-1600.
- Zhang P, Dong G, Sun B, Zhang L, Chen X, Ma N, Yu F, Guo H, Huang H, Lee YL, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and mortality due to cardiovascular disease and cerebrovascular disease in Shenyang, China. *PLoS ONE* 2011;6:e20827.
- Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H, Amann M, Anderson HR, Andrews KG, Aryee M, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2012;380:2224-2260.
- Medicines and Healthcare Regulatory Agency. The Clinical Practice Research Datalink. 2012 [accessed 14 April 2013]. Available from: <http://www.cprd.com>.
- Atkinson RW, Carey IM, Kent AJ, van Staa TP, Anderson HR, Cook DG. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. *Epidemiology* 2013;24:44-53.
- Noble M, McLennan D, Wilkinson K, Whitworth A, Barnes H, Dibben C. The English indices of deprivation 2007. London: Department for Communities and Local Government; 2008.
- Stedman JR, Bush TJ, Vincent KJ, Baggott S. UK air quality modelling for annual reporting 2002 on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC, 1999/30/EC and 2000/69/EC. Report AEAT/ENV/R/1564. 2003. Didcot, Oxfordshire. AEA Energy & Environment [accessed 14 April 2013]. Available from: [http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat05/0402061100\\_dd12002mmapsrep1-2.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat05/0402061100_dd12002mmapsrep1-2.pdf)

26. Department of Health. The mortality effects of long-term exposure to particulate air pollution in the UK. 2010. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants [accessed 2013 Apr 14]. Available from: [http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1317137012567](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317137012567)
27. Abbey DE, Nishino N, McDonnell WF, Burchette RJ, Knutsen SF, Lawrence Beeson W, Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:373–382.
28. Enstrom JE. Fine particulate air pollution and total mortality among elderly Californians, 1973–2002. *Inhal Toxicol* 2005;17:803–816.
29. Lipfert FW, Baty JD, Miller JP, Wyzga RE. PM<sub>2.5</sub> constituents and related air quality variables as predictors of survival in a cohort of U.S. military veterans. *Inhal Toxicol* 2006;18:645–657.
30. Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, Shepherd K, Sullivan JH, Anderson GL, Kaufman JD. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med* 2007;356:447–458.
31. Puett RC, Schwartz J, Hart JE, Yanosky JD, Speizer FE, Suh H, Paciorek CJ, Neas LM, Laden F. Chronic particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the nurses' health study. *Am J Epidemiol* 2008;168:1161–1168.
32. Eftim SE, Samet JM, Janes H, McDermott A, Dominici F. Fine particulate matter and mortality: a comparison of the six cities and American Cancer Society cohorts with a Medicare cohort. *Epidemiology* 2008;19:209–216.
33. Zeger SL, Dominici F, McDermott A, Samet JM. Mortality in the Medicare population and chronic exposure to fine particulate air pollution in urban centers (2000–2005). *Environ Health Perspect* 2008;116:1614–1619.
34. Hart JE, Garshick E, Dockery DW, Smith TJ, Ryan L, Laden F. Long-term ambient multipollutant exposures and mortality. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;183:73–78.
35. Pope CA III, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Godleski JJ. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 2004;109:71–77.
36. Lipsett MJ, Ostro BD, Reynolds P, Goldberg D, Hertz A, Jerrett M, Smith DF, Garcia C, Chang ET, Bernstein L. Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184:828–835.
37. Jerrett M, Burnett RT, Pope CA III, Ito K, Thurston G, Krewski D, Shi Y, Calle E, Thun M. Long-term ozone exposure and mortality. *N Engl J Med* 2009;360:1085–1095.
38. Dong GH, Zhang P, Sun B, Zhang L, Chen X, Ma N, Yu F, Guo H, Huang H, Lee YL, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and respiratory disease mortality in Shenyang, China: a 12-year population-based retrospective cohort study. *Respiration* 2012;84:360–368.
39. Elliott P, Shaddick G, Wakefield JC, de Hoogh C, Briggs DJ. Long-term associations of outdoor air pollution with mortality in Great Britain. *Thorax* 2007;62:1088–1094.
40. Yap C, Beverland IJ, Heal MR, Cohen GR, Robertson C, Henderson DE, Ferguson NS, Hart CL, Morris G, Agius RM. Association between long-term exposure to air pollution and specific causes of mortality in Scotland. *Occup Environ Med* 2012;69:916–924.
41. Department of Health. Long-term exposure to air pollution: effect on mortality. 2009. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants [accessed 2013 Apr 14]. Available from: [http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1317137020526](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317137020526)
42. Smith KR, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R, Atkinson RW, Cohen A, Shonkoff SB, Krewski D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. *Lancet* 2009;374:2091–2103.
43. Jerrett M, Arain A, Kanaroglou P, Beckerman B, Potoglou D, Sahuvaroglu T, Morrison J, Giovis C. A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2005;15:185–204.
44. Beelen R, Voogt M, Duyzer J, Zandveld P, Hoek G. Comparison of the performances of land use regression modelling and dispersion modelling in estimating small-scale variations in long-term air pollution concentrations in a Dutch urban area. *Atmos Environ* 2010;44:4614–4621.
45. Forbes LJ, Patel MD, Rudnicka AR, Cook DG, Bush T, Stedman JR, Whincup PH, Strachan DP, Anderson RH. Chronic exposure to outdoor air pollution and markers of systemic inflammation. *Epidemiology* 2009;20:245–253.
46. Vienneau D, de Hoogh K, Beelen R, Fischer P, Hoek G, Briggs D. Comparison of land-use regression models between Great Britain and the Netherlands. *Atmos Environ* 2010;44:688–696.
47. Armstrong BG. Effect of measurement error on epidemiological studies of environmental and occupational exposures. *Occup Environ Med* 1998;55:651–656.
48. Crouse DL, Peters PA, van Donkelaar A, Goldberg MS, Villeneuve PJ, Brion O, Khan S, Atari DO, Jerrett M, Pope CA, et al. Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: a Canadian national-level cohort study. *Environ Health Perspect* 2012;120:708–714.
49. Adams J, Ryan V, White M. How accurate are Townsend Deprivation Scores as predictors of self-reported health? A comparison with individual level data. *J Public Health (Oxf)* 2005;27:101–106.
50. Ayres JG, Propper C, Janke K, Harrison RM. Atmospheric pollution and mortalities in English local authority areas [letter]. *J Epidemiol Community Health* 2009;63:173.
51. Office for National Statistics. Death certification reform: a case study on the potential impact on mortality statistics. 2012 [accessed 2013 May 17]. Available from: [http://www.ons.gov.uk/ons/dcp171778\\_288141.pdf](http://www.ons.gov.uk/ons/dcp171778_288141.pdf)

## RESEARCH REPORT

## Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities

Shakoor Hajat, Ben Armstrong, Paul Wilkinson, Araceli Busby, Helen Dolk

*J Epidemiol Community Health* 2007;61:719–722. doi: 10.1136/jech.2006.053942

See end of article for authors' affiliations

Correspondence to:  
Dr S Hajat, Public & Environmental Health Research Unit, London School of Hygiene & Tropical Medicine, Keppel Street, London WC1E 7HT, UK; shakoor.hajat@lshtm.ac.uk

Accepted 30 October 2006

**Background:** There is growing concern that moderate levels of outdoor air pollution may be associated with infant mortality, representing substantial loss of life-years. To date, there has been no investigation of the effects of outdoor pollution on infant mortality in the UK.

**Methods:** Daily time-series data of air pollution and all infant deaths between 1990 and 2000 in 10 major cities of England: Birmingham, Bristol, Leeds, Liverpool, London, Manchester, Middlesbrough, Newcastle, Nottingham and Sheffield, were analysed. City-specific estimates were pooled across cities in a fixed-effects meta-regression to provide a mean estimate.

**Results:** Few associations were observed between infant deaths and most pollutants studied. The exception was sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), of which a 10 µg/m<sup>3</sup> increase was associated with a RR of 1.02 (95% CI 1.01 to 1.04) in all infant deaths. The effect was present in both neonatal and postneonatal deaths.

**Conclusions:** Continuing reductions in SO<sub>2</sub> levels in the UK may yield additional health benefits for infants.

There is now widespread acceptance that short-term increases in ambient air pollution are associated with increased mortality and morbidity, especially in elderly people and those with pre-existing health problems. However, there is now growing concern that there may also be a link with infant mortality and adverse pregnancy outcomes, representing substantial loss of life-years.<sup>1</sup>

Some recent reviews on this subject present mixed results and are only in agreement that further research is needed to confirm and clarify any links.<sup>2–5</sup> Infants may be particularly vulnerable to the adverse effects of air pollution.<sup>6</sup> The lung is not well developed at birth,<sup>3</sup> with 80% of alveoli being formed postnatally.<sup>7</sup> During the neonatal and post-neonatal periods, therefore, the developing lung is highly susceptible to environmental toxicants.<sup>7–9</sup>

Associations between particulate matter <10 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>) and infant mortality have been observed in time-series studies conducted in cities with notoriously high levels of pollution, such as Mexico City,<sup>10</sup> Seoul<sup>11</sup> and Sao Paulo.<sup>12</sup> However, it cannot be assumed that the much lower levels of exposure experienced currently on a daily basis in many Western cities have no harmful effects on susceptible subjects such as infants. Associations between post-neonatal mortality and ambient levels of particulates have been observed in spatial comparisons within the Czech Republic<sup>13</sup> and the US.<sup>14 15</sup>

To date, there has been no investigation on the effects of outdoor pollution on infant mortality in the UK. We analyse here time-series data of daily infant mortality counts in 10 major English cities to quantify any associations with short-term changes in air pollution.

## METHODS

## Data

Data on all-cause infant deaths (death within the first year of life) recorded between 1990 and 2000 were obtained from the Office for National Statistics for the following 10 major cities in England: Birmingham, Bristol, Leeds, Liverpool, London, Manchester, Middlesbrough, Newcastle, Nottingham and Sheffield. For each city, data were collapsed by date of death to generate a time series of daily infant death counts between 1990 and 2000. Further series were created separately for

neonatal deaths (death within first 28 days) and post-neonatal deaths (after day 28 and within the first year).

Daily measures of the following six pollutants were also obtained for the period 1990–2000 from the UK Air Quality Network: carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), particulate matter (PM<sub>10</sub>) and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>). A minimum of two monitoring sites were available for each city, except for Middlesbrough and Newcastle, where only one site was used. For each pollutant, sites providing <30% of missing data were combined to produce a single series for each city. For each pollutant, correlations between sites were high within each city ( $r > 0.74$ ).

For the same study period, daily maximum and minimum temperature (°C) and daily relative humidity (%) were obtained from the British Atmospheric Data Centre, using one weather station in each city. Daily mean temperature was estimated as the mean of the daily maximum and minimum values. Region-specific reports of laboratory-confirmed influenza A and respiratory syncytial virus activity were also collected from the Health Protection Agency.

## Analysis

For each city, daily infant mortality was examined in relation to air pollution using Poisson generalised linear models allowing for overdispersion. Weekly reports of influenza A and respiratory syncytial virus activity were incorporated into each regression model as possible confounding variables, regardless of statistical significance. The non-linear effects of weather were also controlled for using natural cubic splines of mean temperature and relative humidity. In the case of relative humidity, the measure was modelled using the mean of levels on the day of death and the previous 2 days (lags 0–2), and the potential long-term effects of mean temperature were modelled using averaged values of lags 0–7. Three degrees of freedom (df) were used for each of these spline functions. Indicator variables were used to allow for any day-of-week effects.

Cubic smoothing splines of time with equally spaced df were used to control for secular trends (eg, demographic shifts) and any seasonal fluctuations in general birth numbers. Seven df

**Abbreviations:** df, degrees of freedom; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 µg/m<sup>3</sup>

**Table 1** Summary statistics for infant mortality and air pollution data between 1990 and 2000

City	Total infant deaths	Neonatal, %	Mean daily pollution concentrations (25th, 75th centiles) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
			CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Birmingham	2354	71.4	0.64 (0.4, 0.8)	24.3 (7, 27)	43.0 (29, 55)	33.5 (20, 45)	21.9 (14, 26)	17.5 (7, 22)
Bristol	644	64.3	1.01 (0.6, 1.2)	47.9 (18, 55)	66.3 (50, 78)	23.8 (12, 33)	23.1 (15, 28)	17.8 (7, 21)
Leeds	2027	62.1	0.73 (0.5, 0.9)	41.5 (18, 49)	48.0 (37, 58)	30.2 (19, 40)	24.0 (15, 28)	17.0 (6, 21)
Liverpool	1050	62.6	0.51 (0.3, 0.6)	37.7 (14, 49)	43.9 (30, 56)	34.8 (21, 47)	23.6 (15, 28)	21.3 (6, 28)
London	9037	66.1	0.77 (0.5, 0.9)	48.0 (22, 57)	66.1 (54, 75)	20.5 (10, 28)	26.3 (18, 31)	21.3 (9, 27)
Manchester	3404	63.2	0.63 (0.4, 0.7)	36.3 (12, 40)	49.0 (35, 58)	25.0 (14, 33)	22.6 (15, 27)	15.1 (9, 18)
Middlesbrough	574	62.9	0.37 (0.2, 0.4)	11.1 (4, 11)	28.3 (18, 37)	42.6 (31, 54)	18.4 (11, 22)	11.4 (4, 15)
Newcastle	986	66.6	0.67 (0.5, 0.8)	33.7 (14, 41)	41.0 (29, 52)	35.6 (23, 47)	21.5 (14, 26)	14.9 (7, 18)
Nottingham	963	67.3	0.62 (0.4, 0.7)	28.5 (11, 32)	45.1 (35, 54)	28.1 (17, 37)	20.7 (14, 24)	16.0 (10, 19)
Sheffield	1249	67.7	0.60 (0.3, 0.7)	60.1 (23, 74)	51.0 (38, 62)	34.5 (23, 45)	23.0 (15, 28)	16.5 (7, 21)

CO, carbon monoxide; NO, nitrogen oxide; NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; O<sub>3</sub>, ozone; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; SO<sub>2</sub>, sulphur dioxide.

per year (roughly equivalent to a 2-month moving average) were used for these smoothing splines. These parameters were constrained to be the same for all cities, although the sensitivity of estimates to the degree of seasonal control was also examined.

To assess the short-term effects of pollution exposure on infant mortality, each pollutant was modelled using the average value of lags 0–2 days before death. Each pollutant was modelled as a linear term and considered separately from other pollutants. Pollutant effects are presented as the relative risk of mortality associated with a 10-unit increase (1 unit for CO) in the pollutant measure. For each pollutant, city-specific estimates were pooled across cities in a fixed-effects meta-regression to provide a mean estimate.

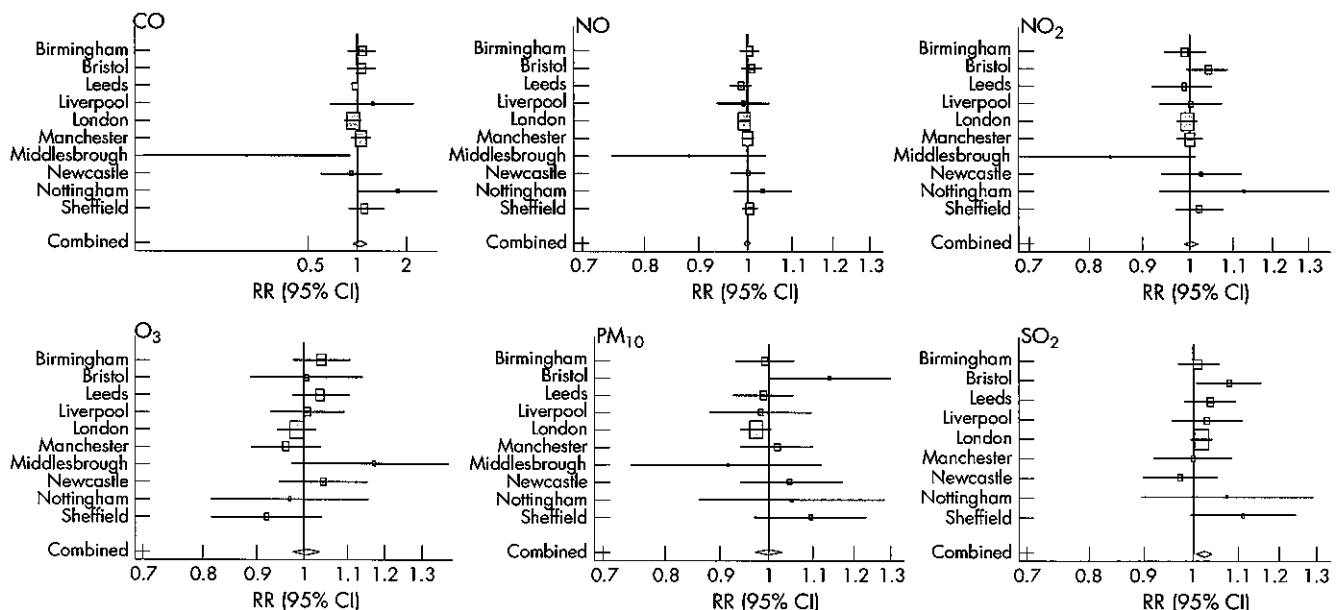
Analyses were repeated separately for neonatal and post-neonatal deaths. All analyses were conducted in STATA version 9.

## RESULTS

The average infant mortality rate in the 10 study cities in 2000 was 7.75 per 1000 deaths. The city-specific rates for Birmingham (10.54/1000) and Leeds (10.25/1000) were

considerably higher than the average, and lower in Liverpool (5.36/1000), Bristol (5.46/1000) and Newcastle (5.78/1000). Table 1 provides summary statistics for infant deaths and averaged pollution data for each city between 1990 and 2000. Birmingham had a considerably higher proportion of neonatal deaths than other cities. London and Bristol generally experienced high levels of all pollutants compared with other cities, except for O<sub>3</sub>, which tends to be negatively correlated with most of the other pollutants in winter months. In general, SO<sub>2</sub> and, to a lesser extent, PM<sub>10</sub> levels decreased over the study period and O<sub>3</sub> levels have risen slightly.

Figure 1 shows the relative risk (RR) of infant death for every 10-unit increase in each pollutant (1 unit for CO). For each city, generally few associations were observed with any of the pollutants. Although Bristol had an increased risk with all pollutants, only in the case of SO<sub>2</sub> was the risk statistically significant at the 5% level. The combined estimates suggested no relationship between pollutants and infant deaths, except in the case of SO<sub>2</sub>, for which a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase was associated with a RR of 1.02 (95% CI 1.01 to 1.04,  $p = 0.008$ ). Restricting analysis to just the summer months (April–September) left the



Note: Middlesbrough SO<sub>2</sub> model did not converge

**Figure 1** RR of all infant mortality for 10-unit increase in pollutant (1 unit for carbon monoxide). Pollutant measure as average of lags 0–2 days. CO, carbon monoxide; NO, nitrogen oxide; NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; O<sub>3</sub>, ozone; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; SO<sub>2</sub>, sulphur dioxide.

**Table 2** RR (95% CI) for 10-unit increase in pollutant (1 unit for carbon monoxide), for all infant deaths, and by neonatal and post-neonatal deaths. Only mean effects are presented. Pollutant measure was presented as an average of lags 0–2 days.

	CO	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
All infant deaths	1.02 (0.96 to 1.09)	1.00 (0.99 to 1.01)	1.00 (0.99 to 1.02)	1.00 (0.98 to 1.03)	0.99 (0.97 to 1.01)	1.02 (1.01 to 1.04)
Neonatal deaths	0.99 (0.92 to 1.07)	1.00 (0.99 to 1.01)	1.00 (0.98 to 1.02)	0.99 (0.96 to 1.02)	0.99 (0.97 to 1.02)	1.02 (1.00 to 1.04)
Post-neonatal deaths	1.09 (0.94 to 1.25)	1.00 (0.99 to 1.01)	1.01 (0.98 to 1.04)	0.99 (0.92 to 1.06)	0.99 (0.95 to 1.03)	1.03 (0.98 to 1.08)

CO, carbon monoxide; NO, nitrogen oxide; NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; O<sub>3</sub>, ozone; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 µg/m<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub>, sulphur dioxide.

effect estimate for O<sub>3</sub> largely unchanged, but the SO<sub>2</sub> effect was larger in the summer months: 1.03 (1.00 to 1.06). In winter (October–March), the SO<sub>2</sub> effect was 1.01 (0.99 to 1.04).

On repeating the analysis separately for neonatal and post-neonatal deaths, the SO<sub>2</sub> effect was found to remain for both age groupings (table 2). Very few other differences were observed, except a very strong adverse effect of CO in post-neonatal deaths, although CIs were wide due to small numbers.

Effect estimates were largely unchanged when more seasonal control (10 df/year) was used in all models.

## Discussion

On the basis of previous evidence, our prior hypothesis was that PM<sub>10</sub> may be adversely associated with infant mortality; however, our results suggested a link with SO<sub>2</sub> on both neonatal and post-neonatal mortality. Exposure to SO<sub>2</sub> may irritate the respiratory system, with high concentrations causing constriction of the bronchi and increasing mucous flow, making breathing difficult. Children may be particularly susceptible to such effects. A similar time-series study from Sao Paulo reported a 6% (95% CI 4 to 8) increase in neonatal deaths associated with the interquartile range (9.2 µg/m<sup>3</sup>) of SO<sub>2</sub>.<sup>12</sup> Our estimate of 2% (0 to 4) was roughly for a similar change in SO<sub>2</sub> levels. In a spatial study, Bobak and Leon found associations between infant mortality in the Czech Republic and both total suspended particles and SO<sub>2</sub>, which were specific to respiratory mortality in the post-neonatal period.<sup>13</sup> These results were later reproduced in a case-control study, where an odds ratio (95% CI) of 1.74 (1.01 to 2.98) was estimated for a 50 µg/m<sup>3</sup> increase in SO<sub>2</sub> on post-neonatal respiratory mortality.<sup>1</sup> Results of our present study were much smaller, but were on all-cause deaths and only consider, effects of short-term changes in air pollution as opposed to cumulative exposures.

### What this paper adds

- An adverse effect of SO<sub>2</sub> exposure was observed on both neonatal and post-neonatal mortality.
- No effects of particulate matter <10 µg/m<sup>3</sup> were observed.

### Policy implications

- Continuing reductions in SO<sub>2</sub> levels in the UK may yield additional health benefits in infants.

Another spatial comparison from the US by Woodruff *et al.*<sup>14</sup> estimated an OR (95% CI) of 1.10 (1.04 to 1.16) of total post-neonatal mortality in the highest tertile of PM<sub>10</sub> exposure compared with the lowest tertile. An equivalent comparison from our current study for just PM<sub>10</sub> levels in London and post-neonatal deaths gives a RR of 0.94 (0.87 to 1.01), suggesting no contribution from PM<sub>10</sub> and no overlap with the Woodruff estimate.

Recent time-series and case-crossover studies have also implicated PM<sub>10</sub><sup>15,16</sup> or NO<sub>2</sub>,<sup>17</sup> but no role for SO<sub>2</sub> was observed. Furthermore, no significant effect of CO was observed in these studies—our results suggested that CO may have a strong adverse effect on post-neonatal deaths, although our estimate was imprecise. Other temporal studies have only considered effects of PM<sub>10</sub>.<sup>11</sup>

Recent work has demonstrated that correlations between ambient levels and personal exposure of gaseous pollutants such as SO<sub>2</sub> is lower than those for fine particles, and that ambient gaseous pollutant concentrations may be better surrogates of personal PM<sub>2.5</sub> exposures than they would be as surrogates of personal exposures to the gases themselves.<sup>18,19</sup> This is most likely to be the case in low-ventilated environments; however, our SO<sub>2</sub> effect was strongest in the summer-time, when ventilation is at its highest in UK homes.

A long time-series was used in the present study—11 years of data from 10 major English cities allowed us to robustly estimate the effects on all-cause mortality. In addition, all effects were insensitive to the different levels of seasonal control, suggesting that our original model choice was satisfactory.

In conclusion, our results suggest an adverse effect of SO<sub>2</sub> exposure on both neonatal and post-neonatal mortality. Continuing reductions in SO<sub>2</sub> levels in the UK may yield additional health benefits for infants.

### Authors' affiliations

Shakoor Hajat, Ben Armstrong, Paul Wilkinson, Araceli Busby, London School of Hygiene & Tropical Medicine, London, UK  
Helen Dolk, University of Ulster, Newtownabbey, Co Antrim, UK

Competing interests: None declared.

### REFERENCES

- 1 Bobak M, Leon DA. The effect of air pollution on infant mortality appears specific for respiratory causes in the postneonatal period. *Epidemiology* 1999;10:666–70.
- 2 Glinianaia SV, Rankin J, Bell R, *et al.* Does particulate air pollution contribute to infant death? A systematic review. *Environ Health Perspect* 2004;112:1365–70.
- 3 Schwartz J. Air pollution and children's health. *Pediatrics* 2004;113:1037–43.
- 4 Sram RJ, Binkova B, Dejmeek J, *et al.* Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. *Environ Health Perspect* 2005;113:375–82.
- 5 Lucasana M, Esplugues A, Ballester F. Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects. *Eur J Epidemiol* 2005;20:183–99.



- 6 **Committee on Environmental Health.** Ambient air pollution: health hazards to children. *Pediatrics* 2004;**114**:1699–707.
- 7 **Dieterl RR, Etzel RA, Chen D, et al.** Workshop to identify critical windows of exposure for children's health: immune and respiratory systems work group summary. *Environ Health Perspect* 2000;**108**(Suppl 3):483–90.
- 8 **Plapper CG, Fanucchi MV.** Do urban environmental pollutants exacerbate childhood lung diseases? *Environ Health Perspect* 2000;**108**:A252–3.
- 9 **Pinkerlton LM, Joad JP.** The mammalian respiratory system and critical windows of exposure for children's health. *Environ Health Perspect* 2000;**108**(Suppl 3):457–62.
- 10 **Loomis D, Castillejos M, Gold DR, et al.** Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999;**10**:118–23.
- 11 **Ha EH, Lee JT, Kim H, et al.** Infant susceptibility of mortality to air pollution in Seoul, South Korea. *Pediatrics* 2003;**111**:284–90.
- 12 **Lin CA, Pereira LA, Nishioka DC, et al.** Air pollution and neonatal deaths in Sao Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res* 2004;**37**:765–70.
- 13 **Bobak M, Leon DA.** Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986–88. *Lancet* 1992;**340**:1010–14.
- 14 **Woodruff TJ, Grillo J, Schoendorf KC.** The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environ Health Perspect* 1997;**105**:608–12.
- 15 **Woodruff TJ, Parker JD, Schoendorf KC.** Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) air pollution and selected causes of postneonatal infant mortality in California. *Environ Health Perspect* 2006;**114**:786–90.
- 16 **Tsai SS, Chen CC, Hsieh HJ, et al.** Air pollution and postneonatal mortality in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Inhal Toxicol* 2006;**18**:185–9.
- 17 **Pereira LA, Loomis D, Conceicao GMS, et al.** Association between air pollution and intrauterine mortality in Sao Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect* 1998;**106**:325–9.
- 18 **Sarnat JA, Brown KW, Schwartz J, et al.** Ambient gas concentrations and personal particulate matter exposures: implications for studying the health effects of particles. *Epidemiology* 2005;**16**:385–95.
- 19 **Sarnat SE, Coull BA, Schwartz J, et al.** Factors affecting the association between ambient concentrations and personal exposures to particles and gases. *Environ Health Perspect* 2006;**114**:649–54.

## SPEAKER'S CORNER

### Publishing has become a "Russian roulette"

As authors, every now and then we get rather prejudiced, biased or scientifically unfounded—if not fully unethical, because of conflicts of interest—comments from manuscript reviewers. Some journal editors seldom seem to feel accountable for the choice of reviewers.

Today, I seek advice from a colleague and friend, a widely recognised scientist at a top-ranking college in London, UK, about suitable journals to which we could resubmit a given paper. Other than the specific advice, his main reflection is:

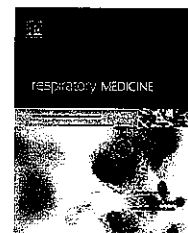
Publishing has become a "Russian roulette".

Hopefully, not so in *JECH* and in most other journals. But the debate is worthwhile.<sup>1,2</sup>

Correspondence to: Professor M Porta, IMIM & UAB, Carrer del Dr Aiguader, 88, E-08003 Barcelona, Catalonia, Spain; mporta@imim.es

### References

- 1 **Porta M.** The bibliographic 'impact factor' of the Institute for Scientific Information, Inc.: how relevant is it really for public health journals. *J Epidemiol Community Health* 1996;**50**:606–10.
- 2 **Porta M, Fernandez E, Bolúmar F.** The 'bibliographic impact factor' and the still uncharted sociology of epidemiology. *Int J Epidemiol* 2006;**35**:1130–5.



## Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China

Guwei Pan<sup>a,\*</sup>, Shujuan Zhang<sup>a</sup>, Yiping Feng<sup>a</sup>, Ken Takahashi<sup>b</sup>, Jun Kagawa<sup>c</sup>, Lianzheng Yu<sup>a</sup>, Ping Wang<sup>d</sup>, Meijuan Liu<sup>e</sup>, Qinan Liu<sup>f</sup>, Shuwen Hou<sup>g</sup>, Bailing Pan<sup>h</sup>, Jianping Li<sup>i</sup>

<sup>a</sup> Department of Environmental Epidemiology, Liaoning Provincial Center for Disease Control and Prevention, 42-1 Jixian St, Heping Dis, Shenyang 110005, PR China

<sup>b</sup> Department of Environmental Epidemiology, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Kitakyushu, Japan

<sup>c</sup> Dept. of Hygiene and Public Health, School of Medicine, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

<sup>d</sup> Shenyang Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shenyang, PR China

<sup>e</sup> Anshan Municipal Center for Disease Control and Prevention, Anshan, PR China

<sup>f</sup> Dandong Municipal Center for Disease Control and Prevention, Dandong, PR China

<sup>g</sup> Benxi Municipal Center for Disease Control and Prevention, Benxi, PR China

<sup>h</sup> Liaoyang Municipal Center for Disease Control and Prevention, Liaoyang, PR China

<sup>i</sup> Panjin Oil Field Center for Disease Control and Prevention, Panjin, PR China

Received 21 January 2010; accepted 27 July 2010

### KEYWORDS

Air pollution;  
Children;  
Respiratory;  
Particulate matter;  
SO<sub>2</sub>;  
NO<sub>2</sub>

### Summary

**OBJECTIVE:** The associations between air pollution and children's respiratory health in the high pollution range have not yet been clearly characterized. We evaluated the effects of outdoor air pollution on respiratory morbidity in children selected from multiple sites in a heavy industrial province of northeastern China.

**METHODS:** The study included 11,860 children aged 3–12 years, selected from 18 districts of 6 cities in Liaoning province, the participation rate is 89.9%. Informed consent and written responses to surveys about children's historic and current health status, personal and household characteristics, and other information were obtained from parents. A two-stage regression approach was applied in data analyses.

**RESULTS:** There were wide gradients for TSP (188–689 µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (14–140 µg/m<sup>3</sup>) and NO<sub>2</sub> (29–94 µg/m<sup>3</sup>) across the 18 districts of 6 cities. The three air pollutants significantly increased the prevalence of persistent cough (21–28%), persistent phlegm (21–30%) and current asthma (39–56%) for each interquartile range increment (172 µg/m<sup>3</sup> for TSP, 69 µg/m<sup>3</sup> for SO<sub>2</sub>, 30 µg/m<sup>3</sup> for NO<sub>2</sub>), showing larger between-city effects than within-city. Rates of respiratory

\* Corresponding author. Tel.: +86 24 8338 0014; fax: +86 24 2338 8218.  
E-mail address: [panpgw@yahoo.com.cn](mailto:panpgw@yahoo.com.cn) (G. Pan).

symptoms were significantly higher for children with younger age, atopy, respiratory disease in early age, family history of asthma or chronic bronchitis, and tobacco smoke exposure.

**CONCLUSION:** The high levels of outdoor air pollution in north China are positively associated with children's respiratory symptoms, the associations with TSP appear to be stronger than SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## Introduction

China has experienced rapid economic development and urbanization over the past three decades, the levels and patterns of outdoor and indoor air pollutants have altered dramatically. The levels of particulate matter and SO<sub>2</sub> are higher than those of the national standard and criterion concentration of WHO in many cities, although they have declined gradually in recent years.<sup>1–4</sup> With the rapid increase in motor vehicles, urban air pollution has changed from the coal combustion type to mixed coal smoke and motor vehicle emission type encountered at relatively high levels since the mid 1990s. Meanwhile, the levels of indoor coal smoke pollution have decreased rapidly since more people moved to new houses with gas or electric power. The new building materials used, pet raising, and tobacco smoke exposure have also affected the types and levels of indoor air pollution.<sup>1,2</sup> While a limited number of studies have evaluated the health effects of the changing and mixing air pollution in the past decade,<sup>5–15</sup> most were conducted in one city with heavy air pollution, the inconsistent results obtained to date do not provide a clear overall picture of health damage.

The air pollution levels were higher in cities of north China, since coal was the main fuel for industry and heating, especially in winter. Several cities in the Liaoning province, including Shenyang, Anshan and Benxi, are historically among the most polluted cities in China. Epidemiological studies reveal positive associations between high level air pollution and increased morbidity and mortality from respiratory diseases and lung cancer.<sup>8,13,14</sup> These studies have several limitations: (1) all were performed in one city with heavy air pollution, the relatively high and narrow pollution range between the nested districts in one city could not reveal between-city effects; (2) none included pre-school children, who are more susceptible to air pollutants; (3) some important confounding factors, such as family history of respiratory disease, respiratory infections in early life, and atopic status, were not effectively controlled.

To evaluate the associations between air pollution and children's respiratory symptoms and illnesses within a wider range of both air pollutants and subjects, we conducted a cross-sectional survey in 6 cities in Liaoning province.

## Materials and methods

Detailed information on locations of study area, schools and participants selection, and ambient air pollution assessment, has been reported in previous paper on adults' respiratory health of the present study.<sup>14</sup> In brief, with the aim of maximizing between-city and within-city

concentration gradients in the air pollutants, six cities (i.e., Anshan, Benxi, Dandong, Liaoyang, Panjin and Shenyang) and three districts (slight, moderate, heavy) within each city were selected based on historical monitoring data. A kindergarten and an elementary school that were located within 1 km of the monitoring sites were selected in each district. Two classes were randomly selected for each grade/age group in the kindergarten/schools.

The records obtained between 1997 and 2000 from environmental monitoring stations nearest to the subjects' residence (any one of each of the three stations in each city) were used to determine the levels of exposure to ambient air pollution for each subject. Ambient air pollution was determined by the annual average levels of three pollutants (TSP, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub>). For comparison, the annual PM<sub>10</sub> concentrations were estimated by multiplying TSP with 0.52 for each district using the method recommend by State Environmental Protection Administration of China.<sup>15</sup>

The Chinese language questionnaire was translated and back-translated from the Epidemiologic Standardization Project Questionnaire of American Thoracic Society (ATS-DLD-78-A).<sup>16</sup> We additionally included some questions, such as breast feeding, atopy, family history of respiratory disease, dwelling and classroom characteristics, methods of cooking and heating, pet raising, history of respiratory illnesses, and passive smoking. After obtaining written consent forms from parents, questionnaires were distributed simultaneously in all the districts. The questionnaire was self-completed by parents or other family members of the schoolchildren, either at school or at home between January and June 2002.

We focus on four respiratory symptoms and illnesses, specifically, persistent cough, persistent phlegm, current wheeze and current asthma. We used the similar definitions as adopted in the ATS-DLD-78-A questionnaire survey in Japan.<sup>17</sup> Respiratory symptoms and illnesses were determined based on questionnaire responses. (a) Persistent cough: had a cough on most days ( $\geq 4$  days per week) for as long as 3 months of the year, either together with or separately from colds; (b) Persistent phlegm: seemed congested or brought up phlegm or mucus from the chest on most days ( $\geq 4$  days per week) for as long as 3 months of the year, either together with or separately from colds; (c) Current wheeze: positive answers to all the four criteria: (1) occasional wheezing; (2) chest ever sound wheezy or whistling, either together with or separately from colds; (3) experienced two or more such episodes in the past 2 years; (4) not meet the criteria for 'current asthma'. (d) Current asthma: positive responses to all the six criteria: (1) have experience an attack of wheezing and/or short of breath; (2) have had two or more such attacks; (3) have been diagnosed with asthma by a doctor; (4) wheezing could be heard during an attack; (5) experienced shortness of breath and wheezing during an attack; (6) have experienced such

an attack or have received treatment for asthma in the past 2 years. Other risk factors, such as respiratory disease at early age, atopy and obesity, were defined as specified in the online data supplement.

To study the relationships between the air pollution levels and the prevalence of four respiratory symptoms/illnesses, we used a two-stage regression approach similar to the method used in other studies.<sup>12,18–20</sup> In the first stage, we used stepwise logistic regression models to determine which personal and household variables were associated with each symptom. Any variables that were significant at the  $p < 0.15$  level for a given symptom will be included in all subsequent models of pollutant effects for that symptom. We fit a single logistic regression model for the prevalence rate of each symptom, including all of the significant personal/household variables and 18 separate intercept terms  $\alpha_j$  for each community  $j$ . These intercept terms represent the logit of the community-specific prevalence rates, adjusted for the personal/household covariates. The adjusted prevalence rate can then be computed as  $e^{\alpha_j} / (1 + e^{\alpha_j})$ . In the second stage model, we firstly fitted one pollutant models by regressing the community-specific parameter estimates ( $\alpha_j$ ,  $j = 1, \dots, 18$ ) on the community-specific ambient level of a given pollutant, using simple linear "ecologic" regression  $\alpha_j = \alpha + \beta Z_j + E_j$  where  $Z_j$  denotes the pollution variable(s) in community  $j$ . The expectation is that if there is a relationship between the condition and pollution, there will be a non-zero slope ( $\beta$ ) in this model. The standard  $t$  test of zero slope for a regression model is utilized to determine whether rates of symptoms are correlated with pollutants. The quantity,  $e^\beta$ , can be translated to the prevalence odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (95% CIs), scaled so that the interquartile range corresponds to one unit change. Finally, we fitted three pollutant models to assess the independent effects of each pollutant while controlling the possible confounding from others.

Because the 18 districts were nested in the six cities, we used additional second stage models that tested separately for the between-city and within-city associations between prevalence and each pollutant.<sup>12,20</sup> The models can be described with two dimensional expression as follows:  $k$  denotes city ( $k = 1, \dots, 6$ ) and  $l$  denotes the three districts within a city ( $l = 1, 2, 3$ ); then  $\alpha_{kl} = a + b_1 X_k + b_2 (X_{kl} - X_k) + e_{kl}$ , where  $\alpha_{kl}$  is the coefficient for district  $kl$  (similar to  $\alpha_j$  in the first-stage model),  $X_k$  denotes the city-specific concentration for city  $k$  (the average of city  $k$ 's three districts),  $X_{kl}$  denotes the pollutant concentration in district  $l$  of city  $k$ , and  $e_{kl}$  represents the error term. In this model,  $b_1$  and  $b_2$  represent between-city and within-city pollutant–outcome relationships, respectively. These coefficients were  $t$ -tested for zero slope and translated to ORs and 95% CIs.

## Results

Table 1 presents the 4-year arithmetic means of TSP, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>, as well as the estimated PM<sub>10</sub>, in the 18 districts. 94–100% of estimated PM<sub>10</sub>, 44–94% of SO<sub>2</sub>, 56–67% of SO<sub>2</sub> exceeded the National Standard of China<sup>21</sup> and WHO Air Quality Guidelines.<sup>22</sup> There are wide between-city and

within-city gradients for TSP (188–689  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), SO<sub>2</sub> (14–140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and NO<sub>2</sub> (29–94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The highest levels of TSP and SO<sub>2</sub> were observed in Anshan and Benxi, where the two largest iron-steel companies in China are located.

Table 2 contains detailed information about the final study samples of 12,879 children (89.9%) of 13,192 eligible children. The participation rates varied from 78.7% in Dandong to 96.1% in Benxi, which did not correlate with either pollution levels or disease prevalence. In total, 1019 children (153 aged <3, 127 aged  $\geq 13$ , 739 residing in the current district for <3 years) were excluded from further analyses (exclusion rate of 7.9%). Among the 11,860 children analyzed, the average age was  $8.4 \pm 2.6$  years, 50.7% were male, 79.9% were breast-fed, 3.3% were low birth weight, 6.9% were diagnosed with atopy, 13.0% displayed obesity, 22.9% had a respiratory disease history before 2 years of age, 54.0% were exposed to tobacco smoke at home. Within the parents and grandparents of the children, 1.4% and 8.4% had asthma history, and 2.7% and 10.5% had a history of chronic bronchitis, respectively. In terms of houses, 25.2% were close to a main road (<20 m), 31.1% were close to a factory or chimney (<100 m), 22.5% had been painted or re-built in the past 3 years, 6.2% use humidifier, 25.6% have pets. In total, 11.5% houses used coal for cooking or heating, with the highest rates reported in Benxin (31.2%) and Dandong (12.4%).

As shown in Table 3, the prevalence of persistent cough, persistent phlegm, current wheeze and current asthma were 9.5%, 4.6%, 6.0% and 1.4% respectively, which were significantly different among the 6 cities. The lowest levels of both air pollutants and prevalence of persistent cough and persistent phlegm were recorded in Panjin city. Pre-school children aged <7 years displayed a significantly higher prevalence for all four symptoms than school children. No marked differences were observed between males and females.

Table 4 shows the results of first-stage logistic regressions. Respiratory disease history at an early age, atopy, parental history of asthma and/or chronic bronchitis, grandparents' history of asthma, and passive tobacco smoke exposure at home significantly increased the ORs for all four symptoms/illnesses. Significantly positive associations were observed between low birth weight and persistent cough; obesity and wheeze; grandparents' chronic bronchitis and persistent cough and wheeze; fewer room number and persistent phlegm; house close to main road and asthma; house close to factory/chimney and persistent cough, wheeze and asthma; classroom close to main road and persistent cough, persistent phlegm and asthma; house pet and persistent cough and persistent phlegm; house painting and wheeze and asthma; humidifier and persistent phlegm and asthma. Significantly negative associations were observed between elder age and persistent cough and wheeze; breast feeding and persistent cough and persistent phlegm; parents as responders and persistent cough, persistent phlegm and asthma.

Table 5 presents the results of second stage regression analyses. We observed significantly increased prevalence of persistent cough (21–28%), persistent phlegm (21–30%), asthma (39–56%) for each interquartile range of all the three air pollutants, but not for wheeze, in the one pollutant model. However, the significant associations with

**Table 1** District-specific ambient air pollutant concentrations ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), 4-year (1997–2000) arithmetic means for TSP,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  in 18 districts of 6 cities.

City	TSP <sup>d</sup>			PM <sub>10</sub> <sup>e</sup>			SO <sub>2</sub> <sup>f</sup>			NO <sub>2</sub> <sup>g</sup>		
	Heavy	Moderate	Slight	Heavy	Moderate	Slight	Heavy	Moderate	Slight	Heavy	Moderate	Slight
Anshan	689	391	307	358	203	160	117	91	72	94	91	58
Benxi	625	573	448	325	298	233	120	140	133	48	55	53
Dandong	212	199	188	110	103	98	26	25	14	47	38	35
Liaoyang	322	253	225	167	132	117	34	25	27	70	45	33
Panjin	286	208	194	149	108	101	41	27	26	38	30	29
Shenyang	351	334	314	183	174	163	96	82	50	67	74	57
Grand Mean $\pm$ SD	414 $\pm$ 195	326 $\pm$ 142	279 $\pm$ 99	215 $\pm$ 101	170 $\pm$ 74	145 $\pm$ 51	72 $\pm$ 43	65 $\pm$ 47	54 $\pm$ 44	61 $\pm$ 20	56 $\pm$ 23	44 $\pm$ 13
Interquartile range <sup>a</sup>	172			177 $\pm$ 79			64 $\pm$ 42			53 $\pm$ 44		
National standard <sup>b</sup>	200			100			60			50		
% of > NS	83			94			44			56		
WHO guideline <sup>c</sup>	–			20			20			40		
% of > WHO	–			100			94			67		

<sup>a</sup> Range from 25th to 75th percentile of district-specific concentrations.

<sup>b</sup> China national ambient air quality standard.

<sup>c</sup> WHO air quality guidelines global update 2005.

<sup>d</sup> TSP: total suspended particle.

<sup>e</sup> PM<sub>10</sub>: particulate matter with a mass median aerodynamic diameter <10  $\mu\text{m}$ , estimated by multiplying TSP with 0.52.

<sup>f</sup> SO<sub>2</sub>: sulfur dioxide.

<sup>g</sup> NO<sub>2</sub>: nitrogen dioxide.

SO<sub>2</sub> do not exit in the three pollutants model analysis. When the overall associations were broken down into between-city and within-city associations (Table 6), we found significantly increased ORs in between-city associations in single pollutant model, most between-city ORs were higher than the corresponding within-city ORs, also no significantly increased or decreased ORs for wheeze. In the three pollutant model analyses, the between-city ORs almost doubled for the associations between TSP and persistent cough (2.39/1.23) and persistent phlegm (2.81/1.22), all the within-city ORs for TSP also slightly increased. Most ORs for SO<sub>2</sub> decreased over 50%, especially for the significantly decreased between-city ORs for persistent cough (OR = 0.41, 95%CI = 0.26–0.67) and persistent phlegm (OR = 0.32, 95%CI = 0.16–0.64), and within-city OR for wheeze (OR = 0.31, 95%CI = 0.17–0.56). All the between-city ORs decreased, but within-city ORs increased for NO<sub>2</sub>.

## Discussion

The average levels of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> of the 18 sites were 8.9, 3.2 and 1.3 times of WHO recommended limits, substantially extended the upper end of the pollution ranges of previous epidemiological studies conducted in North America, Europe and Japan,<sup>11,18–20</sup> also higher than that in former East Germany.<sup>23–25</sup> The wide gradients present a unique advantage in assessing the harmful health effects of air pollution within the high pollution range, especially for particulate matters and SO<sub>2</sub>.

The prevalence of persistent cough and persistent phlegm are higher than that of wheezing and asthmatic symptoms, confirmed the previous findings that the rates of

'non-allergic symptoms' were significantly higher than that of 'allergic symptoms' in Chinese children.<sup>9–14</sup> The prevalence of asthma (1.4%) was significantly lower than that of Japanese schoolchildren assessed with the same ATS questionnaire (6.51%),<sup>17</sup> close to the level of 'current asthma' in a national survey among 432,500 children in 43 Chinese cities (1.54%).<sup>26</sup> The definition of 'asthma ever diagnosed by a doctor' in ATS<sup>17</sup> is similar to 'ever had asthma' in ISSAC (the international study of asthma and allergies in childhood),<sup>27</sup> the rate of 'asthma ever diagnosed by a doctor' in the present study is 6.5%, close to that of 'ever had asthma' for ISSAC survey in Beijing (6.9%), Chongqing (7.1%) and Shanghai (7.1%),<sup>27</sup> but significantly lower than Japanese children (18.9%).<sup>17</sup> The data from both ATS and ISAAC surveys support that Chinese children has significantly lower prevalence of asthma than Japanese children, China is one of the countries with the lowest prevalence of asthma.<sup>27</sup> The prevalence of 'current asthma' reported in the ISSAC survey in Beijing (2.3%) and Guangzhou (2.1%) is lower than Hang Kong (3.3%),<sup>28</sup> the lower rate of 'current asthma' in the present study maybe partly related to the stricter criteria in ATS than ISSAC. The prevalence of current wheeze was 6.0%, close to the 12 month prevalence of wheeze in China (4.2%),<sup>27</sup> lower than that of the cities in south and west China (6.6–18.8%).<sup>12</sup> There are big geographic variations in asthmatic and wheeze symptoms in China,<sup>12,26–28</sup> we should be careful while comparing the prevalence of asthma between various surveys assessed with different questionnaire and/or definitions. The higher prevalence of respiratory symptoms in younger children supports the theory that the developing and maturing lung is more vulnerable to damage

Table 2 Personal and household characteristics of children in six cities.

Variable	All	City						p-Value
		Anshan	Benxi	Dandong	Liaoyang	Panjin	Shenyang	
Subjects administrated questionnaire [N (%)]	13192 (100)	1971(14.9)	2190(16.6)	2428(18.4)	2476 (18.8)	2089(15.8)	2019 (15.3)	<0.001
Respondents included in final analysis [N (%)]	11860.0	1772(14.9)	2105(17.7)	1911(16.1)	2303(19.4)	1966(16.6)	1803 (15.2)	<0.001
Response rate (%)	89.9	89.9	96.1	78.7	93.0	94.1	89.3	<0.001
Male [N (%)]	5847 (49.3)	883(49.8)	1030(48.9)	969(50.7)	1131(49.1)	969(49.3)	865(48.0)	0.681
Age (mean [SD]) (yr)	8.3 [2.6]	8.5[2.6]	8.1[2.7]	8.8[2.7]	8.3[2.4]	8.1[2.5]	8.3[2.5]	<0.001
Breast-fed (%)	79.9	76.1	81.1	87.3	78.3	85.6	70.4	<0.001
Low birth weight (%)	3.3	3.5	4.2	1.8	3.3	3.0	4.3	<0.001
Atopy (%)	6.9	5.5	7.0	8.9	5.1	7.2	8.0	<0.001
Obesity (%)	13.0	11.6	17.7	12.6	10.2	11.3	14.8	<0.001
Respiratory disease before 2 yr (%)	22.9	26.4	24.8	25.1	22.3	19.7	19.2	<0.001
Parental asthma (%)	1.4	1.8	2.2	1.8	0.9	0.7	0.9	<0.001
Parental chronic bronchitis (%)	2.7	3.1	3.2	3.3	2.1	1.9	2.8	<0.001
Grandparent asthma (%)	8.4	8.8	10.2	9.7	6.0	8.1	7.8	<0.001
Grandparent chronic bronchitis (%)	10.5	10.4	11.0	12.3	8.8	10.9	10.0	<0.001
Numbers of room $\geq 3$ (%)	31.8	15.7	20.5	35.2	35.0	61.5	20.2	<0.001
House close to main road (%)	25.2	26.0	24.7	27.4	30.8	18.1	23.2	<0.001
House close to factory or chimney	31.1	27.0	24.8	40.5	32.3	20.4	42.9	<0.001
House painted or re-built in past 3 yr (%)	22.5	20.1	16.3	19.6	24.6	34.0	20.2	<0.001
Indoor coal use (%)	11.5	3.2	32.2	13.1	5.7	5.7	7.8	<0.001
Ventilation in kitchen (%)	76.8	75.7	49.6	79.4	85.8	93.2	77.6	<0.001
Air exchange in winter (%)	47.2	47.8	32.9	52.6	47.8	48.5	55.4	<0.001
Humidator use (%)	6.2	5.8	2.4	4.3	6.8	9.7	8.5	<0.001
House pets (%)	25.8	30.0	25.8	20.5	28.2	13.1	37.8	<0.001
Passive smoking exposure (%)								
Father	43.5	42.7	55.4	42.5	36.7	43.2	40.7	<0.001
Mother	1.0	1.3	2.4	0.4	0.3	0.9	0.8	<0.001
Anyone	54.0	53.1	64.9	51.2	48.8	51.4	54.6	<0.001
Parents as responders (%)	92.3	91.5	92.5	91.0	91.5	94.8	92.6	<0.001

Table 3 Prevalence (%) of respiratory symptoms and illnesses by city, gender and age groups.

	Persistent cough			Persistent phlegm			Current wheeze			Current asthma		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
City												
Anshan	9.4	9.8	9.6	4.4	6.0	5.2	3.7	4.3	4.0	2.0	2.2	2.1
Benxi	11.8	11.5	11.7	5.8	5.2	5.5	5.0	4.5	4.8	1.7	1.9	1.8
Dandong	8.2	9.4	8.8	3.7	4.5	4.1	5.8	6.2	6.0	1.0	1.6	1.3
Liaoyang	11.7	12.2	11.9	5.7	6.2	5.9	3.7	4.1	3.9	0.7	0.8	0.7
Panjin	4.9	5.0	4.9	2.1	2.5	2.3	5.7	4.8	5.2	1.2	1.0	1.1
Shenyang	9.7	9.0	9.3	4.3	4.4	4.3	3.8	3.9	3.9	1.0	1.2	1.1
p-Value*	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.2	<0.01	0.1	<0.05	<0.01
Age												
3-6	12.2	12.9	12.5	5.1	5.3	5.2	8.6	9.4	9.0	2.0	1.9	1.9
7-9	8.4	8.0	8.2	4.1	3.8	4.0	4.6	4.4	4.5	1.0	1.2	1.1
10-12	8.5	7.7	8.1	5.4	4.1	4.8	2.7	2.6	2.6	1.0	1.3	1.1
p-Value#	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.1	0.0	<0.01	<0.01	<0.01	0.0	0.1	<0.01
Total	9.6	9.4	9.5	4.8	4.4	4.6	4.6	5.9	5.2	1.3	1.4	1.4
p-Value†	0.66			0.25			0.94			0.58		

\*p-Value for the effect of city.

#p-Value for the effect of age.

†p-Value for the effect of sex.

Table 4 ORs of personal and household covariates associated with respiratory symptoms.

Variable	Persistent cough			Persistent phlegm			Current wheeze			Current asthma		
	OR	95%CI		OR	95%CI		OR	95%CI		OR	95%CI	
Age (ref: 3–6 yr)	0.80**	0.74	0.87	0.94	0.84	1.05	0.56**	0.49	0.63	0.71	0.57	0.88
Low birth weight (ref: normal l birth weight)	1.28*	0.96	1.72	1.49	1.02	2.18	1.04	0.70	1.56	0.78	0.32	1.93
Breast feeding (ref: not breast-fed)	0.85**	0.73	0.98	0.74**	0.61	0.91	0.96	0.79	1.17	0.72	0.50	1.04
Obesity (ref: not obesity)	1.14	0.96	1.36	1.05	0.81	1.34	1.44**	1.14	1.81	0.91	0.57	1.46
Atopy (ref: no atopy)	1.73**	1.41	2.12	2.09**	1.62	2.69	2.18**	1.73	2.76	3.83**	2.63	5.58
Res Dis History before 2 years old (ref: no history)	2.24**	1.96	2.55	2.24**	1.87	2.69	4.04**	3.44	4.75	9.53**	6.52	13.91
Parental asthma (ref: no history)	1.71**	1.14	2.56	1.68**	1.01	2.79	2.19**	1.40	3.42	4.09**	2.22	7.53
Parental chronic bronchitis (ref: no history)	1.80**	1.35	2.41	1.72**	1.18	2.51	2.35**	1.35	3.34	1.98**	1.13	3.44
Grandparent asthma (ref: no history)	1.43**	1.17	1.76	1.73**	1.35	2.22	1.74**	1.33	2.26	2.56**	1.68	3.91
Grandparent chronic bronchitis (ref: no history)	1.21*	1.00	1.46	1.59	1.25	2.03	1.41**	1.10	1.81	1.64	1.07	2.51
Mother smoking (ref: nonsmoking mother)	2.54**	1.63	3.97	2.07**	1.15	3.71	1.83	0.97	3.45	3.13**	1.19	8.23
Passive tobacco exposure at home (ref: no PTE at home)	1.26**	1.11	1.43	1.36**	1.13	1.64	1.48**	1.23	1.78	1.41*	0.99	1.99
Fewer room number (ref: room number $\geq 3$ )	1.12	0.97	1.28	1.16*	0.95	1.41	0.88	0.75	1.03	0.81	0.59	1.13
House close to main road (ref: distance $\geq 20$ m)	1.10	0.88	1.38	0.90	0.64	1.26	1.26	0.96	1.66	1.57*	0.96	2.58
House close to factory or chimney (ref: distance $\geq 100$ m)	1.40**	1.12	1.76	1.62	1.20	2.18	1.34**	1.10	1.63	1.80**	1.11	2.91
Classroom close to main road (ref: distance $\geq 20$ m)	1.59**	1.27	2.00	1.88**	1.40	2.53	1.13	0.85	1.50	1.92**	1.14	3.24
House pets (ref: no pet at home)	1.19**	1.03	1.37	1.24**	1.02	1.50	1.09	0.91	1.30	1.02	0.71	1.46
House painted/re-built in 3 yr (ref: not in the past 3 yr)	0.94	0.81	1.10	1.04	0.85	1.27	1.16*	0.97	1.40	1.43**	1.00	2.02
Humidator use (ref: not use)	1.06	0.82	1.37	1.39**	0.99	1.94	0.97	0.71	1.33	1.82**	1.06	3.14
Parents as responders (ref: others as responders)	0.79**	0.63	1.00	0.66**	0.49	0.89	1.22	0.89	1.67	0.60*	0.34	1.07
Low education of the questionnaire responder (ref: $\geq$ Junior high school)	1.16	1.02	1.33	1.19*	0.99	1.43	0.83*	0.67	1.02	1.25	0.88	1.76

\* $p < 0.15$ ; \*\* $p < 0.05$ .

Variables with asterisks are selected in the first-stage logistic stepwise regression model, and included in the second stage model for this symptom. The variables are adjusted for each other. The remaining variables without asterisks are adjusted for each other, as well as for age and sex.

caused by air pollutants.<sup>29,30</sup> The inclusion of these children enhanced sensitivity in detecting the harmful effects of air pollution.

The significantly increased ORs of family history of asthma and chronic bronchitis, as well as atopy of the subject, confirmed the strong influence of genetic-determined susceptibility and/or common environmental exposure. We observed strong effects of respiratory diseases in early life on wheeze and asthma. However, the lower prevalence of asthma (1.4%) and higher rate of early respiratory infection (22.9%), as reported in other

developing countries<sup>27</sup> and East Germany,<sup>23–25</sup> does not support a causal link between respiratory infection and asthma, further studies are warranted to establish whether infection in early life plays different roles in the etiology of asthma in countries with varying levels of asthma. As expected, breast feeding was a significant protective factor for persistent cough and persistent phlegm.

We observed significant effects of some indoor air pollutions on various respiratory symptoms, the rapidly increasing trend of pet raising, humidifier usage, and house painting is expected to cause more health damage in the

**Table 5** Associations between air pollutants and respiratory symptoms and illnesses.

Pollutant	Persistent cough			Persistent phlegm			Current wheeze			Current asthma		
	OR	95%CI		OR	95%CI		OR	95%CI		OR	95%CI	
Single pollutant model												
TSP	1.21*	1.14	1.29	1.21*	1.10	1.32	0.92	0.83	1.01	1.41*	1.22	1.65
SO <sub>2</sub>	1.24*	1.13	1.36	1.21*	1.06	1.38	0.88	0.77	1.00	1.52*	1.21	1.92
NO <sub>2</sub>	1.27*	1.16	1.38	1.30*	1.15	1.48	0.87	0.76	1.00	1.39*	1.11	1.74
Three pollutant model												
TSP	1.27*	1.10	1.46	1.31*	1.07	1.60	1.02	0.82	1.29	1.57*	1.12	2.21
SO <sub>2</sub>	0.85	0.70	1.04	0.77	0.58	1.04	0.90	0.66	1.23	0.81	0.49	1.35
NO <sub>2</sub>	1.14*	1.02	1.27	1.20*	1.03	1.40	0.91	0.77	1.08	1.10	0.84	1.45

Single and three pollutant models adjusted for personal and household factors with asterisks in Table 2.

OR is scaled to the interquartile range for each pollutant as follows: 172 µg/m<sup>3</sup> of TSP, 69 µg/m<sup>3</sup> of SO<sub>2</sub>, 30 µg/m<sup>3</sup> of NO<sub>2</sub>.

\**p* < 0.05.

future. We confirmed the strong harmful effects of passive tobacco smoke, especially for mother smoking. Consistent with the findings in a recent study in four Chinese cities,<sup>12</sup> we could not find significantly increased ORs for indoor coal use, which maybe related to the dramatically decreased level and frequency of indoor coal smoke exposure over the past decade. The increased ORs of close proximity of houses or classrooms to main roads or chimneys/factories for various respiratory symptoms suggest the harmful effects of local and/or traffic air pollution.

The significantly increased ORs of persistent cough, persistent phlegm and current asthma for each interquartile increment of TSP, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in single model analyses, both for overall and within-city ORs, confirmed the similar positive associations found in several one-city studies in China, such as Whuan,<sup>5</sup> Lanzhou,<sup>6</sup> Beijing<sup>7</sup> and Shenyang.<sup>8</sup> The prevalence of persistent cough,<sup>5-8</sup> persistent phlegm,<sup>5-8</sup> wheeze,<sup>6-8</sup> and asthma<sup>7,8</sup> were significantly elevated in the heavily air polluted areas compared with that in the control areas within each city. A recent one-city study could not observe significant associations between the levels of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> and increased ORs of

wheeze and asthma in Taiyuan.<sup>9</sup> Although we could not find significantly increased ORs for wheeze as other respiratory symptoms, we did find significantly increased wheeze prevalence among atopic children (data not shown). By selecting 18 districts from 6 cities, we have observed the larger effects of the wider between-city air gradient than the narrow range of within-city, and demonstrated the characteristics of the overall harmful effects which could not have been evaluated in one-city studies.

Several multi-city studies have reported positive associations between these air pollutants and the prevalence of a number of respiratory symptoms. The Harvard Six Cities Study found TSP was positively associated with the morbidity of cough or persistent cough, bronchitis, chest illness, wheeze, lower respiratory diseases.<sup>31,32</sup> A Slovakian study has also found that the prevalence of non-asthmatic symptoms and hospitalization was associated with elevated TSP.<sup>33</sup> A study involving 4 areas of East Germany and 2 areas of West Germany found the higher prevalence of non-allergic respiratory illness in East German children was associated with TSP and SO<sub>2</sub>, the sharp decline in TSP and SO<sub>2</sub> in East Germany was mirrored by similar reductions

**Table 6** Between and within-city modeled ORs, scaled to interquartile range of concentration for each air pollutants.

Pollutant	TSP				SO <sub>2</sub>				NO <sub>2</sub>									
	Between		Within		Between		Within		Between		Within							
	OR	95%CI	OR	95%CI	OR	95%CI	OR	95%CI	OR	95%CI	OR	95%CI						
Single pollutant model																		
Persistent cough	1.23*	1.14	1.33	1.15*	1.02	1.31	1.25*	1.14	1.37	1.14	0.81	1.59	1.27*	1.14	1.41	1.33*	1.14	1.55
Persistent phlegm	1.22*	1.10	1.36	1.15	0.96	1.38	1.23*	1.07	1.40	1.04	0.64	1.68	1.33*	1.14	1.55	1.23	0.97	1.57
Current wheeze	1.03	0.94	1.13	1.09	0.93	1.28	1.05	0.93	1.18	0.72	0.47	1.08	0.91	0.8	1.04	1.22	0.98	1.51
Current asthma	1.46*	1.21	1.77	1.40*	1.04	1.88	1.61*	1.27	2.05	0.94	0.41	2.18	1.56*	1.19	2.04	1.19	0.78	1.81
Three pollutant model																		
Persistent cough	2.39*	1.62	3.54	1.23	0.96	1.32	0.41*	0.26	0.67	0.64	0.39	1.05	1.07	0.93	1.22	1.34*	1.07	1.69
Persistent phlegm	2.81*	1.59	4.96	1.77	0.94	1.48	0.32*	0.16	0.64	0.54	0.26	1.09	1.14	0.94	1.39	1.34	0.97	1.85
Current wheeze	0.96	0.6	1.54	1.14	0.92	1.4	1.19	0.67	2.12	0.31*	0.17	0.56	0.84	0.71	0.99	1.65*	1.22	2.22
Current asthma	1.52	0.56	4.41	1.65*	1.13	2.4	0.56	0.25	2.9	0.33	0.10	1.09	1.23	0.89	1.71	1.94	0.64	2.24

\**p* < 0.05.



in the prevalence of non-allergic, but not allergic symptoms.<sup>21–23</sup> A four-city study in south and west China found significantly increased prevalence of persistent cough (OR = 1.35, 95%CI = 1.02–1.79), persistent phlegm (OR = 2.52, 95%CI = 1.91–3.21), as well as non-significantly increased prevalence for wheeze (OR = 1.28, 95% CI = 0.83–1.99) and asthma (OR = 1.32, 95% CI = 0.75–1.41) for each interquartile increment of TSP (263  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), only weakly positive associations between  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  and the respiratory symptoms.<sup>12</sup> The status of air pollution and respiratory diseases of the present study was similar to that of East Germany<sup>21,22</sup> and the four cities in China,<sup>12</sup> all the positive findings (overall, between-city and within-city) supported the casual relationships between air pollutants and non-allergic symptoms, especially for particulate materials. The low prevalence of asthma observed in the six cities, and other cities in China<sup>12</sup> and East Germany<sup>23–25</sup> despite high level of air pollutants, argues against that air pollutants contribute to the initial development of asthma. We believe that the significant positive associations between air pollutants and asthma, as well as wheeze in atopic children, reflect their triggering effects, rather than a direct causal link between asthma prevalence and air pollutants.<sup>34,35</sup>

The strong or moderate correlations between TSP and  $\text{SO}_2$  ( $r = 0.889$ ,  $p < 0.01$ ), TSP and  $\text{NO}_2$  ( $r = 0.606$ ,  $p < 0.01$ ),  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  ( $r = 0.577$ ,  $p = 0.012$ ) make it difficult to distinguish the effects of individual air pollutant. The increased ORs for TSP and decreased ORs for  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  in multi-pollutant models may reflect the dominated influence of the particulate material pollution in the 'coal smoke' style air pollution in the six cities.<sup>2,36</sup> Rather than being itself responsible for the increased risks of respiratory symptoms, TSP maybe operating as the best surrogates of the mixed air pollutants in this context. The significantly decreased ORs for  $\text{SO}_2$  could be caused by the limited effectiveness of multi-pollutant regression models in controlling for confounding by copollutants.<sup>37</sup>

This cross-sectional study has known limitations with regard to etiological research, could not establish a temporal relationship between exposure and outcome.

The study confirmed the between-city and within-city harmful effects of the high level outdoor air pollution on children's respiratory health in north China. Accumulating rates of female smoking, childhood obesity, pet raising, and traffic air pollution tend to increase the incidence of various respiratory symptoms.

## Acknowledgements

The authors thank the schoolmasters, school teachers and parents of school children for their cooperation and support. We thank Junfeng Zhang and Wei Hu for their technical support in the 2-stage regression analysis.

## Research Funding

Grant 2001229001 from Liaoning Provincial Department of Science and Technology.

## Conflict of interest

We hereby declare that there were no conflicts of interest involved in the conduct of this study.

## Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at doi:10.1016/j.rmed.2010.07.018.

## References

1. Aunan K, Pan XC. Exposure-response functions for health effects of ambient air pollution applicable for China – a meta-analysis. *Sci Total Environ* 2004;329(1–3):3–16.
2. Chen B, Hong C, Kan H. Exposures and health outcomes from outdoor air pollutants in China. *Toxicology* 2004;198(1–3):291–300.
3. Millman A, Tang D, Perera FP. Air pollution threatens the health of children in China. *Pediatrics* 2008;122(3):620–8.
4. Qian Z, Zhang J, Wei F, Wilson WE, Chapman RS. Long-term ambient air pollution levels in four Chinese cities: inter-city and intra-city exposure gradients for epidemiologic studies. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 2001;11:341–51.
5. Kong LL, He QC, Xu F, Xu KY, Guo H. Study on the effects of indoor and outdoor air pollution on the respiratory system of school-age children. *Environ Monit China* 2001;17(7):43–8 [in Chinese].
6. Tian QX, Zhou LZ, Wang R, Tian ZM. The study about influences of the air pollution on the respiratory system health of the children and their parents in Lanzhou. *Environ Monit China* 2001;17(7):48–51 [in Chinese].
7. Wang SL, Guo XB, Zhang JL. Study on the effect of ambient air pollution on respiratory disease and symptoms among school-age children in Beijing. *J Environ Health* 2004;21(1):41–4 [in Chinese].
8. Ye LJ, Sun WJ, Yu Wang. Study on the influence of air pollution inside door or outside door on the health of the school children. *Mad Prev Med* 2007;34(24):4686–7 [in Chinese].
9. Zhao Z, Zhang Z, Wang Z, Ferm M, Liang Y, Norbäck D. Asthmatic symptoms among pupils in relation to winter indoor and outdoor air pollution in schools in Taiyuan, China. *Environ Health Perspect* 2008;116(1):90–7.
10. Kasamatsu J, Shima M, Yamazaki S, Tamura K, Sun GF. Effects of winter air pollution on pulmonary function of school children in Shenyang, China. *Int J Hyg Environ Health* 2006;209(5):435–44.
11. Kagawa Jun, Nohara Michiko, Pan GW, Qu CY, Yang ZM. Comparison of respiratory symptoms between schoolchildren in China and Japan. *Allergol Int* 2001;50(4):303–9.
12. Zhang JJ, Hu W, Wei F, Wu G, Korn LR, Chapman RS. Children's respiratory morbidity prevalence in relation to air pollution in four Chinese cities. *Environ Health Perspect* 2002;110(9):961–7.
13. Xu Z, Yu D, Jing L, Xu X. Air pollution and daily mortality in Shenyang, China. *Arch Environ Health* 2000;55(2):115–20.
14. Wilson D, Takahashi K, Pan GW, Chan CC, Zhang SJ, Feng YP, et al. Respiratory symptoms among residents of a heavy-industry province in China: prevalence and risk factors. *Respir Med* 2008;102(11):1536–44.
15. Yu F, Guo XM, Zhang RX, Pan XC, Zhao Y, Wang JN, et al. The assessment of economic loss induced by the health hazard

- caused by air pollution in China. *J Environ Health* 2007;24(12):999–1003 [in Chinese].
16. Ferris Jr BG. Epidemiology standardization project (American Thoracic Society). *Am Rev Respir Dis* 1978;118:7–53.
  17. Nishima S, Chisaka H, Fujiwara T, Furusho K, Hayashi S, Hiraba K, et al. Surveys on the prevalence of pediatric bronchial asthma in Japan: a comparison between the 1982, 1992, and 2002 surveys conducted in the same region using the same methodology. *Allergol Int* 2009 Mar;58(1):37–53.
  18. Braun-Fahrländer C, Vuille JC, Sennhauser FH, Neu U, Kunzle T, Grize L, et al. Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren: SCARPOL team: Swiss study on childhood allergy and respiratory symptoms with respect to air pollution, climate and pollen. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1042–9.
  19. Dockery DW, Cunningham J, Damokosh AI, Neas LM, Spengler JD, Koutrakis P, et al. Health effects of acid aerosols on north American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect* 1996;104:500–5.
  20. Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman WJ, Lurmann F, et al. A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution. I. Prevalence of respiratory morbidity. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:760–7.
  21. SEPA. *Ambient air quality standards of China. GB3095–1996*. State Environ Prot Adm China; 1996.
  22. WHO. WHO air quality guidelines global update 2005. Report on a Working group meeting. Bonn, Germany: World Health Organization
  23. Heinrich J, Hoelscher B, Wjst M, Ritz B, Cyrus J, Wichmann H, et al. Respiratory diseases and allergies in two polluted areas in east Germany. *Environ Health Perspect* 1999;107(1):53–62.
  24. Krämer U, Behrendt H, Dolgner R, Ranft U, Ring J, Willer H, et al. Airway diseases and allergies in east and west German children during the first 5 years after reunification: time trends and the impact of sulphur dioxide and total suspended particles. *Int J Epidemiol* 1999;1628(5):865–73.
  25. Weiland SK, von Mutius E, Hirsch T, Duhme H, Fritzsche C, Werner B, et al. Prevalence of respiratory and atopic disorders among children in the east and west of Germany five years after unification. *Eur Respir J* 1999;14(4):862–70.
  26. Chen YZ. National cooperation group on childhood asthma. A nationwide survey in China on prevalence of asthma in urban children. *Zhonghua Er Ke Za Zhi* 2003;41(2):123–7 [in Chinese].
  27. Isaac B. Worldwide variations in the prevalence of asthma symptoms: the international study of asthma and allergies in childhood. *Eur Respir J* 1998;12(2):315–35.
  28. Wong GW, Li ST, Hui DS, Fok TF, Zhong NS, Chen YZ, et al. Individual allergens as risk factors for asthma and bronchial hyperresponsiveness in Chinese children. *Eur Respir J* 2002;19(2):288–93.
  29. Fanucchi MV, Plopper CG. Pulmonary developmental responses to toxicants. In: *Comprehensive toxicology: toxicology of the respiratory system*. Oxford: Pergamon Press; 1997. p. 203–20.
  30. Hertz-Picciotto I, Baker RJ, Yap PS, Dostál M, Joad JP, Lipsett M, et al. Early childhood lower respiratory illness and air pollution. *Environ Health Perspect* 2007;115(10):1510–8.
  31. Ware JH, Ferris Jr BG, Dockery DW, Spengler JD, Stram DO, Speizer FE, et al. Effects of ambient sulfur oxides and suspended particles on respiratory health of preadolescent children. *Am Rev Respir Dis* 1986;133:834–42.
  32. Pikhart H, Bobak M, Kriz B, Danova J, Celko MA, Prikazsky V, et al. Outdoor air concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide and prevalence of wheezing in school children. *Epidemiology* 2000;11:153–60.
  33. Hrubá F, Fabianová E, Koppová K, Vandenberg JJ. Childhood respiratory symptoms, hospital admissions, and long-term exposure to airborne particulate matter. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001;11:33–40.
  34. Speizer FE. Asthma and persistent wheeze in the Harvard six cities study. *Chest* 1990;98(5 Suppl.):S191–5.
  35. Tatum AJ, Shapiro GG. The effects of outdoor air pollution and tobacco smoke on asthma. *Immunol Allergy Clin North Am* 2005;25(1):15–30.
  36. Du G, Zhang JX. Study on air pollution status and distribution characteristics of ambient particulate in typical cities of Liaoning province. *Modern Scientific Instruments* 2006;2:67–8 [in Chinese].
  37. Kim JY, Burnett RT, Neas L, Thurston GD, Schwartz J, Tolbert PE, et al. Panel discussion review: session two—interpretation of observed associations between multiple ambient air pollutants and health effects in epidemiologic analyses. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007;17(Suppl. 2):S83–9.



## Characterization of PM<sub>2.5</sub>, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models

KAZUHIKO ITO<sup>a</sup>, GEORGE D. THURSTON<sup>a</sup> AND ROBERT A. SILVERMAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*NYU School of Medicine, Nelson Institute of Environmental Medicine, Tuxedo, New York, USA*

<sup>b</sup>*Department of Emergency Medicine, Long Island Jewish Medical Center, New Hyde Park, New York, USA*

Associations of particulate matter (PM) and ozone with morbidity and mortality have been reported in many recent observational epidemiology studies. These studies often considered other gaseous co-pollutants also as potential confounders, including nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and carbon monoxide (CO). However, because each of these air pollutants can have different seasonal patterns and chemical interactions, the estimation and interpretation of each pollutant's individual risk estimates may not be straightforward. Multi-collinearity among the air pollution and weather variables also leaves the possibility of confounding and over- or under-fitting of meteorological variables, thereby potentially influencing the health effect estimates for the various pollutants in differing ways. To investigate these issues, we examined the temporal relationships among air pollution and weather variables in the context of air pollution health effects models. We compiled daily data for PM less than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>), ozone, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, temperature, dew point, relative humidity, wind speed, and barometric pressure for New York City for the years 1999–2002. We conducted several sets of analyses to characterize air pollution and weather data interactions, to assess different aspects of these data issues: (1) spatial/temporal variation of PM<sub>2.5</sub> and gaseous pollutants measured at multiple monitors; (2) temporal relationships among air pollution and weather variables; and (3) extent and nature of multi-collinearity of air pollution and weather variables in the context of health effects models. The air pollution variables showed a varying extent of intercorrelations with each other and with weather variables, and these correlations also varied across seasons. For example, NO<sub>2</sub> exhibited the strongest negative correlation with wind speed among the pollutants considered, while ozone's correlation with PM<sub>2.5</sub> changed signs across the seasons (positive in summer and negative in winter). The extent of multi-collinearity problems also varied across pollutants and choice of health effects models commonly used in the literature. These results indicate that the health effects regression need to be run by season for some pollutants to provide the most meaningful results. We also find that model choice and interpretation needs to take into consideration the varying pollutant concurrencies with the model co-variables in each pollutant's health effects model specification. Finally, we provide an example for analysis of associations between these air pollutants and asthma emergency department visits in New York City, which evaluate the relationship between the various pollutants' risk estimates and their respective concurrencies, and discuss the limitations that these results imply about the interpretability of multi-pollutant health effects models.

*Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* (2007) 17, S45–S60; doi:10.1038/sj.jes.7500627

**Keywords:** *particulate matter, nitrogen dioxide, weather, health effects.*

### Introduction

A large number of studies have examined the short-term associations between air pollution and morbidity and mortality outcomes, but a surge in the increasing number of these studies has occurred over the last two decades. The most common study design is time-series analysis, comparing day-to-day fluctuations of community average air pollution and corresponding fluctuations in the daily citywide aggregate counts of morbidity or mortality, while adjusting for temporal trends and weather effects. The basic modeling concept goes back to several studies conducted in London,

England in the 1950s and 1960s (e.g., Scott, 1958; Martin and Bradley, 1960) in which attempts were made to quantitatively link particulate matter (PM), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and daily deaths, adjusting for temporal trends. Several studies also reported associations between PM and mortality in the U.S. in the 1970s (e.g., Schimmel and Greenburg, 1972; Schimmel and Murawski, 1976; Schimmel, 1978), using increasingly more elaborate techniques. The 1980s brought a re-evaluation of the London data sets by several researchers to quantify the relationship between air pollution and mortality (Ware et al., 1981; Mazumdar et al., 1982; Shumway et al., 1983; Schwartz and Marcus, 1986; Thurston et al., 1989). Most of the above studies focused on PM and SO<sub>2</sub>, the "classic" primary air pollution products of coal burning. In addition to the main objective of quantifying the exposure–response relationships, the relative importance of PM and SO<sub>2</sub> was often examined in these studies.

The surge in the number of time-series studies in the 1990s appears to have started with a series of reported associations

1. Address all correspondence to: Dr. K. Ito, NYU School of Medicine, Environmental Medicine, 57 Old Forge Road, Tuxedo, New York 10987, USA.

Tel.: +1 845 731 3540. Fax: +1 845 351 5472.

E-mail: kaz@env.med.nyu.edu

Received 12 September 2007; accepted 13 September 2007



between daily morbidity/mortality and PM whose levels were mostly well below the ambient air quality standard (Pope, 1989; Fairley, 1990; Dockery et al., 1992; Pope et al., 1992; Schwartz and Dockery, 1992a, b). The PM controversy (Utell and Samet, 1993) led to more analyses and increased funding for PM research. Many of the respiratory morbidity studies whose main interest was the effects of summer haze air pollution, which includes ozone ( $O_3$ ) and secondary fine particles, also applied similar time-series concepts (e.g., Bates and Sizto, 1983, 1987; Thurston et al., 1994, 1997). However, an increasing number of studies expanded to examine other gaseous pollutants, with the rationale that they may be potential confounders in the PM-health effects association.

These analyses then expanded to consider multiple cities, to increase statistical power. Many of these year-round multi-city studies found that some of these gaseous pollutants were also significantly associated with morbidity and mortality. The Air Pollution and Health—A European Approach (APHEA) study reported positive and significant associations between mortality and  $NO_2$  (Touloumi et al., 1997), and a later report suggested that PM mortality risk estimates were higher in cities where  $NO_2$  levels were higher (Katsouyanni et al., 2001). A systematic time-series analysis of the largest 90 U.S. cities (Samet et al., 2000; Dominici et al., 2003) found that PM was associated with mortality, but their results also showed that other gaseous pollutants were also associated with mortality in single-pollutant models, although less consistently than PM. A meta-analysis of PM and gaseous pollutants also showed that PM,  $NO_2$ , CO, and  $SO_2$ , all showed a positive and significant mortality risk estimates (Stieb et al., 2002, 2003). Burnett et al.'s (2004) analysis of 12 Canadian cities also suggested that  $NO_2$  was most consistently associated with mortality. Since many of these pollutants come from the same sources (e.g., traffic and other combustion sources) and day-to-day fluctuations of air pollution are strongly influenced by weather conditions, it is not surprising that these air pollutants are temporally correlated and that the collinearity possibly leads to conflicting associations.

Despite the statistical power advantages of the multi-year and multi-city studies, the challenge of choosing the most appropriate model specification remains, and is potentially worsened by the fact that the population make up and pollutant-meteorological interactions may vary from city to city, and season to season. The difficulty in interpreting each individual pollutant's risk estimate is also that it is often not clear as to what extent each gaseous pollutant's risk estimate represents its own effects or whether the pollutant in question acts as a surrogate marker of PM sources. For example, the presence of high  $NO_2$  levels is likely also associated with periods of elevated impacts of PM from motor vehicles. Most studies analyze each of the multiple pollutants in the same health effects regression model as if each pollutant's risk

estimate represents its own (chemical entity's) independent effect, but each pollutant's correlation with other covariates in the regression model (e.g., temporal trends, weather variables, day of week) is expected to be different from other pollutants'. Therefore, the optimal extent of model "adjustment" applied is likely to vary from pollutant to pollutant, city to city, and season to season, depending upon the interactions that are occurring among the base model (i.e., the model without a pollutant included) meteorological and seasonal "controlling" terms and the particular pollutant(s) under consideration. The correlation among air pollution and weather variables can also vary across seasons, and thus the correlation matrix (and regression) for the year-round data may be misleading. Furthermore, the measurement error associated with each of the pollutants in representing the city's population exposure may vary across pollutants and between seasons. Therefore, the aim of this study was to systematically investigate the influences of the temporal relationships among the air pollution and weather variables beyond the usual extent of consideration given in most time-series epidemiological literature, and including all of the criteria air pollutants ( $PM_{2.5}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , and CO). In addition, we provide an example analysis of health outcome data (asthma emergency department (ED) visits) using these air pollutants, and discuss the relationship between the results from the above analysis and the pollutants' corresponding risk estimates in New York City.

## Methods

### Data

The data from all the air quality monitors within a 20-mile radius from the geographic center of New York City were obtained, and the average of multiple monitors were computed for each day. We retrieved all the relevant air pollution variables from the EPA's Air Quality System (AQS): PM less than  $2.5 \mu m$  ( $PM_{2.5}$ ), collected by the 24-h filter samples using the Federal Reference Method (FRM),  $PM_{2.5}$ , and  $PM_{10}$  data measured by the tapered element oscillating microbalance (TEOM) procedure, ozone ( $O_3$ ), nitrogen dioxide ( $NO_2$ ), sulfur dioxide ( $SO_2$ ), and carbon monoxide (CO). There were 17 ozone monitors with this inclusion criterion, but the data from a monitor at the top of the World Trade Center was excluded because of its height (it read higher readings than the nearby monitors on the ground level), and because the site was destroyed during the attack on 9/11/01. There were 30 monitors for the FRM  $PM_{2.5}$ , 24 monitors for TEOM  $PM_{2.5}$ , 18 monitors for CO, 15 monitors for  $NO_2$ , and 19 monitors for  $SO_2$ . The average values across the monitors were then computed for further analyses.

$PM_{2.5}$  data were available from 1999; therefore, we evaluated the influence of  $PM_{2.5}$  and other co-pollutants



for the years 1999–2002. Hourly readings were available for the gaseous pollutants and the TEOM PM data. We computed the daily summary exposure index for each pollutant based on the averaging time used for the National Ambient Air Quality Standard (NAAQS). Thus, 24-h average values were computed for TEOM PM<sub>2.5</sub> (FRM PM<sub>2.5</sub> was available as a 24-h average), NO<sub>2</sub> (there is no daily NAAQS for NO<sub>2</sub>), and SO<sub>2</sub>. The daily maximum of the 8-h average values were computed for O<sub>3</sub> and CO.

We retrieved and analyzed the daily 24-h average temperature, dew point, maximum relative humidity, resultant wind speed, and barometric pressure from La Guardia airport using EarthInfo (Boulder, Colorado, USA), which compiled the First Order Summary of the Day data from the National Climatic Data Center.

The asthma ED visits data considered here were obtained from the 11 New York City Health and Hospitals Corporation medical centers with emergency receiving facilities. These hospitals are municipally run and serve a largely poor and minority population located within the five boroughs of New York City. The asthma ED visits for all ages were considered in this analysis. More details of the asthma ED visits data set can be found in Silverman et al. (2005).

#### Data Analysis

We conducted several sets of analyses to characterize the interactions among the air pollution and weather variables, and to describe these interactions' effects on the modeling of time-series analysis of health effects outcomes. The three sets of data interaction analyses were as follows: (1) spatial/temporal variation of PM<sub>2.5</sub> and gaseous pollutants measured at multiple monitors; (2) temporal relationships among air pollution and weather variables; and (3) extent and nature of the multi-collinearity of the air pollution and weather variables in the context of health effects models. Our primary objectives were (2) and (3), but (1) affects the interpretation of (2) and (3). In addition, we present an example analysis of asthma ED visits data using these air pollution variables.

#### Spatial/Temporal Error of PM<sub>2.5</sub> and Gaseous Pollutants Measured at Multiple Monitors

There are several types of exposure errors associated in the time-series air pollution data in representing the population exposure of the city in question, including (1) analytical (chemical/physical) measurement errors; (2) discrepancy between personal exposures and ambient concentrations; and (3) error in a community monitor's ability to represent the population exposure of the city. The first type of error is generally considered small, provided that the concentration levels are well above the detection limits (which is usually the case for PM<sub>2.5</sub> and gaseous pollutants, but not as usually the case for many of PM<sub>2.5</sub> chemical species). The second type of error has been characterized for PM in several personal exposure

studies (e.g., Liou et al., 1990; Janssen et al., 1998, 1999) and less frequently for gaseous pollutants in addition to PM<sub>2.5</sub> (Sarnat et al., 2001, 2005). These studies generally find that, while personal levels of air pollution differ between personal vs. central site monitors, the population mean of the personal exposures correlate well with the central site monitor over time, causing this source of error to be relatively small in the population-based time-series studies considered here. The third type of error, which may be called ecologic-level exposure error, has to do with the spatial/temporal uniformity of temporal fluctuations of air pollution. A few past studies have previously examined this type of error (e.g., Ito et al., 2001, 2005; Pinto et al., 2004). Examining the variability and effects of this ecologic-level exposure error across pollutants and models is the primary focus of this analysis.

There are two aspects of this ecologic-level error: (1) errors in correlation of temporal fluctuations at multiple locations within the city (i.e., the extent to which the correlation coefficient,  $r$ , between data from different sites over time is less than 1.0) and (2) the difference in absolute concentration levels of pollutants across the city. In the first case, if temporal fluctuations of an air pollutant measured at multiple locations are not highly correlated with each other, that is indicative of an ecologic-level error of that air pollutant, and the relationship between the data from a central-site community monitor (or the average of a few monitors) for such an air pollutant with health outcomes would be biased toward null. In the second case, a difference in the absolute concentration levels of an air pollutant across the city does not necessarily affect the strength of association between that pollutant and the health outcome, but the slope (risk estimate) can still be biased if the average level of the monitor's data is lower (which would result in a positive bias) or higher (a negative bias) relative to the true citywide average.

We estimate each of these two ecological error terms for each pollutant in the case of New York City. We compute the first term by calculating the monitor-to-monitor temporal correlations from multiple monitors for each pollutant considered. Since the correlation of two time series can be heavily influenced by trends and seasonal cycles, and since such trends are routinely "controlled for" in health effects regression models, we computed the monitor-to-monitor temporal correlation after removing the temporal trends from each series using the Generalized Additive Model (GAM) (note that there is only one smoothing term in the model, which should not result in biased results) and smoothing splines with 8 d.f. per year. Although there are at least 15 monitors available for each of the pollutants, and their sampling periods did not always overlap. Therefore, we computed temporal correlation only when at least 60 overlapping observations were available in each pair of monitors. To estimate the second aspect of ecologic error, we



computed the coefficient of variation (CV) of the average values across monitors.

**Temporal Relationships among Air Pollution and Weather Variables** To characterize the temporal relationships among air pollution and weather variables, we computed the cross-correlation function (CCF) (correlation with lags) for each variable considered. For air pollution variables, we used the average of multiple monitors as the input to the CCF. These cross-correlations can indicate the sequence of temporal fluctuations (i.e., which variable leads the other in time). Again, the correlation between the two time series can be strongly influenced by shared trends and seasonal cycles. Therefore, to remove the influence of these temporal patterns and to focus on the short-term relationships between the variables, each of the weather and air pollution time series was first pre-filtered in the GAM using smoothing splines function with 8 d.f. per year prior to computation of CCF. Also, since the lag-structure of CCF in the short-term span (e.g., days) can also be influenced by each series' day-of-week pattern, we also removed this trend by including day-of-week indicator variables in the same data filtering GAM. Furthermore, since relationships among the weather and air pollution variables can change across seasons, the CCF was computed in a series of 12 3-month blocks centered on each month of the year, and pooled for the entire 4-year study period.

**Extent and Nature of Multi-Collinearity of the NYC Air Pollution and Weather Variables** To characterize the extent and nature of the multi-collinearity in the context of current air pollution short-term health effects studies, we computed the variables' concurvity (i.e., the nonlinear analogue of multi-collinearity) using the regression models similar to those used in the time-series air pollution literature. Concurvity was computed by regressing each of the air pollution variables on the same covariates usually used in the health effects regression models, except that the Gaussian model was used rather than the Poisson model (used for counts), and the extent of concurvity was expressed as the correlation between the original series and the predicted series from the regression, as has been carried out previously in other studies (Dominici et al., 2002; Ramsay et al., 2003). Because we were interested in which of the meteorological or seasonal covariate(s) were correlated with each of the air pollutants, we computed concurvity in sets of building models that included one added term with each new model, as follows: (1) adjustment term for temporal trends; (2) model (1) plus weather terms; (3) model (2) plus day-of-week indicators; (4) model (3) plus one of the other pollutants, and so on. On the basis of the fact that the majority of the reviewed pollution health effects studies showed associations between today's health with 0- or 1-day lagged pollution concentrations (i.e., same day or day before pollution), we

included the average of 0- and 1-day lagged pollution indices in this analysis. To adjust for seasonal cycles and other temporal trends, we included a smoothing function of days using natural splines with 8 d.f. per year as a base model and, as a sensitivity analysis, we also used 4 and 16 d.f. per year for comparison. This range covers the extent of temporal smoothing used in most past published time-series health effects studies.

On the basis of the types of weather models most commonly used in the published literature, we considered three alternative weather models: (A) two smoothing terms including: (i) one with natural splines of same-day temperature (d.f. = 3) and (ii) another with natural splines of same-day dew point (d.f. = 3) (i.e., a model similar to that used in Schwartz et al., 1996; Klemm et al., 2000; Schwartz, 2003; Klemm and Mason, 2003); (B) four smoothing terms, including: (i) natural splines of same-day temperature (d.f. = 6), (ii) natural splines of the average of lag 1 through 3-day temperature (d.f. = 6), (iii) natural splines of same-day dew point (d.f. = 3), and (iv) natural splines of the average of lag 1 through 3 day dew point (d.f. = 3) (i.e., similar to the model used in Samet et al., 2000; Dominici et al., 2003, 2006; Bell et al., 2004), and; (C) a more parsimonious version of model (B) that has (i) natural splines of same-day temperature (d.f. = 3) and (ii) natural splines of the average of lag 1 through 3 day temperature (d.f. = 3). The model (C) did not include dew point, because dew point was so highly correlated with temperature in this data set ( $r = 0.93$ ), which may lead to unstable fits if placed in the model simultaneously with temperature when they are so highly correlated. Since the relationships among the weather and air pollutants are expected to change across seasons, the above analysis was repeated for both the warm season (April through September) and the cold season (October through March).

For the analysis of asthma ED visits data, we used a Poisson's Generalized Linear Model to estimate the impact of ozone on the asthma ED visits while adjusting for the effects of temporal trends, day-of-week, weather, and accommodating over-dispersion of the ED visit series. We used the same three weather models as those used in the concurvity analysis above. We analyzed the data for all year, warm months and cold months, but to avoid the influence of the fall peaks in asthma ED visits (Silverman et al., 2005), we excluded September and October. To adjust for temporal trends, we used natural splines with 8 and 4 d.f. per season (warm and cold months). As in the concurvity analysis above, the average of 0- and 1-day lag pollution was included in the model. Single- and two-pollutant models were examined.

## Results

Table 1 shows the distribution of air pollution variables for the all-year, warm seasons, and cold seasons, respectively.



Seasonal contrasts are clear for O<sub>3</sub> (higher in the warm season) and SO<sub>2</sub> (higher in the cold season). Figure 1 presents the raw data time-series plots of each of the air pollution variables. Note that all the pollutants show some extent of seasonality, except for NO<sub>2</sub>, which shows white noise-like fluctuations around the mean of approximately 30 p.p.b. CO exhibits a declining trend during the 4-year period.

#### *Spatial/temporal Variation of PM<sub>2.5</sub> and Gaseous Pollutants Measured at Multiple Monitors*

Figure 2 presents the paired monitor-to-monitor correlation vs. corresponding separation distance for each of the air pollutants as a function of separation distance between the sites. PM<sub>2.5</sub> (FRM and TEOM) monitors showed the highest monitor-to-monitor correlation, followed by NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. SO<sub>2</sub> and CO generally showed poorer correlation. Table 2 shows median values of these correlations as well as the CV of the monitors' mean values (i.e., within-city variation of the mean). Again, PM<sub>2.5</sub> (FRM and TEOM) monitors showed the smallest spatial variation (~10%) in the mean levels across the monitors, followed by NO<sub>2</sub> (17%) and O<sub>3</sub> (19%). In contrast, SO<sub>2</sub> and CO had much larger spatial variation (36%) of the mean values. Since the FRM PM<sub>2.5</sub> and TEOM PM<sub>2.5</sub> are highly correlated ( $r=0.92$ ), the following analyses will only examine FRM PM<sub>2.5</sub>.

**Table 1.** Distribution of air pollution variables in NYC 1999–2002, all year (first row for each pollutant), warm months (second row, April–September), and cold season (third row, October–March).

	N	Mean	SD	5%	25%	50%	75%	95%
PM <sub>2.5</sub>	1297	15.1	8.9	5	9	13	19	32
FRM	732	17.5	9.9	7	11	15	22	38
(mg/m <sup>3</sup> )	652	15	8.5	5	9	13	19	31
PM <sub>2.5</sub>	1460	15.7	8.4	7	10	14	19	32
TEOM	732	17.5	9.9	7	11	15	22	38
(μg/m <sup>3</sup> )	728	14	6.1	7	10	12	17	26
NO <sub>2</sub>	1460	31.1	8.7	18	25	30	37	47
(p.p.b.)	732	30.4	8.8	17	24	30	36	47
	728	31.8	8.6	19	26	31	37	48
O <sub>3</sub>	1460	30.4	19	6	16	27	41	68
(p.p.b.)	732	42.7	18.2	18	30	40	52	77
	728	18	9.2	4	11	17	24	33
SO <sub>2</sub>	1460	7.8	4.6	3	5	7	10	17
(p.p.b.)	732	5.4	2.2	3	4	5	7	10
	728	10.2	5.1	4	6	9	13	19
CO	1460	1.31	0.43	0.77	1.02	1.23	1.52	2.11
(p.p.m.)	732	1.22	0.32	0.75	1	1.19	1.39	1.82
	728	1.41	0.5	0.78	1.04	1.31	1.67	2.33

#### *Temporal Relationships Among Air Pollution and Weather Variables*

Because of the large number of CCF results, we have shown them here only as figures. Also, because the pattern of results for SO<sub>2</sub> and CO was similar to that for NO<sub>2</sub> but weaker, we show results for PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub> only.

Figure 3 shows the CCFs for wind speed vs. PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> showed the strongest negative associations with wind speed year-round, whereas PM<sub>2.5</sub>'s negative associations with wind speed are weaker during warm seasons, likely due to the domination of transported secondary sulfate, which is regionally distributed and therefore less wind dependent. O<sub>3</sub>'s associations with wind speed changed signs across seasons. Note that, in these results, the strongest associations are on the same day, but the lag structure of associations is generally not symmetric (low wind speed tends to lead the air pollution).

Figure 4 shows the CCFs for temperature and air pollutants. The lag structure of associations is generally not symmetric. For PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub>, in cold seasons, colder temperature days result in higher air pollution levels a few days later in cold seasons, likely due to the setting up of a high-pressure cell over the NYC area in the days following the passage of a cold front. However, the higher NO<sub>2</sub> or PM<sub>2.5</sub> levels are also predictive of the following days' warmer temperature, likely due to the tendency for warmer southwest winds on the "back-side" of a high-pressure cell. O<sub>3</sub>'s association with temperature was positive in summer and negative in winter, suggesting different mechanisms for the temporal fluctuations of the ozone in the two different seasons. Figure 5 shows the CCFs for barometric pressure and air pollutants. Barometric pressure is positively associated with the following days PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub>, especially in colder seasons, consistent with the setting up of a high-pressure dome over the metropolitan area on those days.

Figure 6 shows the CCF's relationships between PM<sub>2.5</sub> vs. O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>. The lag structure of associations between PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> is generally symmetric, but the correlation is positive in the warm season and negative in the cold season. The association between PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> is strongest on the same day, but the lag structure of association is not symmetric—higher NO<sub>2</sub> levels are positively predictive of the following day's PM<sub>2.5</sub>. These results generally suggest that the correlation among air pollution and weather variables have varying lag structure of associations and the association can differ across pollutants and also change across seasons.

#### *Extent and Nature of Multi-Collinearity of the Air Pollution and Weather Variables*

Table 3 shows computed concurrency of air pollution variables using three alternative weather models and using d.f. = 8 per year for fitting temporal trends in the all-year data. Sensitivity analysis using 4 d.f. and 16 d.f. per year showed nearly identical results once the weather terms are included

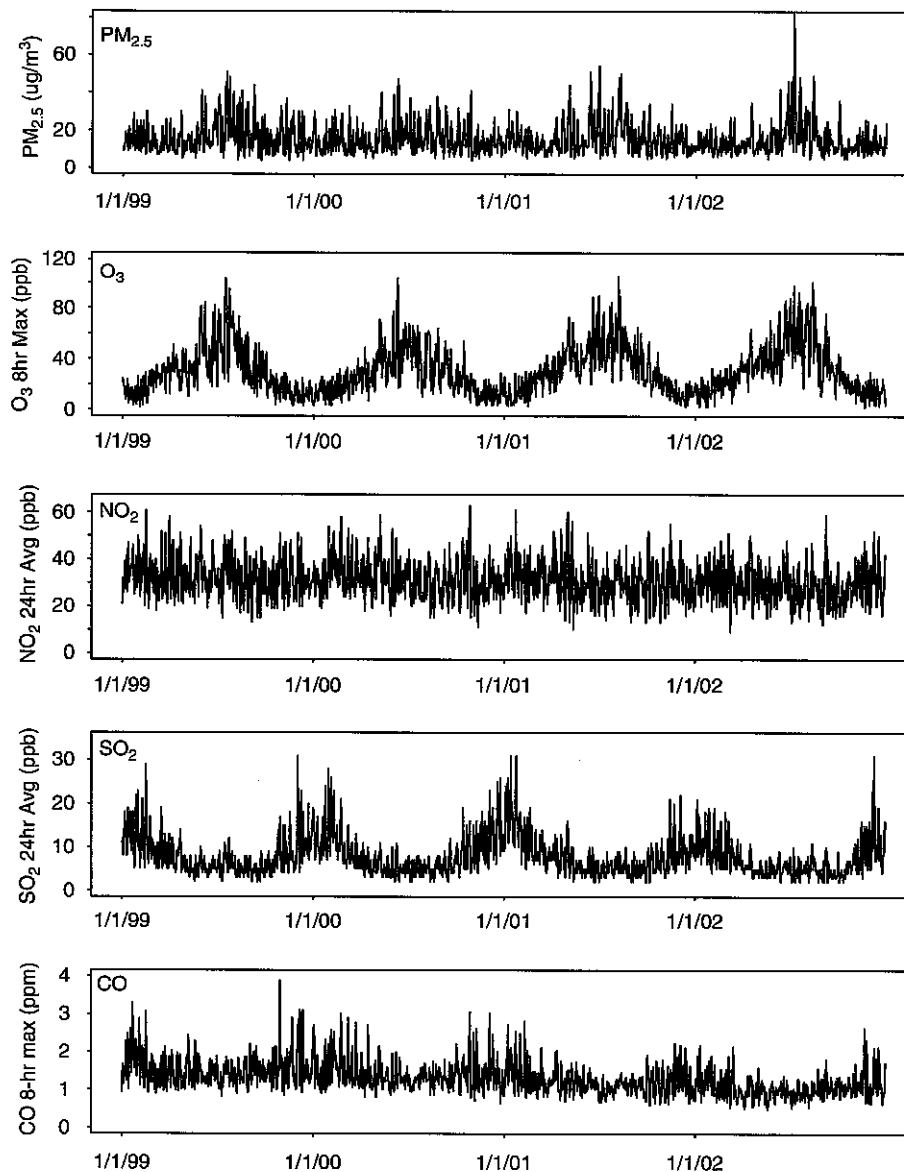


Figure 1. Time-series plots of air pollution variables in New York City, 1999–2002.

(likely because the weather terms have seasonal trends), and therefore not shown here.  $PM_{2.5}$  and  $NO_2$  showed the two lowest correlations with temporal trends.  $O_3$  showed the strongest association with temporal trends. When weather terms are added, concurrency increased substantially for  $PM_{2.5}$  and  $NO_2$ , but  $NO_2$  still showed the lowest concurrency of all the pollutants considered, indicating that it would be least affected by the co-presence of the temperature variables to the model. The inclusion of the day-of-week term increased concurrency slightly for  $NO_2$  and CO. Adding  $PM_{2.5}$  in the model increased concurrency problems for the gaseous pollutants, except  $O_3$ . Adding  $O_3$  did not change concurrency

for  $PM_{2.5}$  and other pollutants. The three alternative weather models showed very similar results, although the model B (the model that has the most number of terms and degrees of freedom) almost always showed the strongest concurrency problems among the three models. Thus, these analyses indicate that  $NO_2$  is most likely to be identified independent of the other pollutants in this city, and that the concurrency problems of all pollutants grow with the year-round model that most aggressively controls for seasonality and long-term trends.

The results for the warm (Table 4) and cold (Table 5) seasons showed generally similar patterns to those in the



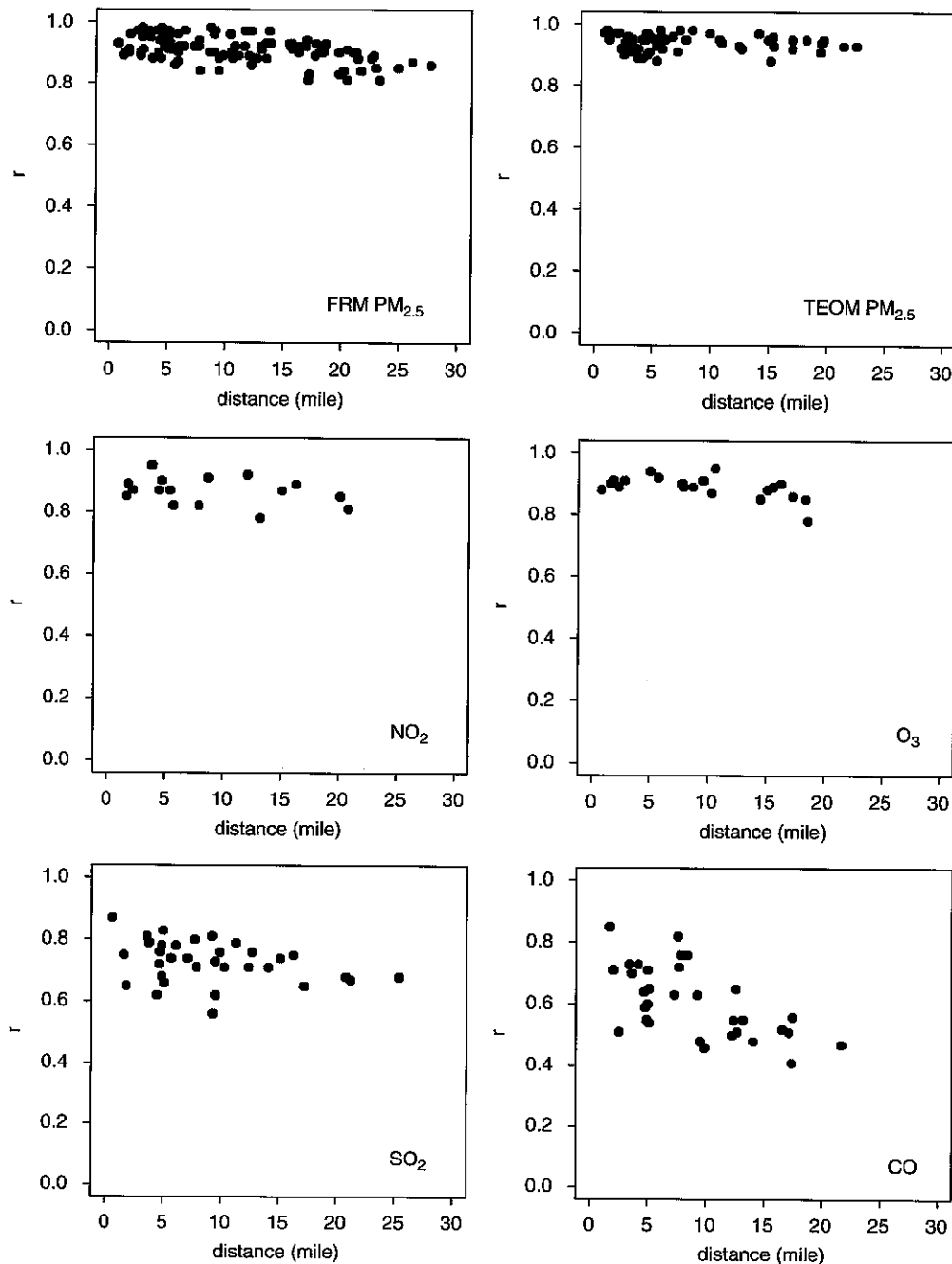


Figure 2. Monitor-to-monitor correlation and separation distance.

all-year data, but with a few notable exceptions. The extent of correlation with temporal trends is reduced for O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub>, as expected because these two pollutants showed the strongest seasonal cycles. PM<sub>2.5</sub>'s concurrency is larger in the warm season than in the all-year data, likely because PM<sub>2.5</sub> in the warm season in this locale is dominated with secondary sulfate, which positively correlates with temperature.

Interestingly, in contrast to the all-year and warm season results, adding O<sub>3</sub> increased concurrency problems for PM<sub>2.5</sub> and other gaseous pollutants in the cold season. Thus, the pollutant-pollutant and pollutant-weather interactions can vary by season, and concurrency problems are reduced by separately analyzing the seasons in this city, suggesting the need for season-specific analyses of health effects.



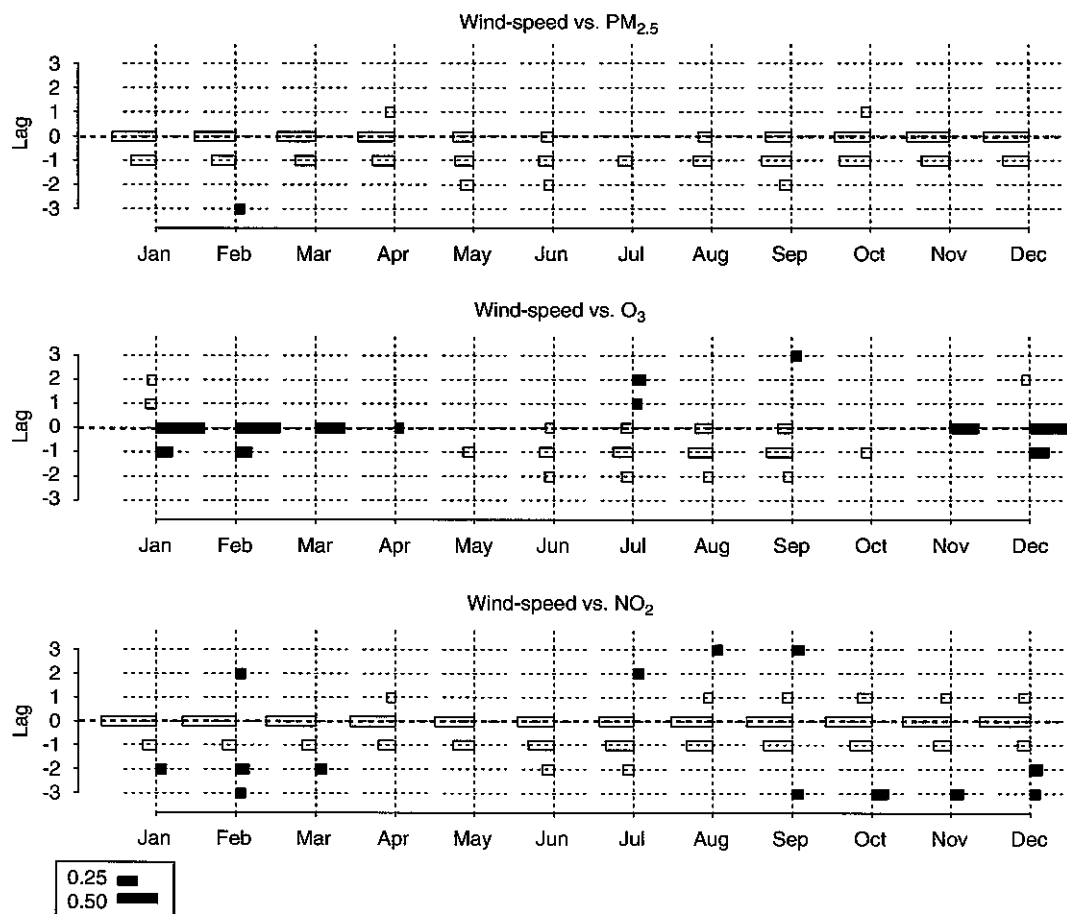
### An Example Analysis of Asthma ED Visits

Figure 7 shows results of asthma ED visits risk estimates per 5th to 95th percentile of air pollution increment in the single-pollutant models for all-year, warm months, and cold months.  $\text{NO}_2$  was generally the most significant (and the largest in effect size per the same distributional increment) predictor of asthma ED visits among these pollutants for

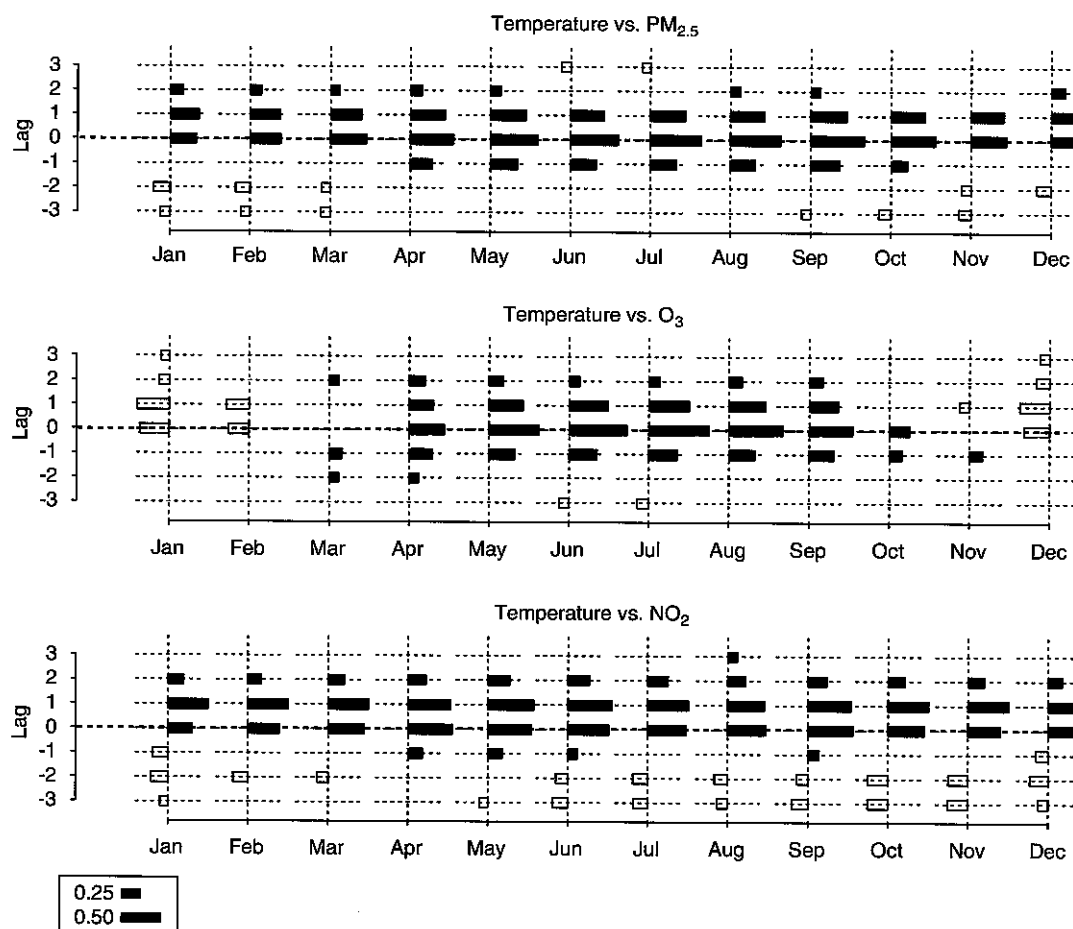
**Table 2.** Median monitor-to-monitor correlation and coefficient of variation (CV) of mean levels across multiple monitors.

	Median monitor-to-monitor correlation	CV of mean levels (%)
$\text{PM}_{2.5}$ FRM	0.91	11
$\text{PM}_{2.5}$ TEOM	0.95	8
$\text{NO}_2$	0.87	17
$\text{O}_3$	0.89	19
$\text{SO}_2$	0.74	36
CO	0.60	36

all-year and warm months (e.g., for Model C,  $\text{RR} = 1.14$  (95% CI: 1.09, 1.19) per 24 p.p.b. increase and 1.32 (95% CI: 1.23, 1.42) per 25 p.p.b. increase, respectively). However, it is important to examine this result in the context of corresponding pollutants' concurrency (see Tables 3–5).  $\text{NO}_2$  exhibited the lowest concurrency with the temporal trend plus weather terms among the pollutants in the all-year and warm months.  $\text{O}_3$ 's risk estimates in cold months are negative, but given the very low levels of  $\text{O}_3$  in cold months, it is unlikely that such associations are causal health effects. These associations may arise because of  $\text{O}_3$ 's negative associations with temperature or  $\text{PM}_{2.5}$  in cold months (see Figures 4 and 6). The three alternative weather models generally did not make substantial difference in risk estimates, except for  $\text{O}_3$  in all-year and warm months in which Model B resulted in much smaller risk estimates than those from Model A or C. This is not surprising because Model B adjusts for temperature more aggressively than Model A or C. Thus, these health effect results are consistent with the patterns found in the CCF and concurrency results.



**Figure 3.** Cross-correlation functions of wind speed vs. air pollutants. The correlation below the center line (lag 0) indicates that wind speed leads air pollution. Correlations  $< \pm 0.1$  are not shown.



**Figure 4.** Cross-correlation functions of temperature vs. air pollutants. The correlation below the centerline (lag 0) indicates that temperature leads air pollution. Correlations  $< \pm 0.1$  are not shown.

Figure 8 shows two-pollutant model results for warm months using Model C.  $\text{NO}_2$ 's risk estimates were most robust to the addition of other pollutants in the model, and the addition of  $\text{NO}_2$  reduced other pollutants' risk estimates most consistently. CO and  $\text{SO}_2$ 's associations with asthma ED visits (RR = 1.15 (95% CI: 1.07, 1.25) per 1.3 p.p.m. increase and 1.20 (95% CI: 1.13, 1.28) per 6 p.p.b. increase, respectively) were "eliminated" once  $\text{NO}_2$  was included in the model, which is consistent with the result of monitor-to-monitor correlations, suggesting that  $\text{NO}_2$  has less exposure error than CO or  $\text{SO}_2$  in this data set. We do caution that these differences may also reflect the corresponding differences in toxicity, but it is impossible to differentiate such factors in multi-pollutant models.

## Discussion

This analysis examined three issues that affect interpretations of short-term health-risk estimates for multiple air pollutants:

- (1) ecologic error associated with  $\text{PM}_{2.5}$  and gaseous pollutants in representing a city's population exposure;
- (2) lag structure of temporal correlation among air pollution and weather variables; and
- (3) multi-collinearity of the  $\text{PM}_{2.5}$  and gaseous pollutants in the prevailing health effects model specifications. These issues are typically not described or investigated in detail in most of time-series studies in the literature, but nevertheless, are important in interpreting, and especially in inter-comparing, individual pollutant health effect estimates from multi-pollution exposures. We found that, in this locale,  $\text{PM}_{2.5}$  showed the best characteristics, on an ecologic-level, in representing the citywide population exposures in terms of high monitor-to-monitor correlation ( $r > 0.9$ ) and high precision ( $\text{CV} \sim 10\%$ ) of the mean levels within the city.  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_3$  also showed high monitor-to-monitor correlation ( $r \sim 0.9$ ), but the precision of the mean levels ( $\text{CV} \sim 20\%$ ) was lower than that for  $\text{PM}_{2.5}$ . Ozone also varied most between seasons, suggesting that annual analyses will not provide meaningful results for this pollutant.  $\text{SO}_2$  and CO showed lower monitor-to-monitor correlation

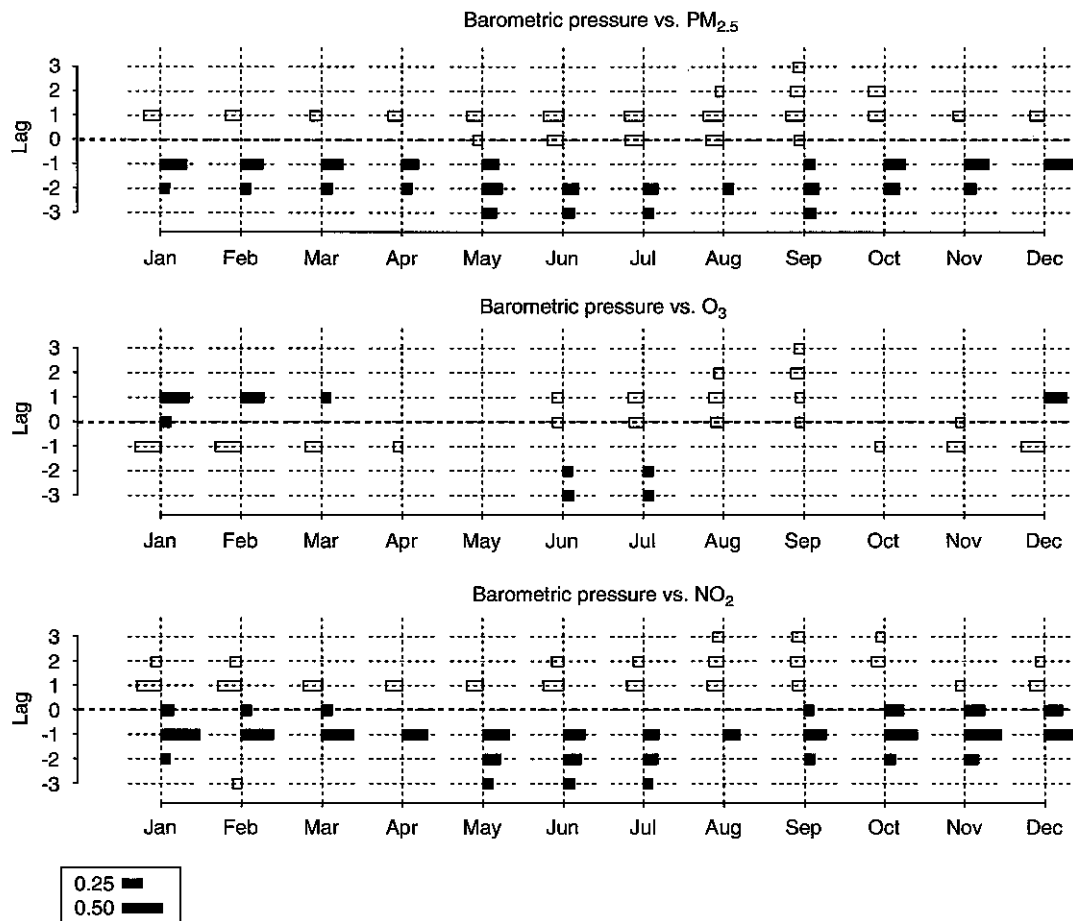


Figure 5. Cross-correlation functions of barometric pressure vs. air pollutants. The correlation below the center line (lag 0) indicates that barometric pressure leads air pollution. Correlations  $< \pm 0.1$  are not shown.

( $r \sim 0.7$  and  $0.6$ , respectively) and low within-city precision of the mean levels ( $CV = 36\%$ ), indicating that these pollutants' risk estimates could be biased in short-term health effects models.

Most of the current time-series studies of health effects of air pollution employ regression models that adjust for the effects of weather. Both extreme heat waves and cold spells are known to affect a variety of health end points, and therefore adjusting for such events is clearly important. However, less is known regarding the health effects of temperature in the "milder" middle range of temperature. The weather condition is a major driving force of day-to-day fluctuations of air pollution concentrations, and temperature may be an indicator of the change in weather conditions. Our result shows that  $NO_2$  (after removing long-term trends) is positively associated with the current and the following days' temperature (i.e.,  $NO_2$  leads temperature to some extent), although cold temperature (which is followed by higher barometric pressure, poor dispersion, and increased  $NO_2$  a

few days later. Moreover,  $O_3$ 's association with temperature even changed sign across seasons. Thus, the relationship between temperature and air pollution can be complex and vary with season. In fact, it is not clear whether the temperature terms in the health effects regression models actually "control" for the weather effects, or are actually acting as surrogates for pollutants in the middle range of temperature, where direct temperature health effects are unlikely. If true, this would lead to over-adjustment of health effects for weather, and an underestimation of pollutants most correlated with temperature. Further research is needed on the extent of weather adjustment terms needed or desirable in air pollution models.

The results from an analysis of concurvity indicated that the extent of multi-collinearity with covariates in typical time-series health effects models varies across the pollutants.  $PM_{2.5}$  and  $NO_2$  showed the least correlation with temporal trends. With weather terms in the model,  $NO_2$  showed the lowest concurvity among the pollutants, but the day-of-week term

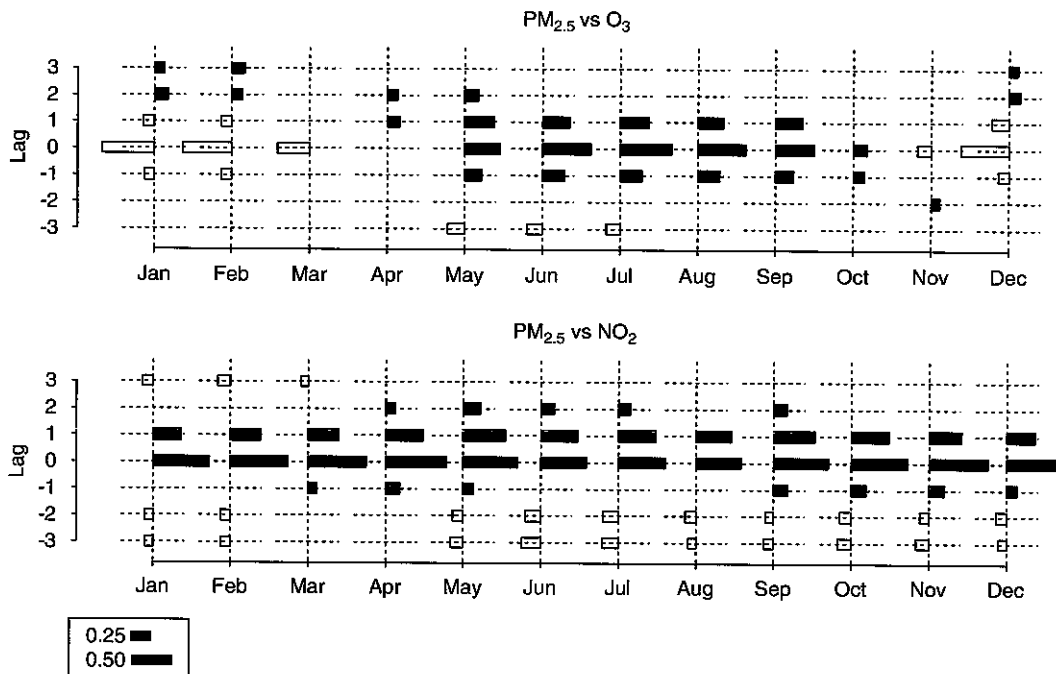


Figure 6. Cross-correlation functions of PM<sub>2.5</sub> vs. O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>. The correlation below the centerline (lag 0) indicates that PM<sub>2.5</sub> leads O<sub>3</sub> or NO<sub>2</sub>. Correlations  $\leq \pm 0.1$  are not shown.

Table 3. Concurrency of air pollutants in selected health effects models for all-year data.

Model	(1) Trend (d.f. = 8 per year)	(2): (1) + weather	(3): (2) + day-of-week	(4): (3) + PM <sub>2.5</sub>	(5): (3) + NO <sub>2</sub>	(6): (3) + O <sub>3</sub>	(7): (3) + SO <sub>2</sub>	(8): (3) + CO
<i>PM<sub>2.5</sub></i>								
A:	0.33	0.66	0.66	—	0.81	0.66	0.83	0.79
B:		0.69	0.70	—	0.81	0.70	0.83	0.80
C:		0.64	0.65	—	0.78	0.65	0.79	0.79
<i>NO<sub>2</sub></i>								
A:	0.28	0.52	0.60	0.78	—	0.60	0.83	0.82
B:		0.62	0.68	0.81	—	0.68	0.85	0.85
C:		0.58	0.64	0.78	—	0.64	0.83	0.82
<i>O<sub>3</sub></i>								
A:	0.77	0.89	0.90	0.90	0.90	—	0.91	0.91
B:		0.90	0.91	0.91	0.91	—	0.91	0.91
C:		0.88	0.89	0.89	0.89	—	0.89	0.89
<i>SO<sub>2</sub></i>								
A:	0.68	0.71	0.72	0.85	0.88	0.73	—	0.84
B:		0.76	0.76	0.86	0.88	0.78	—	0.86
C:		0.75	0.75	0.85	0.88	0.76	—	0.84
<i>CO</i>								
A:	0.52	0.65	0.68	0.80	0.86	0.69	0.82	—
B:		0.68	0.70	0.81	0.86	0.71	0.83	—
C:		0.63	0.66	0.79	0.83	0.69	0.78	—

Weather Model A: two smoothing terms, one with natural splines of same-day temperature (d.f. = 3) and another with natural splines of same-day dew point (d.f. = 3); Model B: four smoothing terms including natural splines of same-day temperature (d.f. = 6), natural splines of the average of lag 1 through 3 day temperature (d.f. = 6), natural splines of same-day dew point (d.f. = 3), natural splines of the average of lag 1 through 3 day dew point (d.f. = 3); Model C: two smoothing terms, natural splines of same-day temperature (d.f. = 3), natural splines of the average of lag 1 through 3 day temperature (d.f. = 3).

**Table 4.** Concurrency of air pollutants in selected health effects models for warm seasons (April–September).

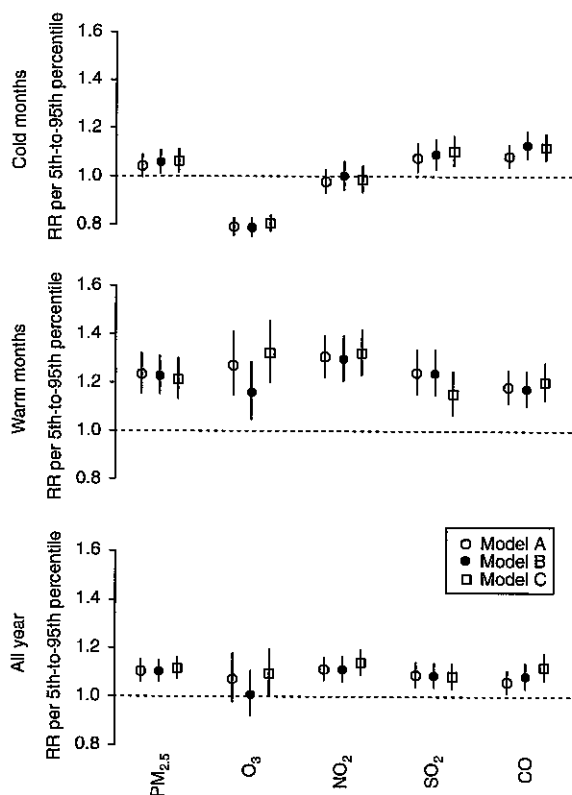
Model	(1)Trend (d.f. = 8 per year)	(2): (1)+ weather	(3): (2)+ day-of- week	(4): (3)+ PM <sub>2.5</sub>	(5): (3)+ NO <sub>2</sub>	(6): (3)+ O <sub>3</sub>	(7): (3)+ SO <sub>2</sub>	(8): (3)+ CO
<i>PM<sub>2.5</sub></i>								
A:	0.33	0.74	0.74	—	0.81	0.79	0.81	0.79
B:		0.76	0.77	—	0.82	0.80	0.82	0.80
C:		0.70	0.71	—	0.78	0.72	0.78	0.78
<i>NO<sub>2</sub></i>								
A:	0.30	0.59	0.67	0.77	—	0.72	0.86	0.84
B:		0.66	0.73	0.80	—	0.76	0.87	0.87
C:		0.60	0.68	0.77	—	0.71	0.86	0.83
<i>O<sub>3</sub></i>								
A:	0.52	0.83	0.84	0.87	0.86	—	0.85	0.84
B:		0.85	0.85	0.88	0.87	—	0.86	0.85
C:		0.80	0.80	0.81	0.82	—	0.81	0.81
<i>SO<sub>2</sub></i>								
A:	0.40	0.64	0.66	0.75	0.85	0.69	—	0.75
B:		0.69	0.71	0.78	0.86	0.72	—	0.77
C:		0.65	0.67	0.75	0.85	0.69	—	0.74
<i>CO</i>								
A:	0.59	0.72	0.76	0.8	0.88	0.76	0.82	—
B:		0.74	0.78	0.81	0.89	0.78	0.83	—
C:		0.65	0.69	0.77	0.83	0.7	0.76	—

See Table 3 for weather model descriptions.

**Table 5.** Concurrency of air pollutants in selected health effects models for cold seasons (October–March).

Model	(1)Trend (d.f. = 8 per year)	(2): (1)+ weather	(3): (2)+ day- of-week	(4): (3)+ PM <sub>2.5</sub>	(5): (3)+ NO <sub>2</sub>	(6): (3)+ O <sub>3</sub>	(7): (3)+ SO <sub>2</sub>	(8): (3)+ CO
<i>PM<sub>2.5</sub></i>								
A:	0.27	0.54	0.55	—	0.82	0.68	0.85	0.80
B:		0.60	0.62	—	0.83	0.72	0.85	0.82
C:		0.56	0.58	—	0.80	0.71	0.81	0.81
<i>NO<sub>2</sub></i>								
A:	0.26	0.49	0.55	0.82	—	0.69	0.86	0.84
B:		0.61	0.66	0.84	—	0.76	0.87	0.87
C:		0.58	0.63	0.82	—	0.72	0.86	0.84
<i>O<sub>3</sub></i>								
A:	0.63	0.74	0.78	0.83	0.84	—	0.87	0.83
B:		0.75	0.79	0.84	0.85	—	0.88	0.84
C:		0.70	0.74	0.81	0.80	—	0.82	0.81
<i>SO<sub>2</sub></i>								
A:	0.52	0.58	0.60	0.86	0.87	0.78	—	0.81
B:		0.66	0.67	0.87	0.87	0.82	—	0.83
C:		0.63	0.64	0.84	0.86	0.76	—	0.79
<i>CO</i>								
A:	0.44	0.60	0.63	0.83	0.86	0.73	0.82	—
B:		0.63	0.66	0.84	0.87	0.74	0.82	—
C:		0.59	0.62	0.82	0.84	0.73	0.78	—

See Table 3 for weather model descriptions.



**Figure 7.** Relative risks per 5th to 95th percentile of air pollutants for asthma ED visits in NYC, in single-pollutant models, three alternative weather models, and for all-year, warm months and cold months.

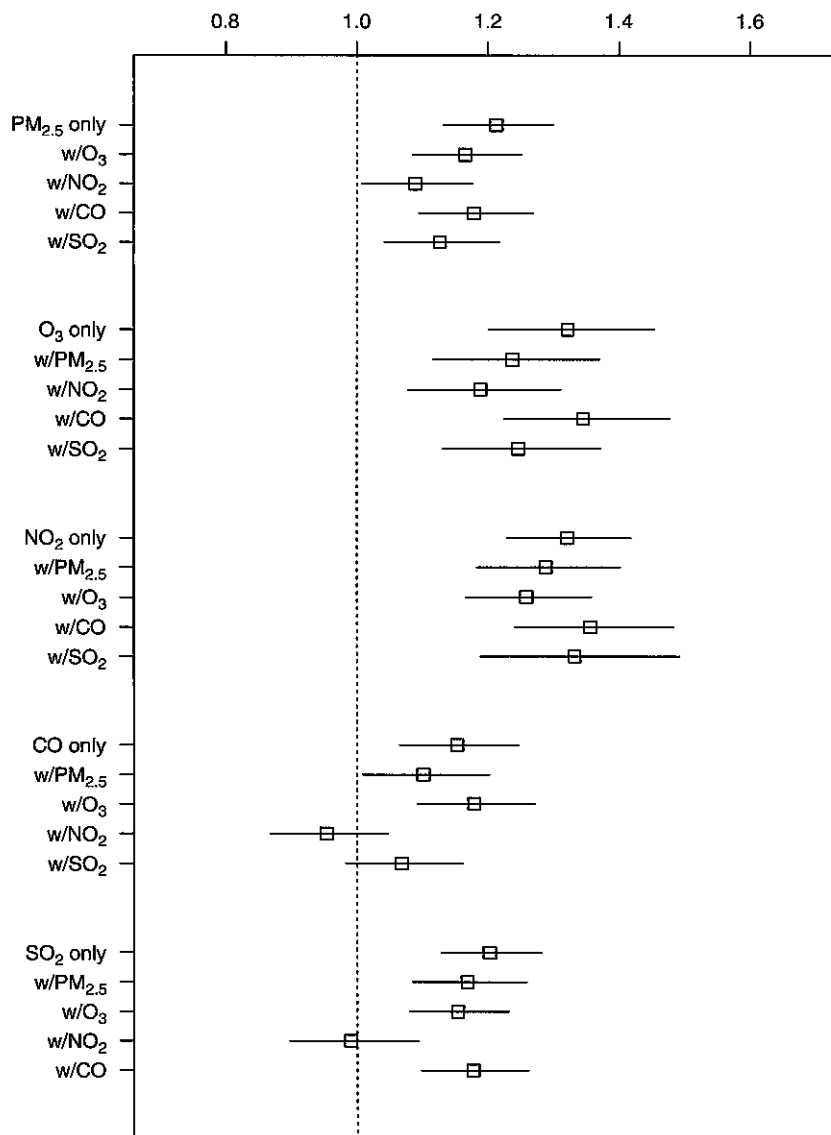
increased  $\text{NO}_2$ 's concurrency the most. Adding any of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , or  $\text{CO}$  to these pollutants' models generally increased concurrency for these pollutants to a similar extent, suggesting possible confounding among them. Although adding  $\text{O}_3$  in the model generally did not increase concurrency of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , or  $\text{CO}$ , it did increase their concurrency in the cold season, despite the fact that  $\text{O}_3$  levels are quite low in the cold season, possibly an indication that wintertime  $\text{O}_3$  may be acting as a surrogate for specific weather conditions. For all the pollutants, a combination of temporal trends, weather term, day-of-week, and a co-pollutant made concurrency in the range between 0.8 and 0.9. These results suggest the importance of analysis by season and also the limitation of two-pollutant models.

$\text{NO}_2$  was also most negatively associated with wind speed (and wind speed leads  $\text{NO}_2$ ), indicating that  $\text{NO}_2$  may also be serving as a good indicator of general local air stagnation.  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{O}_3$  are less correlated with wind speed, likely because these pollutants are distributed regionally and are therefore less affected by local wind speed or direction. Thus,  $\text{NO}_2$  may be a good indicator of more air pollution from local combustion sources.  $\text{NO}_2$  is sometimes referred to as a surrogate marker of traffic-related air pollution. Seaton and

Dennekamp (2003) suggested that  $\text{NO}_2$  may be a surrogate for ultrafine particles, especially the number concentrations. Since both  $\text{NO}$  (which gets converted to  $\text{NO}_2$ ) and ultrafine particles are generated by the combustion process,  $\text{NO}_2$  and ultrafine particles are likely to correlate. In their measurements over 6 months in Aberdeen city, the correlation between  $\text{NO}_2$  and the number concentration ( $r = 0.89$ ) was much higher than that between  $\text{NO}_2$  and  $\text{PM}_{2.5}$  ( $r = 0.55$ ) and that between  $\text{NO}_2$  and  $\text{PM}_{10}$  ( $r = 0.45$ ). Thus,  $\text{NO}_2$  may also be a marker of another agent that may not be measured routinely and yet has some potential health effects. Whether it is a surrogate or not,  $\text{NO}_2$  in our data showed desirable characteristics in the context of time-series health effects analysis, in that it has small ecologic error and relatively small concurrency among the air pollutants. Thus, it would not be surprising where models that input all pollutants at once,  $\text{NO}_2$  becomes the apparent individual "winner" in simultaneous regressions, since it is the pollutant that varies least like all the rest of the pollutants, and is least affected by concurrency in such a multi-pollutant model.

The question of relationship between ambient concentration and personal exposures of multiple air pollutants is another important issue in interpreting health-risk estimates of multi-pollutants that was beyond the scope of our analysis. There are a few studies that have examined this issue. Sarnat et al. (2001) conducted a study in Baltimore, Maryland, USA and measured personal exposure levels of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{CO}$  for 56 subjects. Ambient concentrations were not associated with their corresponding personal exposures for any of the pollutants, except for  $\text{PM}_{2.5}$ . Interestingly, however, some of the ambient gaseous pollutants were significant predictors of personal  $\text{PM}_{2.5}$ . The results from Sarnat et al.'s (2005) another study in Boston, Massachusetts, USA generally support their findings in Baltimore in that summertime gaseous pollutant concentrations may be better surrogates of personal  $\text{PM}_{2.5}$  exposures than they are surrogates of personal exposures to the gases themselves. These studies may be limited in size and locations, and clearly more studies like these in other locales are needed.

This study characterized the relationships among  $\text{PM}_{2.5}$ , gaseous pollutants, and weather variables in New York City, but the results may not yet be generalized for other cities. New York City is large in terms of population, but relatively small in terms of geographic scale compared to other large cities in the United States (e.g., Chicago and Los Angeles). The types of air pollution sources in New York City are not unlike other east-coast cities, with the mixed influences of transported secondary aerosols, traffic-related pollution, and other local combustion sources. However, characterization of air pollution in the context of health effects studies needs to be conducted in other locations with different pollution sources and climate to obtain a more comprehensive understanding of the relationships among weather and air



**Figure 8.** Relative risks per 5th to 95th percentile of air pollutants for asthma emergency department (ED) visits in single- and two-pollutant models using weather model C, NYC during warm season (April through August), 1999–2002.

pollution variables and their influences on the individual air pollutant effect estimates.

The results from the example analysis of asthma ED visits were generally as expected from the concurvity analysis: NO<sub>2</sub>, which showed the lowest concurvity with temporal trend and weather terms among the pollutants, was the most independent predictor of asthma ED visits in the warm season when the pollutants were considered simultaneously. The fact that this was so predictable on the basis of the model specification interactions alone without consideration of the health effects) places great suspicion on the practice of interpreting multi-pollutant regressions as indicative of the pollutants' relative health effects, when it is much more likely

that it is a product of the pollutants' respective model term interactions. The result that CO and SO<sub>2</sub>'s associations with asthma ED visits were eliminated once NO<sub>2</sub> was included in the model was also consistent with NO<sub>2</sub>'s smaller expected exposure error compared with CO and SO<sub>2</sub>. However, obviously, these results may reflect actual difference in toxicity of either the corresponding pollutants themselves, or the pollution mixture that these pollutants are surrogate for. On the basis of the CCF results between weather and air pollutants, NO<sub>2</sub> appears to be most reflective of local air pollution (as opposed to regional pollution), likely combustion sources including traffic-related air pollution. More source-specific information may be useful in clarifying the





responsible pollutants or pollution sources. We are currently investigating this issue using PM<sub>2.5</sub> chemical speciation data.

In summary, our analysis described some of the complexities of the relationships among air pollution and weather variables, and cautions against including each of the PM and gaseous pollutants in the health effects model simultaneously, as if each is an "independent" variable. These results are a cautionary exercise, and throw into question the now commonplace practice of using multi-pollutant models in health effects analyses. The proper interpretation of risk estimates across the various pollutants in a city will need to much more carefully take into consideration the different extent of exposure error across the pollutants and the varying concurrency of the pollutants in a given model specification. Indeed, modeling of each of the various pollutants may require different long-wave and meteorological base model specifications, to minimize concurrency to achieve as unbiased a pollutant effect estimate for each pollutant as possible.

### Acknowledgements

Although the research described in this article has been funded in part by the United States Environmental Protection Agency through Grant R827997, it has not been subjected to the Agency's required peer and policy review and therefore does not necessarily reflect the views of the Agency and no official endorsement should be inferred. The research was also supported by the National Institute of Environmental Health Sciences Center Grant (ES00260). All data were derived from the New York City Health and Hospital Corporation (HHC) databases. We acknowledge the HHC for allowing its use.

### References

- Bates D.V., and Sizto R. Relationship between air pollution and hospital admissions in Southern Ontario. *Can J Public Health* 1983; 74: 117-122.
- Bates D.V., and Sizto R. Air pollution and hospital admissions in Southern Ontario: the acid summer haze effect. *Environ Res* 1987; 43: 317-331.
- Bell M.L., McDermott A., Zeger S.L., Samet J.M., and Dominici F. Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *JAMA* 2004; 292: 2372-2378.
- Burnett R.T., Stieb D., Brook J.R., Cakmak S., Dales R., Raizenne M., Vincent R., and Dann T. Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Arch Environ Health* 2004; 59: 228-236.
- Dockery D.W., Schwartz J., and Spengler J.D. Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols. *Environ Res* 1992; 59: 362-373.
- Dominici F., McDermott A., and Daniels, et al. Mortality among residents of 90 cities. In: *Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health*. Special report. Health Effects Institute, Boston, MA, USA, 2003, pp. 9-24.
- Dominici F., McDermott A., Zeger S.L., and Samet J.M. On the use of generalized additive models in time series of air pollution and health. *Am J Epidemiol* 2002; 156: 193-203.
- Dominici F., Peng R.D., Bell M.L., Pham L., McDermott A., Zeger S.L., and Samet J.M. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 2006; 295: 1127-1134.
- Fairley D. The relationship of daily mortality to suspended particulates in Santa Clara County, 1980-1986. *Environ Health Perspect* 1990; 89: 159-168.
- Ito K., DeLeon S.F., Nadas A., Thurston G.D., and Lippmann M. Monitor-to-monitor temporal correlation of air pollution in the contiguous U.S. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 2005; 15: 172-184.
- Ito K., Thurston G.D., Nadas A., and Lippmann M. Monitor-to-monitor temporal correlation of air pollution and weather variables in the North-Central U.S. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001; 11: 21-32.
- Janssen N.A., Hoek G., Brunekreef B., Harssema H., and Brunkreef B. Personal exposures to fine particles in children correlates closely with ambient fine particles. *Arch Environ Health* 1999; 54: 95-101.
- Janssen N.A., Hoek G., Brunekreef B., Harssema H., Mensink I., and Zuidhof A. Personal sampling of particles in adults: relation among personal, indoor, and outdoor air concentrations. *Am J Epidemiol* 1998; 147: 537-547.
- Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., Gryparis A., Le Tertre A., Monopolis Y., Rossi G., Zmirou D., Ballester F., Boumghar A., Anderson H.R., Wojtyniak B., Paldy A., Braunstein R., Pekkanen J., Schindler C., and Schwartz J. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 2001; 12: 521-531.
- Klemm R.J., and Mason R.M. Replication of reanalysis of Harvard Six-City mortality study. In: *Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health*. Special report. Health Effects Institute, Boston, MA, USA, 2003, pp. 165-172.
- Klemm R.J., Mason R.M., and Heilig C.M., et al. Is daily mortality associated specifically with fine particles? Data reconstruction and replication of analyses. *J Air Waste Manage Assoc* 2000; 50: 1215-1222.
- Lioy P.J., Waldman J.M., Buckley T., Butler J., and Pietarinen C. The personal, indoor, and outdoor concentration of PM<sub>10</sub> measured in an industrial community during the winter. *Atmos Environ Part B* 1990; 24: 57-66.
- Martin A.E., and Bradley W.H. Mortality, fog, and atmospheric pollution: an investigation during the winter of 1958-59. *Month Bull Min Hlth* 1960; 19: 56.
- Mazumdar S., Schimmel H., and Higgins I. Relation of daily mortality to air pollution: an analysis of 14 London winters, 1958/59-1971/72. *Arch Environ Health* 1982; 37: 213-220.
- Pinto J.P., Lefohn A.S., and Shadwick D.S. Spatial variability of PM<sub>2.5</sub> in urban areas in the United States. *J Air Waste Manage Assoc* 2004; 54: 440-449.
- Pope III C.A. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *Am J Public Health* 1989; 79: 623-628.
- Pope III C.A., Schwartz J., and Ransom M.R. Daily mortality and PM<sub>10</sub> pollution in Utah Valley. *Arch Environ Health* 1992; 47: 211-217.
- Ramsay T.O., Burnett R.T., and Krewski D. The effect of concurrency in generalized additive models linking mortality to ambient particulate matter. *Epidemiology* 2003; 14: 18-23.
- Samet J.M., Zeger S., and Dominici F., et al. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study (NMAPS). Part I. Methods and methodological issues. Cambridge, MA: Health Effects Institute, 2000 (Report no. 94).
- Sarnat J.A., Brown K.W., Schwartz J., Coull B.A., and Koutrakis P. Ambient gas concentrations and personal particulate matter exposures: implications for studying the health effects of particles. *Epidemiology* 2005; 16: 385-395.
- Sarnat J.A., Schwartz J., Catalano P.J., and Suh H.H. Gaseous pollutants in particulate matter epidemiology: confounders or surrogates? *Environ Health Perspect* 2001; 109: 1053-1061.
- Schimmel H. Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: methodological questions and some new results based on New York City daily mortality, 1963-1976. *Bull N Y Acad Med* 1978; 54: 1052-1108.
- Schimmel H., and Greenburg L. A study of the relation to pollution to mortality in New York City, 1963-1968. *J Air Pollut Control Assoc* 1972; 22: 607-616.
- Schimmel H., and Murawski T.J. The relation of air pollution to mortality. *J Occup Med* 1976; 18: 316-333.
- Schwartz J. Daily deaths associated with air pollution in six US cities and short-term mortality displacement in Boston. In: *Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health*. Special report. Health Effects Institute, Boston, MA, USA, 2003, pp. 219-226.
- Schwartz J., and Dockery D.W. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol* 1992a; 135: 12-19.
- Schwartz J., and Dockery D.W. Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am Rev Respir Dis* 1992b; 145: 600-604.
- Schwartz J., Dockery D.W., and Neas L.M. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manage Assoc* 1996; 46: 927-939.



- Schwartz J., and Marcus A.H. Statistical analysis of data relating mortality to air pollution during London winters 1958–1972, 1986. Appendix to Second Addendum to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides, 1982: Assessment of Newly Available Health Effects Information, U.S. EPA, Research Triangle Park, NC. EPA/600/8-86/020F.
- Scott J.A. The London fog of December 1957. *Med Off* 1958: 99: 367.
- Seaton A., and Dennekamp M. Hypothesis: Ill health associated with low concentrations of. *Thorax* 2003: 58: 1012–1015.
- Shumway R.H., Tai R.Y., Tai L.P., and Pawitan Y., Statistical analysis of daily London mortality and associated weather and pollution effects, a report submitted to California Air Resources Board, Sacramento, CA, USA, 1983.
- Silverman R.A., Ito K., Stevenson L., and Hastings H.M. The relationship of the fall school opening and emergency department asthma visits in a large metropolitan area. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2005: 159: 818–823.
- Stieb D.M., Judek S., and Burnett R.T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season. *J Air Waste Manage Assoc* 2002: 52: 470–484.
- Stieb D.M., Judek S., and Burnett R.T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: update in relation to the use of generalized additive models. *J Air Waste Manage Assoc* 2003: 53: 258–261.
- Thurston G.D., Ito K., Lippmann M., and Bates D.V. Respiratory hospital admissions and summertime haze air pollution in Toronto, Ontario: consideration of the role of acid aerosols. *Environ Res* 1994: 65: 271–290.
- Thurston G.D., Ito K., Lippmann M., and Hayes C. Re-examination of London, England, mortality in relation to exposure to acidic aerosols during 1963–1972 winters. *Environ Health Perspect* 1989: 79: 73–82.
- Thurston G.D., Lippmann M., Scott M.B., and Fine J.M. Summertime haze air pollution and children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 1997: 155: 654–660.
- Touloumi G., Katsouyanni K., Zmirou D., Schwartz J., Spix C., de Leon A.P., Tobias A., Quenel P., Rabcenko D., Bacharova L., Bisanti L., Vonk J.M., and Ponka A. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach. Am J Epidemiol* 1997: 146: 177–185.
- Utell M.J., and Samet J.M. Particulate air pollution and health: new evidence on an old problem. *Am Rev Respir Dis* 1993: 147: 1334–1335.
- Ware J.H., Thibodeau L.A., Speizer F.E., Colome S., and Ferris Jr B.G. Assessment of the health effects of atmospheric sulfur oxide and particulate matter: evidence from observational studies. *Env Health Persp* 1981: 41: 255–276.



---

# SALUD AMBIENTAL

---

De lo global a lo local

Howard Frumkin, Editor



**Organización  
Panamericana  
de la Salud**



*Oficina Regional de la*  
**Organización Mundial de la Salud**

000587

VTA.

---

## CONTENIDOS

---

Prólogo	ix
Tablas y figuras	xi
El Editor	xix
Los Colaboradores	xxi
Introducción	xxxiii
Howard Frumkin	

---

### **PRIMERA PARTE: MÉTODOS Y PARADIGMAS 1**

1 Ecología y salud humana	3
John Wegner	
2 Toxicología	26
Jason R. Richardson, Gary W. Miller	
3 Epidemiología	50
Kyle Steenland, Christine Moe	

- 4 Evaluación de exposición, higiene industrial y administración ambiental 79  
P. Barry Ryan
- 5 Psicología ambiental 105  
Daniel Stokols, Chip Clitheroe
- 6 Genética y salud ambiental 139  
Samuel H. Wilson
- 7 Ética de la salud ambiental 155  
Andrew Jameton
- 8 Justicia ambiental 184  
Charles Lee
- 9 Enfoques religiosos sobre salud ambiental 213  
Daniel J. Swartz

---

**SEGUNDA PARTE: SALUD AMBIENTAL EN LA ESCALA GLOBAL 237**

- 10 Presión poblacional 239  
Don Hinrichsen
- 11 Cambio climático 257  
Jonathan A. Patz
- 12 La guerra 291  
Barry S. Levy, Victor W. Sidel
- 13 Países en desarrollo 312  
Jerome Nriagu, Jaymie Meliker, Mary Johnson

---

**TERCERA PARTE: SALUD AMBIENTAL EN LA ESCALA REGIONAL 357**

- 14 Contaminación del aire 359  
Michelle L. Bell, Jonathan M. Samet
- 15 Producción de energía 394  
Richard Rheingans

## Contenidos

vii

- 16 Urbanización 422  
Sandro Galea, David Vlahov
- 17 Transporte y salud 451  
John Balbus, Dushana Yoganathan Triola
- 18 Agua y salud 494  
Timothy Ford

---

**CUARTA PARTE: SALUD AMBIENTAL EN LA ESCALA LOCAL 563**

- 19 Residuos sólidos y peligrosos 565  
Sven Rodenbeck, Kenneth Orloff, Harvey Rogers, Henry Falk
- 20 Control de plagas y pesticidas 593  
Mark G. Robson, George C. Hamilton
- 21 Seguridad de los alimentos 633  
David McSwane
- 22 Aire interior 683  
Michael J. Hodgson
- 23 Salud y seguridad en el lugar de trabajo 708  
Melissa Perry, Howard Hu
- 24 Radiación 747  
Arthur C. Upton
- 25 Lesiones 788  
Junaid A. Razzak, Jeremy J. Hess, Arthur L. Kellermann
- 26 Preparación ante el desastre 822  
Eric K. Noji, Catherine Y. Lee
- 27 Contacto con la naturaleza: ¿un beneficio para la salud? 862  
Howard Frumkin
- 28 Niños 887  
Maida Galvez, Joel Forman, Philip J. Landrigan

---

**QUINTA PARTE: LA PRÁCTICA DE LA SALUD AMBIENTAL 931**

- 29 Prevención 933  
Joel A. Tickner
- 30 La práctica de la salud ambiental 983  
Sarah Kotchian
- 31 Sistemas de información geográfica 1017  
Lance A. Waller
- 32 Evaluación del riesgo 1033  
Scott Bartell
- 33 Política de salud ambiental 1056  
Barry L. Johnson
- 34 Comunicación de riesgos 1085  
Vincent T. Covello
- 35 Servicios para el cuidado de la salud 1109  
Robert Laumbach, Howard M. Kipen
- 36 Recursos legales 1134  
Douglas A. Henderson
- 37 Desarrollo sostenible y salud ambiental 1174  
Luiz A Galvao, Cristina Schneider, Enrique Loyola, Samuel Henao, Diego  
González, Eugenia Rodríguez, Alberto Concha-Eastman, Maritza Tennessee,  
Alfonso Ruiz, Adriana Blanco, Heather Selin, Rosa Sandoval, Vera Luiza Da Costa  
Silva, Marilyn Rice, Emilio Ramirez, Sofialeticia Morales, Josefa Ippolito-Shepherd,  
María Teresa Cerqueira

Índice onomástico

Índice analítico

## Para más información

Varios de los libros enlistados en la bibliografía son de interés general.

*Managing the Environment, Managing Ourselves*, de R.N.L. Andrews es un trabajo escolar de valor duradero, ofrece un descripción sobresaliente de políticas pasadas y actuales de la administración ambiental de Estados Unidos.

*Making Environmental Policy* de D. J. Fiorino (caps. 1, 2, y 3) presenta una buena explicación de los retos en el diseño de políticas y las instituciones federales involucradas en el diseño de políticas ambientales. Actualmente no hay ningún libro disponible sobre la historia de la Environmental Protection Agency de Estados Unidos pero *The Environmental Protection Agency: Asking the Wrong Questions from Nixon to Clinton* de M. K. Landy, M. J. Roberts, y S. R. Thomas, se acerca. Para personas que deseen saber cómo evolucionó la EPA, es requisito leer *Impact of Hazardous Waste on Human Health* de B. L. Johnson porque es el único libro que describe los retos políticos presentados por la administración de tiraderos peligrosos no controlados.

Además, muchas personas consideran la Ley del Aire Limpio como el principal estatuto ambiental federal en relación con el diseño de políticas. Para una revisión excelente de los retos de la política en el manejo de contaminantes del aire, vea

National Research Council. *Air Quality Management in the United States*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2004.

La evaluación de riesgos conduce muchas políticas ambientales. El siguiente pequeño y agudo libro describe la historia y prácticas de la evaluación de riesgos mejor que ningún otro:

Rodríguez, J. V. *Calculated Risk: The Toxicity and Human Health Risks of Chemicals in Our Environment*. Nueva York: Cambridge University Press, 1992.

Por último, para una revisión excelente de política ambiental durante un periodo de cambios y retos políticos para el diseño de políticas ambientales federales de Estados Unidos.

Vig, N. J., and Kraft, M. W. *Environmental Policy in the 1990s* (2nd ed.) Washington, D.C.: Congressional Quarterly, 1994.



## CAPÍTULO TREINTA Y CUATRO

# COMUNICACIÓN DE RIESGOS

Vincent T. Covello

Los miembros de una comunidad saben que una fábrica cercana ha contaminado el agua subterránea local con solventes durante tres años de manejo inadecuado. Los trabajadores saben que los niveles de mercurio en su lugar de trabajo exceden periódicamente los estándares aplicables. Los consumidores saben que se pueden encontrar niveles detectables de plaguicidas en muchas de las frutas y verduras que ellos compran. En cada caso, las personas comprenden que una exposición al ambiente puede poner en riesgo su salud, y eso les preocupa. Aun cuando el riesgo resulta ser bajo, la preocupación puede ser alta. Para comprender el riesgo y actuar adecuadamente ante él, las personas necesitan información. La comunicación de riesgos es la práctica que proporciona esta información.

La comunicación de riesgos ha sido definida de varias maneras. Por ejemplo, de acuerdo al National Research Council (1989), comunicación de riesgos es "un proceso interactivo de intercambio de información y opiniones entre individuos, grupos e instituciones". La comunicación de riesgos es exitosa al grado que "eleva el nivel de comprensión de temas o acciones relevantes para aquellos involucrados y los satisface porque están adecuadamente informados dentro de los límites del conocimiento disponible" (p. 4).

En este capítulo, se define la comunicación de riesgos como un esfuerzo basado en la ciencia que se utiliza típicamente para guiar la comunicación con una diversidad de audiencias en situaciones de alto estrés, alta preocupación o controversiales. Se refiere a cualquier comunicación pública o privada que informa a los individuos



El tamaño de una partícula está relacionado con su origen. El tamaño determina la forma como se transporta en la atmósfera, donde se deposita en el ambiente y en el sistema respiratorio. Las partículas más pequeñas son motivo especial de preocupación para la salud, puesto que penetran con mayor profundidad en el pulmón. Tales partículas por lo regular se generan mediante procesos de combustión. Los gases de combustión de diesel, una combinación de gases y partículas, son particularmente preocupantes debido al extenso uso de diesel y a que estas partículas son muy pequeñas (<1 micrón) (Kagawa, 2002). Además, la fase de gas del diesel contiene diversos contaminantes riesgosos como benceno, formaldehído e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Los niveles ambientales de la materia particulada, como lo indican las mediciones de  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  entre otras, han tenido que ver con efectos de salud como un mayor número de ingresos al hospital y emergencias, síntomas respiratorios, decadencia de la función pulmonar, exacerbación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, y mortalidad prematura (EPA, 2003). Los animales de laboratorio expuestos a la  $MP$  experimentaron una variedad de respuestas, incluyendo inflamación y lesiones pulmonares (Broockaert y cols., 1997; Dye y cols., 2001). Los estudios de serie de tiempo, que rastrean la variación cotidiana en los niveles de  $MP$  y la mortalidad, han demostrado que la exposición aguda a la  $MP$  está relacionada con un mayor índice de mortalidad, que alcanza su punto máximo unos días después de la exposición, remanente de los episodios de Londres y Donora ya descritos, pero que ocurrieron en niveles inferiores de exposición a la  $MP$  de hoy (ver, por ejemplo, Health Effects Institute [HEI], 2003; Samet y cols., 2000a, 2000b; Schwartz, 2000). Los estudios longitudinales como el estudio de seis ciudades y CFS II (recién mencionado) también demuestran un vínculo entre la exposición de largo plazo a la  $MP$  y la mortalidad (ver, por ejemplo, Dockery y cols., 1993; Krewski y cols., 2000; Pope y cols., 1995, 2002). Un comité del National Research Council examinó recientemente el estado de esta evidencia (National Research Council, 2004).

Las regulaciones han evolucionado en respuesta a un mayor entendimiento sobre cómo la  $MP$  afecta la salud humana. Cuando se estableció originalmente en 1971 el National Ambient Air Quality Standard sobre materia particulada, tenía que ver con el total de las partículas suspendidas totales ( $PSL$ ), pero este estándar fue sustituido por uno específicamente para  $MP_{10}$  cuando quedó claro que estas partículas más pequeñas estuvieron más estrechamente vinculadas con los efectos en la salud. De acuerdo con pruebas posteriores, las partículas aún más pequeñas,  $MP_{2.5}$ , eran responsables de efectos adversos en la salud, y se añadió el estándar  $MP_{2.5}$  en 1997.

Si bien se han estudiado ampliamente las  $MP$  y la salud, sigue habiendo mucho por conocer. Por ejemplo, el riesgo para la salud que implica la exposición

a las partículas puede depender de las características de la  $MP$ , de su contenido de metales, acidez, contenido orgánico, sulfatos o combinaciones de estos componentes (HEI, 2002). Se requiere una investigación crítica para determinar los aspectos dañinos de la  $MP$  (National Research Council, 2004). Del mismo modo, aún no se comprenden del todo los mecanismos biológicos por medio de los cuales la  $MP$  causa muertes prematuras. Las principales hipótesis se concentran en reflejos del pulmón, que provocan cambios automáticos en el sistema nervioso, autónomo quizás predispone a los individuos a arritmias, y en la inflamación que, por su parte, predispone para la trombosis o cambios similares (Brook y cols., 2004). Las investigaciones adicionales aclararán también el impacto que probablemente tendrá la  $MP$  en la regulación.

### Dióxido de azufre

El  $SO_2$  es un gas soluble en agua que fue un componente primario de la neblina de Londres en 1952. Los óxidos de azufre se producen en la combustión de combustibles y materiales que contienen azufre, como carbón y minerales metálicos. Un poco de carbón, como el del este de Estados Unidos, tiene un contenido de azufre particularmente alto. Las centrales eléctricas son la principal fuente de emisiones de  $SO_2$ . Otras fuentes son calderas industriales, trenes, barcos, e instalaciones de procesamiento de metales. El uso de carbón en casa también puede contribuir con cantidades significativas de  $SO_2$ . En algunas regiones, como en ciertas partes de China, el carbón es el principal combustible para cocinar y calentarse, lo que provoca altos niveles de  $SO_2$  en el interior. Entre las fuentes naturales de  $SO_2$  se incluyen los volcanes.

El  $SO_2$  puede convertirse en ácido sulfúrico (Scinfield y Pandis, 1998), y por lo tanto contribuye a la deposición ácida, lo que daña la vegetación, los materiales y la fauna. El  $SO_2$  también contribuye a la formación de materia particulada. Los aerosoles de sulfato, importante componente de la materia particulada fina, pueden viajar lejos de su lugar de origen. Las altas cumbres de las centrales eléctricas a menudo liberan contaminación por encima de la capa de inversión, lo que reduce la contaminación local, pero permite que los contaminantes emitidos recorran distancias mucho más grandes.

Como el  $SO_2$  es muy soluble en agua, la mayor parte del  $SO_2$  que se inhala es absorbido por las membranas mucosas de las vías aéreas superiores, y muy poco llega al pulmón; sin embargo, un aumento en la ventilación y la respiración oral, durante el ejercicio por ejemplo, pueden elevar la dosis que recibe el pulmón (Schlesinger, 1999). Se ha relacionado la exposición al  $SO_2$  con una reducción en la función pulmonar, broncoconstricción (mayor resistencia de la vía aérea), síntomas respiratorios, hospitalizaciones debido a problemas cardiovasculares y

respiratorios, irritación de ojos, resultados adversos en el embarazo y mortalidad. Sin embargo, es difícil atribuir estas asociaciones reportadas únicamente al  $\text{SO}_2$ , porque el  $\text{SO}_2$  es un precursor de la materia particulada y generalmente existe como el componente de una compleja mezcla de contaminantes, relacionada con la combustión. Los estudios experimentales sugieren que algunas personas con asma podrían ser particularmente sensibles al propio  $\text{SO}_2$ . Los estudios de exposición controlados han demostrado que en algunas personas con asma pueden presentarse efectos después de exposiciones muy breves (por ejemplo, diez minutos), mientras que la investigación epidemiológica ha demostrado efectos relacionados con la exposición a largo plazo (por ejemplo, niveles anuales).

### Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) constituyen una categoría de gases altamente reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno, como el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ). Estos contaminantes reaccionan en la atmósfera para formar contaminantes adicionales y compuestos tóxicos, incluso nitroaeranos. El  $\text{NO}_x$  se produce mediante la combustión, incluso la de combustible fósil, cuando se oxida el nitrógeno que comprende casi 80% de aire. Por lo tanto, entre las fuentes de  $\text{NO}_x$  se incluyen automóviles y motores de camión, aparatos eléctricos e industrias. La contaminación del aire en el interior también puede aportar  $\text{NO}_2$  por medio de calentadores de keroseno, hornos y calentadores de gas sin ventilación, y humo de tabaco. Las fuentes naturales de  $\text{NO}_x$  incluyen la intrusión estratosférica (cuando el  $\text{NO}_x$  pasa de la estratósfera a la troposfera), los procesos biológicos en la tierra, los incendios forestales y los relámpagos, pero hoy en día las principales fuentes son centrales eléctricas y automóviles. En Estados Unidos, los automóviles actualmente representan la mitad de todas las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

Como el ozono, el  $\text{NO}_2$  es casi insoluble en el agua y puede alcanzar las vías respiratorias inferiores. Los efectos del  $\text{NO}_2$  en la salud incluyen irritación de ojos, nariz y garganta en concentraciones más altas, una reducción a corto plazo en la función pulmonar, al igual que un posible incremento en las infecciones respiratorias y los síntomas en niños. Es difícil separar los efectos del  $\text{NO}_x$  de los componentes relacionados con la contaminación del aire, como ozono y materia particulada (Ackermann-Lieblich y Rapp, 1999). Tanto el  $\text{NO}$  como el  $\text{NO}_2$  son gases tóxicos, y el  $\text{NO}_2$  es regulado como un contaminante criterio según la Ley de Aire Limpio. Los óxidos de nitrógeno también desempeñan un papel indirecto pero importante como precursores. El  $\text{NO}_x$  es un precursor del ozono troposférico y la materia particulada secundaria y desempeña un papel crucial en la formación de la lluvia ácida. El óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) es un gas de invernadero, que contribuye al calentamiento global (ver el capítulo once). El  $\text{NO}_x$  y las especies de contaminantes que se forman al someterse a reacciones químicas son capaces de recorrer grandes

distanancias, por lo que los efectos en la salud pueden ocurrir lejos del origen. Aunque las emisiones hayan disminuido en décadas recientes, aproximadamente en 15% entre 1983 y 2002, las emisiones de algunas fuentes se elevan, como la de los motores de vehículos todoterreno (EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, 2003).

### Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) son una categoría de productos químicos orgánicos con una presión de vapor alta que fácilmente se evaporan a una temperatura y presión normales. Estos incluyen el benceno, cloroforno, formaldehído, isopreno, metanol y monoterpenos, junto con cientos de compuestos adicionales. Los VOC provienen de fuentes naturales, incluyendo árboles como el arce y el roble; las centrales eléctricas y de procesamiento industrial como los que involucran productos químicos y solventes; y el transporte, incluyendo automóviles y transporte no terrestre como aviones, equipo de construcción y segadoras. Las emisiones de automóviles explican aproximadamente 75% de las emisiones VOC relacionadas con el transporte, y la mayor parte de estas emisiones provienen aproximadamente de 20% de los vehículos que son más viejos y tienen poco mantenimiento (EPA, 1996). En muchos lugares, las fuentes biogénicas contribuyen con más VOC que las emisiones antropogénicas. Por ejemplo, en 1990, 77% de las emisiones de VOC en el centro de la región atlántica eran biogénicas (Mid-Atlantic Regional Air Management Association, 1997). De hecho, el aspecto natural que da su nombre a las montañas Blue Ridge y Great Smoky Mountains es resultado de los VOC biogénicos (sobre todo isopreno) que forman aerosoles. Los VOC son precursores del ozono, pero también tienen efectos independientes en la salud, como irritación de las vías respiratorias, dolores de cabeza y carcinogenicidad.

### Ozono troposférico

El ozono está presente en la troposfera, la capa atmosférica más baja, que se extiende hasta aproximadamente 10 a 15 kilómetros por encima de la superficie de la tierra, y en la estratósfera, que se extiende desde la troposfera hasta aproximadamente 45 a 55 kilómetros por encima de la superficie de la tierra. El *ozono estratosférico* forma la capa natural de ozono que cubre la superficie de la Tierra de las radiaciones ultravioletas, mientras que el ozono troposférico, que en ocasiones recibe el nombre de *ozono de nivel de tierra*, es un contaminante dañino. Para establecer la diferencia entre el ozono estratosférico y el troposférico, la EPA introdujo el lema "Bueno arriba y malo de cerca".

El ozono troposférico es un gas incoloro y un oxidante fotoquímico que se forma a través de reacciones químicas complejas, no lineales, que implican a los

## GLOSSARY

## Indicators of socioeconomic position (part 1)

Bruna Galobardes, Mary Shaw, Debbie A Lawlor, John W Lynch, George Davey Smith

*J Epidemiol Community Health* 2006;60:7-12. doi: 10.1136/jech.2004.023531

This glossary presents a comprehensive list of indicators of socioeconomic position used in health research. A description of what they intend to measure is given together with how data are elicited and the advantages and limitation of the indicators. The glossary is divided into two parts for journal publication but the intention is that it should be used as one piece. The second part highlights a life course approach and will be published in the next issue of the journal.

Socioeconomic position (SEP) is a commonly used concept in health research. Although researchers have an intuitive sense of what SEP means, the numerous ways of measurement indicate the complexity of the construct. A variety of other terms, such as social class, social stratification, social or socioeconomic status, are often used interchangeably despite their different theoretical bases and, therefore, interpretations. These issues have been discussed in detail by Krieger *et al*<sup>1</sup> and we use SEP rather than socioeconomic status in line with their suggestion. "Socioeconomic position" refers to the social and economic factors that influence what positions individuals or groups hold within the structure of a society,<sup>1,2</sup> and encompasses concepts with different historical and disciplinary origins, which will briefly be reviewed here. SEP is related to numerous exposures, resources, and susceptibilities that may affect health. This glossary presents a comprehensive list of indicators of SEP used in health research, together with a description of what they intend to measure, how data are elicited, and their main advantages and limitations. The glossary builds on previous work<sup>2-6</sup> by providing updated information on the use and meaning of each measure, specifically in relation to epidemiological and health research.

There is no single best indicator of SEP suitable for all study aims and applicable at all time points in all settings. Each indicator measures different, often related aspects of socioeconomic stratification and may be more or less relevant to different health outcomes and at different stages in the life course. The choice of SEP measure(s) should ideally be informed by consideration of the specific research question and the proposed mechanisms linking SEP to the outcome. This is the case when SEP is the exposure of interest as well as when it is being considered as a confounding/mediating factor. If the central interest is to show the existence of a socioeconomic gradient in a particular health

outcome then the choice of indicator may not be crucial. However, even in a case such as this, using different indicators of SEP may result in gradients of varying slopes. Furthermore, while a single measure of SEP may show an association with a health outcome, it will not encompass the entirety of the effect of SEP on health. This issue is of particular importance when SEP is a potential confounding factor. Multiple SEP indicators, preferably measured across the life course, will be needed to avoid residual confounding by unmeasured socioeconomic circumstances.<sup>7-12</sup> The notion that the choice of SEP measure should be determined by the particular research question is exemplified by Snow's work on exposures related to people working in the "offensive trades".<sup>8,9</sup> With respect to socially patterned exposures that have aetiological effects specific to particular stages of the life course it is clear that the socioeconomic indicators should relate to these life stages.<sup>10</sup> Other researchers have emphasised the importance of theoretically grounded measures of social position in recent contributions.<sup>11</sup> However, in practice, the measures used tend to be driven by what is available or has been previously collected. Even when a researcher cannot influence the particular SEP measure(s) available in a study, an understanding of their theoretical basis is important to making appropriate inferences.

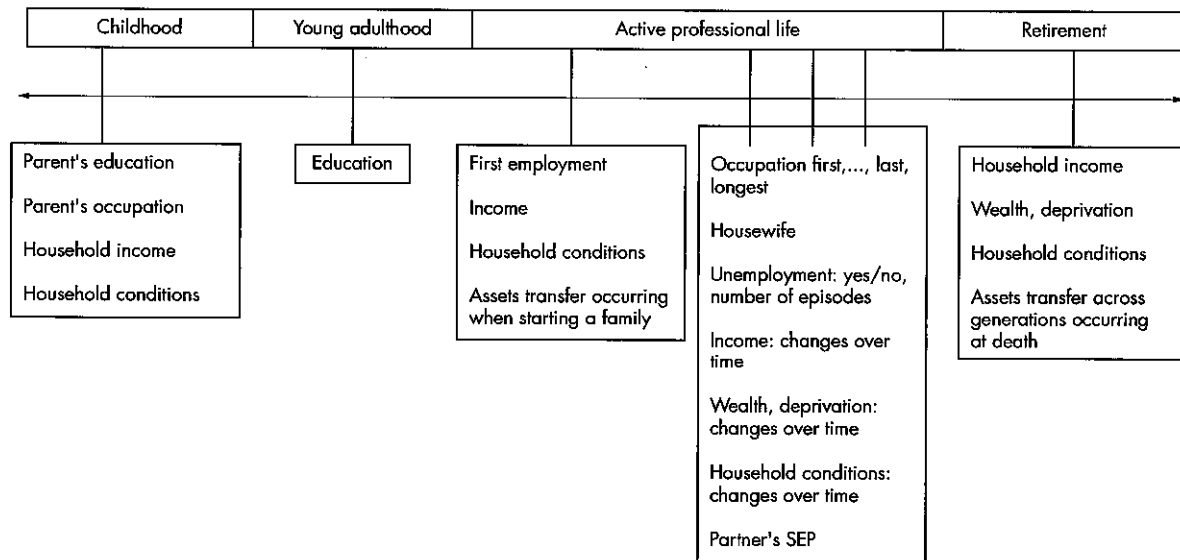
In this glossary we highlight the theoretical basis, measurement, interpretation, strengths, and limitations of each indicator. Where possible we present the interpretation or mechanism that may be of particular relevance to each indicator, but this is difficult because most of these indicators are strongly correlated. For example, despite education reflecting some particular aspects of SEP such as possession of a richer score of knowledge, it does, at the same time, help determine a person's adult occupation and income, and therefore shares some of the health effects of these other indicators. This is particularly evident when a life course approach is considered (see fig 1 and part 2 of this glossary).

Most work on health inequalities has been conducted in developed countries and has generated indicators appropriate to this context. Further research is necessary to develop indicators that might be more appropriate in developing country settings. The glossary is organised such that individual level indicators are considered first, and within this they are presented in alphabetical order. Various forms of aggregate indicators (composite indicators and indices of area deprivation) follow. Finally, we briefly discuss life course SEP and multilevel approaches to considering SEP influences. The glossary is divided in two parts for journal

See end of article for authors' affiliations

Correspondence to:  
Dr B Galobardes,  
Department of Social  
Medicine, University of  
Bristol, Canynge Hall,  
Whiteladies Road, Bristol  
BS8 2PR, UK; bruna.  
galobardes@bristol.ac.uk

Accepted for publication  
9 September 2004



**Figure 1** Examples of indicators measuring life course socioeconomic position.

publication, but the intention is that it should be used as one piece.

### THEORETICAL ORIGINS

Many of the concepts underlying the use of SEP in epidemiological research have their origin in the work of two social theorists, Karl Marx and Max Weber. For Marx, SEP was entirely determined by "social class", whereby an individual is defined by their relation to the "means of production" (for example, factories, land). Social class, and class relations, are characterised by the inherent conflict between exploited workers and the exploiting capitalists or those who control the means of production. Despite the palpable political weight of Marxist ideology in the 20th century we are aware of only two classifications used in epidemiological research that are based on Marx's theory of social class, these are Erik Olin Wright's classification<sup>13</sup> and others developed in South America.<sup>14</sup> In contrast with Marx, who viewed social stratification in capitalist societies as both source and outcome of the conflict between two necessarily opposed social groups, Weber's theory suggests that society is hierarchically stratified along many dimensions, creating groups whose members share a common market position leading to shared "life chances". For Weber, market position is not necessarily only defined by Marx's class relations. For a more detailed summary of these sociological theories see Bartley.<sup>15</sup>

### EDUCATION

#### Theoretical basis

Education is a frequently used indicator in epidemiology. The use of education as an SEP indicator has its historical origins in the status domain of Weberian theory,<sup>3</sup> and it attempts to capture the knowledge related assets of a person.<sup>2</sup> As formal education is normally completed in young adulthood and is strongly determined by parental characteristics, it can be conceptualised within a life course framework as an indicator that in part measures early life SEP.<sup>16 17</sup>

#### Measurement

Education can be measured as a continuous variable (years of completed education), or as a categorical variable by assessing educational milestones such as completion of

primary or high school, higher education diplomas, or degrees. The continuous measure assumes that every year of education contributes similarly to a person's attained SEP and that time spent in education has greater importance than educational achievements, whereas the latter assumes that specific achievements are important in determining SEP.<sup>3</sup>

#### Interpretation

Although education is often used as a generic measure of SEP, there are specific interpretations to explain its association with health outcomes<sup>3 18-20</sup>:

- Education captures the transition from parents' (received) SEP to adulthood (own) SEP and it is also a strong determinant of future employment and income.<sup>2 17</sup> It reflects material, intellectual, and other resources of the family of origin, begins at early ages, is influenced by access to and performance in primary and secondary school and reaches final attainment in young adulthood for most people. Therefore it captures the long term influences of both early life circumstances on adult health, as well as the influence of adult resources (for example, through employment status) on health.<sup>17 21 22</sup>
- The knowledge and skills attained through education may affect a person's cognitive functioning, make them more receptive to health education messages, or more able to communicate with and access appropriate health services. A recent attempt to measure knowledge in terms of "cultural literacy" and assess its role in the association between education and health highlighted the great difficulty in trying to unpack some of the specific ways in which education and knowledge may affect health.<sup>23 24</sup>
- Ill health in childhood could limit educational attendance and/or attainment and predispose to adult disease, generating a health selection influence on health inequalities.<sup>25</sup>

#### Strengths and limitations

Education is comparatively easy to measure in self administered questionnaires, garners a high response rate, and is relevant to people regardless of age or working circumstances, unlike many other SEP indicators.<sup>3</sup> In addition, the

collection of information on education may be less contentious in some contexts than other SEP indicators such as income.

The meaning of educational level varies for different birth cohorts. In addition to secular trends in improving educational attainment, there have been considerable changes in educational opportunities for women and some minority groups over recent decades. Such cohort effects can be important but are seldom accounted for in epidemiological studies. The results from studies that use years of education or educational qualifications that include participants from a number of different birth cohorts may be biased if cohort effects are not taken into account, because older cohorts will be over-represented among those classified as less educated.<sup>26</sup> There are examples of how cohort effects have been accounted for in epidemiological studies. In one study the authors classified participants into low, medium, or high levels of education, these categories being defined with specific relevance to their birth cohort.<sup>16</sup> This will help account for the fact that cohorts born earlier who have, in absolute terms, fewer years of education, may be classified in the same relative group of education than cohorts born later, despite these having greater absolute number of years of education. Another option is to stratify the analysis by age group, for example examining health inequalities by educational attainment within five year age groups.<sup>27</sup> A further limitation of educational levels exists if individuals have obtained their education outside the country of residence—that is, in a different educational regime in which indicators of education may have very different implications than within the host country. Finally, measuring the number of years of education or levels of attainment may contain no information about the quality of the educational experience, which is likely to be important if conceptualising the role of education in health outcomes specifically related to knowledge, cognitive skills, and analytical abilities but may be less important if education is simply used as a broad indicator of SEP.

## HOUSING TENURE, HOUSING CONDITIONS, AND HOUSEHOLD AMENITIES

### Theoretical basis

Housing characteristics measure material aspects of socioeconomic circumstances. Housing based indicators are used in industrialised and non-industrialised countries, although the characteristics assessed differ. Moreover, these may be very specific to the area where they were developed. A recent glossary presents some of these indicators.<sup>28</sup> We mention here those that are more directly related to SEP.

### Measurement

The most commonly used characteristic is *housing tenure*—whether housing is owner occupied (owned outright or being bought with a mortgage), or rented from a private or social landlord. In rural populations ownership of a farm and farm size may better define housing characteristics.<sup>29</sup>

A number of *household amenities* are used in epidemiological studies, including access to hot and cold water in the house, having central heating and carpets, sole use of bathrooms and toilets, whether the toilet is inside or outside the home, having a refrigerator, washing machine, or telephone. These household amenities are markers of material circumstances and may also be associated with specific mechanisms of disease. For example, lack of running water and a household toilet may be associated with increased risk of infection.<sup>29, 30</sup> In addition the meaning of these amenities will vary by context and cohort (see the example of car access below). Very few people in contemporary advanced industrial societies will be without running hot water, indoor toilet or

bathroom facilities and, therefore, some of these measures are not able to differentiate individuals in these populations. However, these indicators or other household amenities will have relevance in developing country populations (see below), and as indicators of childhood SEP in older adults in contemporary developed country populations (see for example their use in some articles<sup>12, 31, 32</sup>). One amenity that has proved to be a useful SEP indicator in the UK, but that has been used less in other populations, is *car access*.<sup>33–35</sup> In rural areas of industrialised countries car ownership may not be a useful indicator of SEP as even the poorest households often own cars, out of sheer necessity.<sup>36</sup> In non-industrialised countries, other assets that have been used as indicators of SEP in health related research include the number of livestock, owning a bicycle, refrigerator, radio, sewing machine, TV, or a clock.<sup>37–39</sup>

In addition to household amenities, *household conditions* such as the presence of damp and condensation, building materials, rooms in the dwelling, and *overcrowding* are housing related indicators of material resources. These are used in both industrialised and non-industrialised countries.<sup>40–43</sup> Crowding is calculated as the number of persons living in the household per number of rooms available in the house (usually excluding kitchen and bathrooms). Overcrowding is then defined as being above a specific threshold (commonly two or more people per room). Overcrowding can plausibly affect health outcomes through a number of different mechanisms: overcrowded households are often households with few economic resources and there may also be a direct effect on health through facilitation of the spread of infectious diseases.

Recent efforts to better understand the mechanisms underlying socioeconomic inequalities in health have led to the development of some innovative area level indicators that use aspects of housing. For example, a “*broken windows*” index measured housing quality, abandoned cars, graffiti, trash, and public school deterioration at the census block level in the USA.<sup>44</sup> This indicator was more useful in explaining the variance in gonorrhoea rates than a poverty index that included income, unemployment, and low education. Similarly, an indicator of the “*social standing of the habitat*” combined characteristics of the building, their immediate surroundings and the local neighbourhood of residential buildings can be used to assign SEP.<sup>45</sup> Concordance of this measure with education or occupation was good for people of either high or low socioeconomic position, but not for those with medium education and/or occupation, showing the heterogeneity of socioeconomic circumstances among people labelled as middle class.<sup>45</sup>

### Interpretation

These indicators are mainly markers of material circumstances. Housing is generally the key component of most people’s wealth, and accounts for a large proportion of the outgoings from income. Housing (and its context) is an important, multifaceted and sometimes difficult to interpret indicator of SEP. As discussed above, some housing characteristics may be direct exposures or markers of exposures for specific diseases.

### Strength and limitations

Housing characteristics and amenities are extensively used as measures of SEP. They are comparatively easy to collect and may also provide some indications of specific mechanisms linking SEP to particular health outcomes (for example, crowding). Their main limitation is that, although measuring the same underlying concept, these indicators may be specific to the temporal and geographical context where they were developed and thus be difficult to compare across studies.

## INCOME

### Theoretical basis

Income is the indicator of SEP that most directly measures the material resources component. As with other indicators such as education, income has a "dose-response" association with health,<sup>46,47</sup> and can influence a wide range of material circumstances with direct implications for health.<sup>2,3</sup> Income also has a cumulative effect over the life course<sup>48</sup> and is the SEP indicator that can change most on a short term basis, although this dynamic aspect is rarely taken into account in epidemiological studies.<sup>49</sup> It is implausible that money in itself directly affects health, thus it is the conversion of money and assets into health enhancing commodities and services via expenditure that may be the more relevant concept for interpreting how income affects health. Consumption measures are, however, rarely used in epidemiological studies.

### Measurement

People can either be asked to report their absolute income or can be asked to place themselves within predefined categories. Most often income of the household rather than of individuals is measured. While individual income will capture individual material characteristics, household income may be a useful indicator, in particular for women, who may not be the main earners in the household. Using household income information to apply to all the people in the household assumes an even distribution of income according to needs within the household, which may or may not be true. For income to be comparable across households, additional information on family size or the number of people dependent on the reported income should be elicited.<sup>1</sup> This can be then transformed into "equivalised income",<sup>47,50</sup> which adjusts for family size and its associated costs of living.<sup>3</sup>

Income may be measured as a relative indicator establishing levels of *poverty* (for example, percentage above or below the official poverty level in a given year<sup>48</sup>).

### Interpretation

Income primarily influences health through a direct effect on material resources that are in turn mediated by more proximal factors in the causal chain such as behaviours. The mechanisms through which income could affect health are:

- Buying access to better quality material resources such as food and shelter.
- Allowing access to services, which may improve health directly (such as health services, leisure activities) or indirectly (such as education).
- Fostering self esteem and social standing by providing the outward material characteristics relevant to participation in society.
- Reverse causality may also be considered as income level can be affected by health status.

### Strengths and limitations

Income is arguably the best single indicator of material living standards. There is evidence that personal income is a sensitive issue and people may be reluctant to provide such information,<sup>51</sup> although this may have been overstated.<sup>52</sup> In different settings (including different countries, different birth cohorts, different sexes) income may be a more or less "sensitive" indicator (with respect to participants' willingness to disclose this information accurately) relative to educational attainment and occupation. Ideally we want to be able to collect disposable income as this reflects what individuals/households can actually spend, but often we

collect gross incomes or incomes that do not take account of in-kind transfers that function as hypothesized income (such as food stamps in the USA). While income may be a sensitive question and potentially subject to greater non-response than other SEP questions, more sophisticated methods for eliciting accurate income information (especially for in-person interviews) have been developed, but of course these come at a cost of having to devote more space and time to collect these data. The meaning of current income for different age groups may vary and be most sensitive during the prime earning years. Income for young and older adults may be a less reliable indicator of their true SEP because income typically follows a curvilinear trajectory with age.

## OCCUPATION BASED MEASURES

### Theoretical basis

Occupation based indicators of SEP are widely used. Occupation can: represent Weber's notion of SEP as a reflection of a person's place in society related to their social standing, income and intellect; characterise working relations between employers and employees; or, less frequently, characterise people as exploiters or exploited in class relations.

### Measurement

Most studies use the current or longest held occupation of a person to characterise their adult SEP. However, with increasing interest in the role of SEP across the life course, some studies include parental occupation as an indicator of childhood SEP in conjunction with individuals' occupations at different stages in adult life.<sup>53</sup> Occupational measures are in some sense transferable: measures from one individual, or combinations of several individuals, can be used to characterise the SEP of others connected to them. For example, the occupation of the "head of the household", or the "highest status occupation in the household", can be used as an indicator of the SEP of dependants (for example, spouse, children) or the household as a unit.

### Interpretation

Different occupational classification schemes measure particular aspects of SEP, although it may be difficult to disentangle the specific effects of individual indicators. Some of the more general mechanisms that may explain the association between occupation and health related outcomes are presented here (for each classification we highlight the specific aspect it focuses on):

- Occupation (parental or own adult) is strongly related to income and therefore the association with health may be one of a direct relation between material resources—the monetary and other tangible rewards for work that determines material living standards—and health.
- Occupations reflect social standing and may be related to health outcomes because of certain privileges—such as easier access to better health care, access to education, and more salubrious residential facilities—that are afforded to those of higher standing.
- Occupation may reflect social networks, work based stress, control, and autonomy and thereby affect health outcomes through psychosocial processes.
- Occupation may also reflect specific toxic environmental or work task exposures such as physical demands (for example, transport driver, labourer).

### Strengths and limitations

An important strength of these measures is their availability in many routine data sources, including census data and on death certificates. One of the most important limitations of

occupational indicators is that they cannot be readily assigned to people who are not currently employed. As a result, if used as the only source of information on SEP, socioeconomic differentials may be underestimated through the exclusion of some of the population.<sup>34</sup> Groups commonly excluded are retired people, people whose work is inside the home (mainly affecting women), the unemployed, students, and people working in unpaid, informal, or illegal jobs. Although previous occupation can be assigned to those who are retired and to some unemployed people, and husband's occupation is often used to assign women's SEP, this may inadequately index current social circumstances. Furthermore, other groups are less readily defined or willing to disclose their "occupation". People who are self employed can be difficult to classify, for example it is unclear in some occupationally based classifications whether someone who is a self employed builder with a team of 20 workers working for her is classified as a manager or a skilled manual worker. Some contemporary classification systems (see part 2) operationalise the classification of the self employed in a more meaningful way.

As with education, occupation may have different meanings for different birth cohorts and in different geographical settings (which may make international comparisons problematic). For example, for older generations the allocation of a husband's occupation to define a woman's SEP may have been appropriate and acceptable, but this is unlikely to be the case for many contemporary working populations where the participation rates of women, and their expectations of recognition, are much higher. Cohort influences are also relevant in terms of the changing structure and composition of the workforce—in industrialised societies fewer contemporary school leavers go into unskilled or semi-skilled occupations, whereas computer or IT based occupations are increasingly common. Additionally, the exposure consequences of working in different jobs may change with the advent of stricter occupational health legislation and new technologies that eliminate toxic exposures.

The second part of the glossary continues by describing specific occupation based indicators.

#### Authors' affiliations

**B Galobardes, M Shaw, D A Lawlor, G Davey Smith**, Department of Social Medicine, University of Bristol, Bristol, UK

**M Shaw**, South West Public Health Observatory, UK

**J W Lynch**, Department of Epidemiology, School of Public Health and Center for Social, Epidemiology and Population Health, University of Michigan, USA

Funding: The work of JWL and GDS is supported (in part) by a Robert Wood Johnson Foundation Investigators Award in Health Policy Research. Funds from this award also partly support BG. MS is funded by the South West Public Health Observatory. DAL is funded by a UK Career Scientist Award. The views expressed in this paper are those of the authors and not necessarily any funding bodies.

Conflicts of interest: none declared.

#### REFERENCES

- Krieger N, Williams DR, Moss NE. Measuring social class in US public health research: concepts, methodologies, and guidelines. *Annu Rev Public Health* 1997;18:341-78.
- Lynch J, Kaplan G. Socioeconomic position. In: Berkman LF, Kawachi I, eds. *Social epidemiology*. 1st ed. Oxford: Oxford University Press, 2000:13-35.
- Liberatos P, Link BG, Kelsey JL. The measurement of social class in epidemiology. *Epidemiol Rev* 1988;10:87-121.
- Krieger N. A glossary for social epidemiology. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:693-700.
- Kawachi I, Subramanian SV, Almeida-Filho N. A glossary for health inequalities. *J Epidemiol Community Health* 2002;56:647-52.
- Bartley M. Measuring socio-economic position. In: Bartley M, ed. *Health inequality: an introduction to theories, concepts and methods*. Cambridge: Polity Press, 2004:22-34.
- Lawlor DA, Davey Smith G, Ebrahim S. Socioeconomic position and hormone replacement therapy use: explaining the discrepancy in evidence from observational and randomised controlled trials. *Am J Public Health* 2004;94:2149-54.
- Snow J. On the supposed influence of offensive trades on mortality. *Lancet* 1856;ii:95-7.
- Davey Smith G. Behind the Broad Street pump: aetiology, epidemiology and prevention of cholera in mid-19th century Britain. *Int J Epidemiol* 2002;31:920-32.
- Davey Smith G, Gunnell D, Ben Shlomo Y. Life course approaches to socioeconomic differentials in cause-specific adult mortality. In: Leon D, Walt G, eds. *Poverty, inequality and health: an international perspective*. Oxford: Oxford University Press, 2001:88-124.
- Bartley M, Sacker A, Firth D, et al. Understanding social variation in cardiovascular risk factors in women and men: the advantage of theoretically based measures. *Soc Sci Med* 1999;49:831-45.
- Lawlor DA, Davey Smith G, Kundu D, et al. Those confounded vitamins: what can we learn from the differences between observational versus randomised trial evidence? *Lancet* 2004;363:1724-7.
- Wright EO. *Classes*. London: New Left Books, 1985.
- Lombardi C, Bronfman M, Facchini LA, et al. Operationalization of the concept of social class in epidemiologic studies [Operacionalizaco do conceito de classe social em estudos epidemiológicos]. *Rev Saude Publica* 1988;22:253-65.
- Bartley M. *Health inequality: an introduction to theories, concepts and methods*. Cambridge: Polity Press, 2004.
- Beebe-Dimmer J, Lynch JW, Turrell G, et al. Childhood and adult socioeconomic conditions and 31-year mortality risk in women. *Am J Epidemiol* 2004;159:481-90.
- Davey Smith G, Hart C, Hole D, et al. Education and occupational social class: which is the more important indicator of mortality risk? *J Epidemiol Community Health* 1998;52:153-60.
- Yen IH, Moss N. Unbundling education: a critical discussion of what education confers and how it lowers risk for disease and death. *Ann N Y Acad Sci* 1999;896:350-1.
- Fuchs VR. Economics, health, and post-industrial society. *Milbank Mem Fund Q Health Soc* 1979;57:153-82.
- Blane D. Explanations of the difference in mortality risk between different educational groups. *Int J Epidemiol* 2003;32:355.
- White IR, Blane D, Morris JN, et al. Educational attainment, deprivation-affluence and self reported health in Britain: a cross sectional study. *J Epidemiol Community Health* 1999;53:535-41.
- Morris JN, Blane DB, White IR. Levels of mortality, education, and social conditions in the 107 local education authority areas of England. *J Epidemiol Community Health* 1996;50:15-17.
- Kelleher J. Cultural literacy and health. *Epidemiology* 2002;13:497-500.
- Kaufman JS. What'ya know? Another view on cultural literacy. *Epidemiology* 2002;13:500-3.
- Davey Smith G, Blane D, Bartley M. Explanations for socio-economic differentials in mortality. Evidence from Britain and elsewhere. *Eur J Public Health* 1994;4:131-44.
- Hadden WC. The use of educational attainment as an indicator of socioeconomic position. *Am J Public Health* 1996;86:1525-6.
- Silvonen AP, Kunst AE, Lahelma E, et al. Socioeconomic inequalities in health expectancy in Finland and Norway in the late 1980s. *Soc Sci Med* 1998;47:303-15.
- Howden-Chapman P. Housing standards: a glossary of housing and health. *J Epidemiol Community Health* 2004;58:162-8.
- Shaw M. Housing and public health. *Annu Rev Public Health* 2004;25:397-418.
- Dedman DJ, Gunnell D, Davey Smith G, et al. Childhood housing conditions and later mortality in the Boyd Orr cohort. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:10-15.
- Claussen B, Davey Smith G, Thelle D. Impact of childhood and adulthood socioeconomic position on cause specific mortality: the Oslo mortality study. *J Epidemiol Community Health* 2003;57:40-5.
- Lawlor DA, Ebrahim S, Davey Smith G. The association of socio-economic position across the life course and age at menopause: the British women's heart and health study. *BJOG* 2003;110:1078-87.
- Macintyre S, Ellaway A, Der G, et al. Do housing tenure and car access predict health because they are simply markers of income or self esteem? A Scottish study. *J Epidemiol Community Health* 1998;52:657-64.
- Abramson JH, Gofin R, Habib J, et al. Indicators of social class. A comparative appraisal of measures for use in epidemiological studies. *Soc Sci Med* 1982;16:1739-46.
- Davey Smith G, Shipley MJ, Rose G. Magnitude and causes of socioeconomic differentials in mortality: further evidence from the Whitehall study. *J Epidemiol Community Health* 1990;44:265-70.
- Ashana S, Holliday J, Brigham P, et al. *Rural deprivation and service need: a review of the literature and an assessment of indicators for rural service planning*. Bristol: South West Public Health Observatory, 2002.
- Filmer D, Pritchett LH. Estimating wealth effects without expenditure data—or tears: an application to educational enrollments in states of India. *Demography* 2001;38:115-32.
- Montgomery MR, Gragnolati M, Burke KA, et al. Measuring living standards with proxy variables. *Demography* 2000;37:155-74.
- Cortinovis I, Vella V, Ndiku J. Construction of a socio-economic index to facilitate analysis of health data in developing countries. *Soc Sci Med* 1993;36:1087-97.
- Banguero H. Socioeconomic factors associated with malaria in Colombia. *Soc Sci Med* 1984;19:1099-104.

- 41 Kuate-Defo B. Determinants of infant and early childhood mortality in Cameroon: the role of socioeconomic factors, housing characteristics, and immunization status. *Soc Biol* 1994;41:181-211.
- 42 Lenz R. Jakarta kampung morbidity variations: some policy implications. *Soc Sci Med* 1988;26:641-9.
- 43 Marsella AJ, Escudero M, Brennan J. Goal-striving discrepancy stress in urban Filipino men: II. Housing. *Int J Soc Psychiatry* 1975;21:282-91.
- 44 Cohen D, Spear S, Scribner R, et al. "Broken windows" and the risk of gonorrhoea. *Am J Public Health* 2000;90:230-6.
- 45 Galobardes B, Morabia A. Measuring the habitat as an indicator of socioeconomic position: methodology and its association with hypertension. *J Epidemiol Community Health* 2003;57:248-53.
- 46 Backlund E, Sorlie PD, Johnson NJ. The shape of the relationship between income and mortality in the United States. Evidence from the national longitudinal mortality study. *Ann Epidemiol* 1996;6:12-20.
- 47 Ecob R, Davey Smith G. Income and health: what is the nature of the relationship? *Soc Sci Med* 1999;48:693-705.
- 48 Lynch JW, Kaplan GA, Shema SJ. Cumulative impact of sustained economic hardship on physical, cognitive, psychological, and social functioning. *N Engl J Med* 1997;337:1889-95.
- 49 Duncan GJ, Daly MC, McDonough P, et al. Optimal indicators of socioeconomic status for health research. *Am J Public Health* 2002;92:1151.
- 50 McClements LD. Equivalence scales for children. *Journal of Public Economics* 1977;8:191-210.
- 51 Turrell G. Income non-reporting: implications for health inequalities research. *J Epidemiol Community Health* 2000;54:207-14.
- 52 Dorling D. Who's afraid of income inequality? *Environment and Planning A* 1999;31:571-4.
- 53 Davey Smith G, Lynch JW. Life course approaches to socioeconomic differentials in health. In: Kuh D, Ben-Shlomo Y, eds. *A life course approach to chronic disease epidemiology*. London: BMJ Books, 2004:77-115.
- 54 Martikainen P, Valkonen T. Bias related to the exclusion of the economically inactive in studies on social class differences in mortality. *Int J Epidemiol* 1999;28:899-904.

## ECHO

### Evaluation of the National Congenital Anomaly System in England and Wales

T Misra, N Dattani, A Majeed



Please visit the *Journal of Epidemiology and Community Health* website [[www.jech.com](http://www.jech.com)] for a link to the full text of this article.

**Objective:** To evaluate the National Congenital Anomaly System (NCAS).

**Methods:** The NCAS in England and Wales based at the Office for National Statistics and the various regional registers that exchange data with it were examined, based on guidelines for evaluating public health surveillance systems, published by the Centres for Disease Control (CDC). Data relating to congenital anomaly notifications received from 1991 to 2002 were analysed.

**Main outcome measures:** The main outcome measures were based on CDC standards and included the level of usefulness of the system, simplicity, flexibility, data quality, acceptability, sensitivity, representativeness, timeliness, and stability of the system.

**Results:** The NCAS has two main tiers: the "passive" system of voluntary notifications and the anomaly registers, but many reporting sources within these. It receives about 7000 notifications a year. It is inflexible and has variable data quality. The voluntary nature of reporting affects the system's acceptability. The sensitivity as compared with two regional registers (Trent and Wales) is about 33%. The congenital anomaly registers reporting to the NCAS achieve high levels of coverage and completeness. From 2003, they cover 42% of all births and account for the major proportion of the notifications.

**Conclusions:** The NCAS serves the important function of monitoring birth defects in England and Wales, but is not currently operating in a timely or effective way. It should be adapted to meet its main objectives more effectively. More regional anomaly registers should be instituted and existing registers supported through central funds.

▲ *Archives of Disease in Childhood Fetal and Neonatal Edition* 2005;90:F368-F373.



## GLOSSARY

## Indicators of socioeconomic position (part 2)

Bruna Galobardes, Mary Shaw, Debbie A Lawlor, John W Lynch, George Davey Smith

*J Epidemiol Community Health* 2006;60:95-101. doi: 10.1136/jech.2004.028092

This is the second part of a glossary on indicators of socioeconomic position used in health research (the first part was published in the January issue of the journal).

UK National Statistics socioeconomic classification as its official occupation classification (see below). Despite limitations the registrar general's social class system has been widely used to describe the socioeconomic gradient of health outcomes.

### OCCUPATIONAL BASED MEASURES (CONTINUED FROM FIRST PART OF THE GLOSSARY)

#### British occupational based social class (prior to 1990 known as the registrar general's social class)

##### Theoretical basis

The practice of classifying the population in Britain according to occupation and industry began as early as 1851 but it was not until the registrar's general's annual report for 1911 that occupation and industry were differentiated with a summary of occupations representing "social grades" separately presented. The main initial purpose was the analysis of fertility data, although mortality was also analysed; indeed there is evidence suggesting that revisions to the classification were constructed "in the light of knowledge of mortality rates".<sup>1</sup>

This scale is based on the prestige or social standing that a given occupation has in society. After revisions in 1990 this measure was more explicitly related to the skills needed to perform a particular occupation.<sup>1</sup> It is widely used in Britain and in other European countries.

##### Measurement

Occupations are categorised into six levels or classes (table 1), ranked from higher to lower prestige, which can also be reduced to two broad categories of manual and non-manual occupations; a seventh category includes all people in the armed forces irrespective of their rank therein, which is generally excluded in health studies.

##### Strengths and limitations

A key strength of this measure is its past official status in Britain and hence its widespread use in vital statistics, as well as many population censuses and surveys over a long time period. Adaptations have been extensively used in other countries, making comparability between studies easier. However, a key limitation is the subjectivity of its theoretical basis. In addition, it does not account for recent changes in the occupational structure, such as the increase in service jobs and the decrease in unskilled and semi-skilled manual occupations, or the increasing number of women in the labour market. Based on these criticisms, the Office for National Statistics in the UK has since 2000 used the new

##### Interpretation

As (theoretically) a measure of prestige or social standing, it could be argued that the relation of this classification to health should be interpreted as due to the advantages bestowed by elevated social standing and increased prestige. In practice it is often interpreted as an indicator of both social standing and material reward and resources.

#### The Cambridge scale (or CAMSIS, the Cambridge social interaction and stratification scale)

##### Theoretical basis

This scale uses patterns of social interaction to determine the nature of social structure and a person's position within it; it is a hierarchical measure of social distance. The distance is defined by similarities in the lifestyles, social interactions, and resources that occupational groups share and is thus based on Weberian notions of what is important about social stratification.<sup>2,3</sup> The scale was originally constructed by grouping occupations according to friendship, which gave a numerical indication of how similar (socially close) or dissimilar (socially distant) any two occupations were.<sup>2</sup>

##### Measurement

The Cambridge scale provides a continuous measure that can be categorised into groups from the most to least advantaged (table 1). Although this classification bears resemblance to the registrar general's, its derivation (based on actual social networks rather than perceived status) means that some occupations will be differently classified by the two systems.<sup>2</sup>

##### Interpretation

The scale reflects general social and material advantage, and because it is based on social interaction it is also considered to represent lifestyles and health behaviours.<sup>2,4</sup>

#### Erikson and Goldthorpe class schema (also known as the Goldthorpe schema)

##### Theoretical basis

This classification is based on employment relations, classifying occupations that entail relations based on high levels of trust and independent working practices combined with delegated authority, to occupations based on a labour contract with very little job control.<sup>4,5</sup>

See end of article for  
authors' affiliations

Correspondence to:  
Dr B Galobardes,  
Department of Social  
Medicine, University of  
Bristol, Canynge Hall,  
Whiteladies Road, Bristol  
BS8 2PR, UK; bruna.  
galobardes@bristol.ac.uk

Accepted for publication  
3 September 2004

**Table 1** Occupational based socioeconomic indicators: theoretical basis and group allocation

Prestige, skills	Working relations	Social distance (in lifestyle, social interactions, resources)	Property of means of production and class relations—social class
<b>Registrar general's social class</b>	<b>Ericson and Goldthorpe class scheme</b>	<b>Cambridge Scale</b>	<b>Wright</b>
I Professional	I Higher grade professionals, administrators and officials; managers in large industrial establishments; large proprietors	Continuous scale, can be arbitrarily grouped	1 Capitalist
II Intermediate	II Lower grade professionals, administrators and officials; higher grade technicians; managers in small industrial establishments; supervisors of non-manual employees		2 Small employer
III-N Skilled non-manual	IIIa Routine non-manual: higher		3 Petty bourgeoisie
III-M Skilled manual	IIIb Routine non-manual: lower		4 Expert manager
IV Partly skilled	IVa Small proprietors with employees	I Least advantaged	5 Skilled manager
V Unskilled	IVb Self-employed without employees	II	6 Non-skilled manager
VI Armed forces	IVc Farmers/smallholders	III	7 Expert supervisor
	V Foremen and technicians	IV	8 Skilled supervisor
	VI Skilled manual	.... Most advantaged	9 Non-skilled supervisor
	VIIa Semi and unskilled manual		10 Experts
	VIIb Agricultural workers		11 Skilled workers
			12 Non-skilled workers
<b>Education and income</b>			
<b>American census classification</b>	<b>UK National Statistics classification (NS-SEC)</b>		<b>Lombardi, et al.</b>
I Managerial and professional	1 Higher managerial and professional employers		Underproletariat (unemployed and seasonal workers)
II Technical, sales and administrative support	2 Lower managerial and professional		Typical proletariat (unskilled and semiskilled workers in manual occupations)
III Service occupations	3 Intermediate employees		Atypical proletariat (unskilled and semiskilled in commerce and services)
IV Farming, forestry, fishing	4 Small employers and own account workers		Traditional small bourgeoisie (self employed, small business owners)
V Precision production, craft, repair	5 Lower supervisory, craft and related employees		New small bourgeoisie (university-trained professionals)
VI	6 Employees in semi-routine occupations		Bourgeoisie (large business owners)
	7 Employees in routine occupations		
	8 Never worked and long term unemployed		

This scheme does not have an implicit hierarchical rank and therefore it does not necessarily capture a gradient in health across its groups. It has been used as an indicator of socioeconomic position in international comparisons of socioeconomic inequalities in health across Europe.<sup>6-8</sup>

### Measurement

Occupations are classified into 11 groups. This classification is not a hierarchy (despite the numbering that is used to refer to each group) (table 1).

### Interpretation

Differences in health outcomes between groups can be mainly attributed to differences in working relations and work autonomy; different contract and reward system terms of remuneration; and different job promotion prospects.<sup>4</sup> However, the scheme also inherently reflects material resources as aspects of employment relations such as decision latitude are often co-terminus with material rewards accorded to different types of jobs.<sup>9</sup>

### Strengths and limitations

This classification has a clear theoretical basis and it has been used in international comparisons. In addition, several studies have been conducted that permit assessment of its construct and criterion validity. However, working relations are likely to change over time and, therefore this scheme will also require continuous updating.<sup>10</sup>

### Marxist based social class classifications

#### Theoretical basis

These indicators are based on Marx's theory of class and therefore categorise people as to whether they are exploited workers or those who own the means of production. Strictly speaking, this is the correct interpretation of *social class* as first

coined by Marx. However, in practice the terms socioeconomic position and social class are frequently used interchangeably in the epidemiological literature and the British registrar general's occupation based classification (although not based on Marxist theory) is referred to as social class.<sup>11</sup>

### Interpretation

The results reported using these classifications in relation to health outcomes are explained in terms of exploitation between classes and in terms of the conflict generated by contradictory locations within this class system.<sup>12</sup>

To our knowledge there have been two explicit adaptations of Marx's theory of social class that take into account contemporary employment and social circumstances.

#### (a) Wright's social class classification

In this scheme people are classified according to the interplay of three forms of exploitation: (a) ownership of capital assets, (b) control of organisational assets, and (c) possession of skills or credential assets. This defines 12 locations (see figure 1) where cells 1 and 2 represent the capitalist class, cell 3 the petty bourgeoisie or self employed, cells 4 to 10 include contradictory class locations, and cells 11 and 12 the working class. People in the contradictory class locations belong simultaneously to the capitalist and the working class (capitalist in terms of controlling skills and credentials and exploiting workers; workers because they do not own capital assets and are controlled by capitalists).<sup>13, 14</sup> In his later book, Wright uses variations of this classification. For example, in analysing time trends of the American class structure he used an eight location classification: employers, petty bourgeoisie, managers, supervisors, expert managers, experts, skilled workers, and workers. In a permeability analysis (analysis of friendship ties, family composition, and intergenerational

	Relation to means of production				
	Owners	Non-owners			
Own sufficient capital to hire workers and does not work	1 Bourgeoisie	4 Expert managers	7 Semi-credentialed managers	10 Uncredentialed managers	+
Own sufficient capital to hire workers but must work	2 Small employer	5 Expert supervisors	8 Semi-credentialed supervisors	11 Uncredentialed supervisors	> 0
Own sufficient capital to work for self but cannot hire workers	3 Petty bourgeoisie	6 Expert non-managers	9 Semi-credentialed workers	12 Proletarians	-
		+	> 0	-	
		Relation to skills/credentials			

Figure 1 Wright's social class classification.

class mobility) Wright operationalises the social class classification in employers, petty bourgeoisie, experts managers, managers/supervisors, professionals, skilled workers, and workers.<sup>13</sup> Some of these variations were driven by data availability and by theoretical reasons, as was the case for a different operationalisation of the skill dimension in the permeability analysis.<sup>15</sup>

In the USA, Muntaner *et al.*,<sup>16 17</sup> Schwalbe and Staples,<sup>18</sup> and Krieger *et al.*<sup>11</sup> have used Wright's classification in epidemiological research. Among others, Wright's social class scheme has also been used in studies conducted in Spain<sup>12</sup> and in Israel.<sup>19 20</sup> Macleod *et al.*, in the UK, have applied Wright's notion of contradictory class location to investigate the role of material circumstances versus perceived social status on health.<sup>21</sup>

#### (b) Lombardi *et al* social class classification

The other social class indicator based on Marx's theories originated in Brazil.<sup>22 23</sup> Similar to Wright's classification, it highlights new contradictory categories of skilled people working for a salary but being in the position to exploit other workers, as well as the increasing proportion of people working in the commerce or service sector who may also be both exploiters and exploited. It classifies occupations into six groups (table 1).

#### Other occupation based classifications

There are a number of country specific occupation based classifications based on combinations of occupation, education and/or income information, or of adaptations of the UK registrar social class classification.<sup>24</sup> They have often been developed in national statistical offices and are used in census and survey information originating within each country.<sup>25-27</sup> As an example, the Edwards' socioeconomic scheme is used in the US census and in North American studies.<sup>28</sup> It is based on the educational and income level required for each occupation and is thus similar (at least in terms of interpretation) to the British registrar general's scale (table 1). It classifies occupations into 13 categories that are often collapsed into a smaller number of major socioeconomic groups.<sup>29 30</sup>

In addition, readers are directed to earlier reviews for more complete descriptions of measures that are less commonly used in contemporary epidemiological research, for example, the Nam-Powers classification, Siegel's prestige scale, and Treiman's standard international occupational prestige scale.<sup>28</sup>

#### UK National Statistics socioeconomic classification (NS-SEC)

From 2000 the UK NS-SEC has replaced the registrar general's social class and another official classification, socioeconomic groups SEG (for details on the history, process, and conversion between these schemes consult the UK National Statistics web page [http://www.statistics.gov.uk/methods\\_quality/ns\\_sec/default.asp](http://www.statistics.gov.uk/methods_quality/ns_sec/default.asp)). The NS-SEC is now used in all official statistics and surveys in the UK.

#### Theoretical basis

The NS-SEC is explicitly based on differences between employment conditions and relations, similar to the Erikson and Goldthorpe class schema.<sup>31</sup> People are placed in groups according to occupations with different employment relations and conditions—such as whether they have a wage rather than a salary, their prospects for promotion, and levels of autonomy.

#### Measurement

Occupations are usually grouped into 7, 5, or 3 (plus an additional category of "never worked and long term unemployed") (table 1). Only the grouping that collapses into three categories can be considered as hierarchical.

#### Interpretation

The direct interpretation of this association would be that the conditions and relations of employment have an effect upon health; although, again, differences in material resources will exist between the groups. This classification is related to health outcomes and life expectancy.<sup>32</sup>

#### Strengths and limitations

Similar to the Erikson and Goldthorpe classification (see above)

#### PROXY INDICATORS

##### Theoretical basis

When direct measures of SEP are not available, some researchers use proxy indicators. These indicators can be strongly correlated with SEP and in some cases may provide insight into the mechanism that explains the underlying association of SEP and a particular health outcome (for example the association of number of siblings and respiratory infection).

### Measurement

*Number of siblings* has been used on the basis that in some contemporary industrialised societies larger numbers of children are associated with poorer SEP.<sup>32-34</sup> This is not necessarily the case in other populations or societies. Number of siblings may have a direct effect on health outcomes as it may increase the risk of early life infection. However, it may also reflect other mechanisms through which family size can affect health outcomes in individuals and family members. For example, the positive association between parity and coronary heart disease among women may in part reflect family lifestyle resulting in obesity in all family members and in part reflect pathophysiological processes related to large numbers of pregnancies.<sup>35</sup>

*Infant and maternal mortality* rates have been used as ecological measures of an area or country SEP.<sup>36</sup> Other characteristics such as *maternal marital status*, having a *single mother* or being an *orphan*, *illegitimacy*, *broken family*, and *death of father or mother* at an early age, are circumstances that often result in low SEP (for example, unemployment due to the inability of obtaining a flexible job and economic hardship can be associated with single motherhood). Several studies report worse health in these subgroups.<sup>37-40</sup> However, adverse health outcomes could also be caused by other factors associated with these circumstances but unrelated to SEP. For example, infant and maternal mortality may reflect climate factors leading to infection diseases (for example, malaria infection) in addition to reflecting SEP; broken family, or death of mother/father at an early age, could lead to ill health due to depression.

### Strength and limitations

These are not indicators of SEP in itself but because of their strong correlation they may provide valuable information when direct measures are not available. It is important to always consider alternative explanations of their association with health outcomes. In addition, their association with socioeconomic circumstances can differ depending on the context. For example, number of siblings may be a marker of lower SEP in some, although not all, industrialised societies and may not be related at all with SEP in other settings.

### WEALTH

Wealth is a continuous measure that combines total assets and income (see housing and income in part 1 of the glossary). Its relation to health assumes that income in combination with total assets is a better measure of someone's socioeconomic circumstances and therefore a better predictor of health than income alone. In addition to income, wealth includes financial and physical assets such as the value of housing, cars, investments, inheritance or pension rights.<sup>16</sup> The relative importance of wealth compared with income may change over the life course (wealth being more important in older age due to the accumulation of wealth and the impact of retirement on income<sup>41</sup>) or in population subgroups (for example, for a given level of income, African American and Hispanic households have less wealth than white households<sup>42</sup>).

### WORKING LIFE INDICATORS AND EXCLUSION FROM THE LABOUR MARKET

People that cannot be classified in occupation based classifications can constitute a separate category. *Unemployment* can be used as an indicator based on exclusion from the workforce. Other work related indicators that can be used to measure SEP are *job insecurity* and *type of employment*.<sup>43</sup> These conditions are associated with worse objective and subjective health through a variety of mechanisms, for example, lack of material resources for those who are

unemployed, as well as social isolation, loss of self esteem, and the stress of potential job loss in conditions of job insecurity.

### COMPOSITE INDICATORS

A number of composite measures have been used to assess SEP at the individual level. However, the increasing interest in determining more specific mechanisms for—rather than merely describing—socioeconomic inequalities in health, has led to these measures being less frequently used.<sup>28-44</sup> On the other hand, composite indicators may be efficient when SEP is measured as a confounding factor rather than as the main exposure of interest, as these composite measures incorporate, and therefore, adjust for different aspects of SEP.

Individual studies have designed and used specific composite indices, often dependent on the data available to that particular study. This is most appropriate when SEP is a confounding variable of the association of interest or when the specific mechanisms determining inequalities are not the main focus of the study. Standard composite indicators are the following: *Hollingshead index of social position*,<sup>45</sup> *Duncan index*, *Nam-Powers socioeconomic status*, *Warner's index of status characteristics*.<sup>28</sup> They have not been updated with current changes in the occupational structure and have not often been used in recent years. For more detailed explanations of these indicators we refer the reader to earlier reviews.<sup>28</sup>

### AREA LEVEL MEASURES (INDICES OF DEPRIVATION)

Ecological, or area level, indicators are also used as measures of SEP. Most commonly these are aggregated from individual level or small area data, usually from census or other administrative databases. They can be used to characterise areas on a continuum from deprived to affluent (and are important for the allocation of public resources to areas) as well as a proxy for the SEP of the people living in those areas. In many studies one or more aggregate area measures, for example proportion of unemployed, proportion in blue collar or manual occupations, proportion with higher education in an area, are used with no attempt to combine measures into a composite score. In Britain a number of composite area level measures of SEP (referred to as indicators or indices of deprivation) have been developed for use in health related research and are increasingly used in other countries. The *Townsend deprivation index* is a measure of multiple deprivation using four variables from the (British) 1991 census: unemployment (defined as the proportion of economically active residents aged 16-64 who are unemployed), the proportion of households with no car, the proportion of households that are not owner occupied, and the proportion of households with overcrowding (>1 person per room).<sup>46</sup> The Townsend score for each area is a summation of the standardised scores (z scores) for each variable; a greater score indicates higher levels of material deprivation. Other similar indices are the *Carstairs deprivation index*<sup>47</sup> and the *Jarman or underprivileged area (UPA) score*.<sup>48</sup>

The *Breadline Britain index* has different conceptual origins.<sup>49</sup> This is a consensual measure of poverty, based on what people themselves understand and experience as the minimum acceptable standard of living in contemporary Britain. Combining survey data with census data, and using weights to account for the different probability subgroups in the population have of suffering from a particular type of deprivation,<sup>50</sup> this indicator is based on the proportions of: unemployment, people with no car, households non-owner occupied, lone parent households, households with persons with long term illness, unskilled and semi-skilled manual occupations (social class IV and V) in an area.<sup>11</sup> The Breadline Britain index thus includes a measure of health, and explorations of associations with health must take this into

account (a version of the index without this component can be derived). The Breadline Britain index (modified version) has been found to have a close relation with the geography of mortality in Britain.<sup>51</sup>

Recently, Krieger and colleagues evaluated the performance of different area socioeconomic measures in capturing the association with cause specific mortality and cancer incidence in the USA.<sup>52</sup> Interestingly, this work showed that among 11 single variable and eight composite measures it was "percentage of persons living below the US poverty line" that was best for use in surveillance of US socioeconomic differentials in mortality and cancer incidence.<sup>52</sup> The authors reached similar conclusions regarding other health outcomes such as low birth weight, childhood lead poisoning,<sup>53</sup> incidence of sexually transmitted diseases, tuberculosis, and non-fatal weapon related injuries.<sup>54</sup>

Area based indicators can be theorized as measures of the socioeconomic conditions of an area, and as such can have an independent influence on health. This idea is not new and in Britain has existed at least since Chadwick's time in the mid-1800s.<sup>55</sup> Increasing attention has been paid to the possibility that over and above individual characteristics, the place where a person lives can affect their health; "where" a person lives can be categorised as a neighbourhood, city, higher administrative areas (for example, health authority in the UK), region, or country.<sup>56-57</sup> Various indicators presented in this glossary can be used to capture the characteristics of these different levels. Studies investigating "area effects" tend to find small associations relative to the size of individual SEP effects, and it remains unclear whether the associations between area level measures of socioeconomic circumstances and health outcomes are related to the socioeconomic characteristics of where people live, independently of the (lifetime) characteristics of the people living in these areas.<sup>57-60</sup> This conceptual and empirical problem is especially pertinent when SEP is considered within a life course framework (see life course socioeconomic position below) and suggests historical information on both areas and individuals is required. The argument here is that adjustment for one single measure, which captures SEP at one point in time, is insufficient for capturing the full extent of individual effects.<sup>61</sup> An additional problem is that few area level indicators were conceptualised to measure area characteristics, and as we have noted above, they are usually formed from aggregates of individual level data.

Area measures are also used as proxies for individual level indicators when these are not available. In this case, given the misclassification of individual socioeconomic circumstances when measured by area characteristics, the association with health outcomes is likely to be underestimated.<sup>62</sup> The larger the areas the greater the misclassification will be. In addition, the variability in SEP picked up by the area level indicators will always be smaller than that of the individual level indicator, that is, the lowest value in area income will always be higher than the lowest individual income, and the other way around for the highest income.<sup>63</sup> However, if area characteristics have an independent effect on health outcomes, the association of individual SEP will be overestimated when area level indicators are used instead to predict individual level effects. Whether under or overestimation affects a given study will depend on the health outcomes under study, the area measures, and area size of every specific context.<sup>64-62</sup>

### LIFE COURSE SOCIOECONOMIC POSITION

Socioeconomic circumstances are a changing but ever present backdrop to all stages of the life course and thus it is important to think about SEP as a time varying exposure. There is increasing evidence that adverse SEP in early life,

independently of adult SEP, is a strong predictor of adult illness.<sup>61-64</sup> The indicators presented in the first part of this glossary, in addition to measuring different conceptual dimensions of SEP, can also capture information on SEP at different points in a person's life.<sup>66</sup> Therefore, a combination of these can be used to measure SEP at different times over the life course (see figure 1 in the first part of the glossary).

Several prospective studies report higher mortality among those who experience adverse socioeconomic position at different periods of the life course. A variety of mechanisms may explain these associations.<sup>67</sup> For example, infection with *Helicobacter pylori* during childhood plausibly explains the association between childhood deprivation and stomach cancer,<sup>68</sup> and suggests a critical period model for this health outcome.<sup>67</sup> On the other hand, coronary heart disease, ischaemic stroke, and chronic obstructive pulmonary disease seem to be influenced by factors acting across the entire life course and therefore may conform more to a cumulative risk model.<sup>69-73</sup> There is however an intrinsic problem in disentangling different life course processes (similar to differentiating age, cohort, and period effects).<sup>74</sup> Whether critical period, social mobility, accumulation of risks or combinations of these underlie the association between SEP and a given health outcome requires prior knowledge of the specific causal mechanisms.<sup>74</sup>

As the cumulative life course effect of adverse SEP on adult disease outcomes become more apparent, the need to adjust for different measures of SEP from across the life course in observational studies of exposures and outcomes that are strongly socially patterned is increasingly acknowledged.<sup>75</sup> It is unlikely that residual socioeconomic confounding can be ruled out by simple adjustment for one or perhaps two measures of SEP at a single point in time.<sup>76</sup>

### CONCLUDING REMARKS

SEP is key to understanding inequalities in health and is best considered as an umbrella term for a range of indicators and interconnected concepts. Individually and in aggregate, across the life course, time and place, a vast number of studies have shown how socioeconomic disadvantage is related to poorer health. A descriptive approach to considering this body of research emphasises the consistency of the associations and invokes ideas of "fundamental cause"<sup>77-78</sup> and the "general susceptibility"<sup>79</sup> of the disadvantaged. However, an aetiological framework needs to focus on the specificity of these associations.<sup>73</sup> The departure point for a more complete aetiological understanding of socioeconomic health differentials should be based on mechanistic specificity of links between particular SEP indicators (as described above) and different health outcomes. This approach seems fruitful in developing greater insights into the mechanisms that generate socioeconomic inequalities in health, in different places and times.<sup>73-80</sup>

#### Authors' affiliations

**B Galobardes, M Shaw, D A Lawlor, G Davey Smith**, Department of Social Medicine, University of Bristol, Bristol, UK  
**M Shaw**, South West Public Health Observatory, UK  
**J W Lynch**, Department of Epidemiology, School of Public Health and Center for Social, Epidemiology and Population Health, University of Michigan, USA

Funding: the work of JWL and GDS is supported (in part) by a Robert Wood Johnson Foundation Investigators Award in Health Policy Research. Funds from this award also partly support BG. MS is funded by the South West Public Health Observatory. DAL is funded by a UK Career Scientist Award. The views expressed in this paper are those of the authors and not necessarily any funding bodies.

Conflicts of interest: none declared.

## REFERENCES

- Rose M. *Official social classifications in the UK*. Guildford: University of Surrey, 1998.
- Prandy K. Class, stratification and inequalities in health: a comparison of the registrar-general's social classes and the Cambridge scale. *Sociology Health and Illness* 1999;21:466-84.
- Chandola T, Jenkinson C. The new UK National Statistics socio-economic classification (NS-SEC); investigating social class differences in self-reported health status. *J Public Health Med* 2000;22:182-90.
- Chandola T. Social inequality in coronary heart disease: a comparison of occupational classifications. *Soc Sci Med* 1998;47:525-33.
- Erikson R, Goldthorpe JH. *The constant flux*. Oxford: Clarendon Press, 1992.
- Mackenbach JP, Kunst AE, Cavalears AE, et al. Socioeconomic inequalities in morbidity and mortality in western Europe. The EU Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. *Lancet* 1997;349:1655-9.
- Kunst AE, Groenohof F, Mackenbach JP, et al. Occupational class and cause specific mortality in middle aged men in 11 European countries: comparison of population based studies. EU Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. *BMJ* 1998;316:1636-42.
- Mackenbach JP, Bos V, Andersen O, et al. Widening socioeconomic inequalities in mortality in six Western European countries. *Int J Epidemiol* 2003;32:830-7.
- Davey Smith G, Harding S. Is control at work the key to socioeconomic gradients in mortality? *Lancet* 1997;350:1369-70.
- Rose D, O'Reilly K. *The ESRC review of government social classifications*. London: Office for National Statistics, 1998.
- Krieger N, Williams DR, Moss NE. Measuring social class in US public health research: concepts, methodologies, and guidelines. *Annu Rev Public Health* 1997;18:341-78.
- Muntaner C, Borrell C, Benach J, et al. The associations of social class and social stratification with patterns of general and mental health in a Spanish population. *Int J Epidemiol* 2003;32:950-8.
- Wright EO. *Classes*. London: New Left Books, 1985.
- Krieger N, Chen JT, Selby JV. Comparing individual-based and household-based measures of social class to assess class inequalities in women's health: a methodological study of 684 US women. *J Epidemiol Community Health* 1999;53:612-23.
- Wright EO. *Class counts. Comparability studies in class analysis*. Cambridge: University Press, 1997.
- Muntaner C, Eaton WW, Diala C, et al. Social class, assets, organizational control and the prevalence of common groups of psychiatric disorders. *Soc Sci Med* 1998;47:2043-53.
- Muntaner C, Wolyntec P, McGrath J, et al. Psychotic inpatients' social class and their first admission to state or private psychiatric Baltimore hospitals. *Am J Public Health* 1994;84:287-9.
- Schwalbe ML, Staples CL. Class position, work experience, and health. *Int J Health Serv* 1986;16:583-602.
- Wohlforth T. Socioeconomic inequality and psychopathology: Are socioeconomic status and social class interchangeable? *Soc Sci Med* 1997;45:399-410.
- Wohlforth T, van den BW. Social class and substance use disorders: the value of social class as distinct from socioeconomic status. *Soc Sci Med* 1998;47:51-8.
- Macleod J, Davey Smith G, Metcalfe C, et al. Is subjective social status a more important determinant of health than material circumstances? Evidence from male workers occupying contradictory class locations in a prospective observational study of Scottish men. *Soc Sci Med* 2005;61:1916-29.
- Lombardi C, Bronfman M, Facchini LA, et al. Operationalization of the concept of social class in epidemiologic studies [Operacionalizacao do conceito de classe social em estudos epidemiologicos]. *Rev Saude Publica* 1988;22:253-65.
- Horta BL, Victora CG, Menezes AM, et al. Environmental tobacco smoke and breastfeeding duration. *Am J Epidemiol* 1997;146:128-33.
- Dickman PW, Auvinen A, Voutilainen ET, et al. Measuring social class differences in cancer patient survival: is it necessary to control for social class differences in general population mortality? A Finnish population-based study. *J Epidemiol Community Health* 1998;52:727-34.
- Domingo SA, Marcos AJ. Proposal of an indicator of "social class" based on the occupation [Propuesta de un indicador de la "clase social" basado en la ocupacion]. *Gac Sanit* 1989;3:320-6.
- Marmot MG, Davey Smith G, Stansfeld S, et al. Health inequalities among British civil servants: the Whitehall II study. *Lancet* 1991;337:1387-93.
- Abramson JH, Gofin R, Habib J, et al. Indicators of social class. A comparative appraisal of measures for use in epidemiological studies. *Soc Sci Med* 1982;16:1739-46.
- Liberatos P, Link BG, Kelsey JL. The measurement of social class in epidemiology. *Epidemiol Rev* 1988;10:87-121.
- Sortie PD, Backlund E, Keller JB. US mortality by economic, demographic, and social characteristics: the national longitudinal mortality study. *Am J Public Health* 1995;85:949-56.
- Diez-Roux AV, Nieto FJ, Tyroler HA, et al. Social inequalities and atherosclerosis. The atherosclerosis risk in communities study. *Am J Epidemiol* 1995;141:960-72.
- Chandola T, Jenkinson C. Social class differences in morbidity using the new UK National Statistics socio-economic classification. Do class differences in employment relations explain class differences in health? *Ann N Y Acad Sci* 1999;896:313-15.
- Bartley M. *Health inequality: an introduction to theories, concepts and methods*. Cambridge: Polity Press, 2004.
- Wamala SP, Lynch J, Kaplan GA. Women's exposure to early and later life socioeconomic disadvantage and coronary heart disease risk: the Stockholm female coronary risk study. *Int J Epidemiol* 2001;30:275-84.
- Hart CL, Davey Smith G. Relation between number of siblings and adult mortality and stroke risk: 25 year follow up of men in the collaborative study. *J Epidemiol Community Health* 2003;57:385-91.
- Lawlor DA, Emberson JR, Ebrahim S, et al. Is the association between parity and coronary heart disease due to biological effects of pregnancy or adverse lifestyle risk factors associated with child-rearing? Findings from the British women's heart and health study and the British regional heart study. *Circulation* 2003;107:1260-4.
- Forsdahl A. Are poor living conditions in childhood and adolescence an important risk factor for arteriosclerotic heart disease? *Br J Prev Soc Med* 1977;31:91-5.
- Modin B. Born out of wedlock and never married--it breaks a man's heart. *Soc Sci Med* 2003;57:487-501.
- Osler M, Andersen A-MN, Due P, et al. Socioeconomic position in early life, birth weight, childhood cognitive function, and adult mortality. A longitudinal study of Danish men born in 1953. *J Epidemiol Community Health* 2003;57:681-6.
- Lundberg O. The impact of childhood living conditions on illness and mortality in adulthood. *Soc Sci Med* 1993;36:1047-52.
- O'Leary SR, Wingard DL, Edelstein SL, et al. Is birth order associated with adult mortality? *Ann Epidemiol* 1996;6:34-40.
- Lynch J. Social position and health. *Ann Epidemiol* 2001;6:21-3.
- Smith JP. Racial and ethnic differences in health and retirement study. *J Hum Resources* 1995;30(suppl):S158-83.
- Benavides FG, Benach J, Diez-Roux AV, et al. How do types of employment relate to health indicators? Findings from the second European survey on working conditions. *J Epidemiol Community Health* 2000;54:494-501.
- Geronimus AT, Bound J. Use of census-based aggregate variables to proxy for socioeconomic group: evidence from national samples. *Am J Epidemiol* 1998;148:475-86.
- Hollingshead BA, Redlick FC. *Social class and mental illness*. New York: Wiley, 1958.
- Townsend P, Phillimore P, Beattie A. *Health and deprivation: inequality in the North*. London: Croom Helm, 1988.
- Carstairs V, Morris R. Deprivation and mortality: an alternative to social class? *Community Med* 1989;11:210-19.
- Jarman B. Identification of underprivileged areas. *BMJ* 1983;286:1705-9.
- Gordon D, Pantazis C. *Breadline Britain in the 1990s*. Aldershot: Ashgate, 1997.
- Gordon D. Census based deprivation indices: their weighting and validation. *J Epidemiol Community Health* 1995;49:S39-44.
- Shaw M, Dorling D, Gordon D, et al. *The widening gap*. Bristol: The Policy Press, 1999.
- Krieger N, Chen JT, Waterman PD, et al. Geocoding and monitoring of US socioeconomic inequalities in mortality and cancer incidence: Does the choice of area-based measure and geographic level matter? The Public Health Disparities Geocoding Project. *Am J Epidemiol* 2002;156:471-82.
- Krieger N, Chen JT, Waterman PD, et al. Choosing area based socioeconomic measures to monitor social inequalities in low birth weight and childhood lead poisoning. The Public Health Disparities Geocoding Project (US). *J Epidemiol Community Health* 2003;57:186-99.
- Krieger N, Waterman PD, Chen JT, et al. Monitoring socioeconomic inequalities in sexually transmitted infections, tuberculosis, and violence: geocoding and choice of area-based socioeconomic measures—the public health disparities geocoding project (US). *Public Health Rep* 2003;118:240-60.
- Wohl AS. *Endangered lives; public health in Victorian Britain*. London: Dent, 1983.
- Tunstall HVZ, Shaw M, Dorling D. Places and health. *J Epidemiol Community Health* 2004;58:6-10.
- Diez Roux AV. A glossary for multilevel analysis. *J Epidemiol Community Health* 2002;56:588-94.
- Macintyre S, Ellaway A, Cummins S. Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc Sci Med* 2002;55:125-39.
- Reijneveld SA, Pearl M, Pickett KE. Explanations for differences in health outcomes between neighbourhoods of varying socioeconomic level. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:847.
- Pickett KE, Pearl M. Multilevel analyses of neighbourhood socioeconomic context and health outcomes: a critical review. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:111-22.
- Davey Smith G, Hart C, Blane D, et al. Lifetime socioeconomic position and mortality: prospective observational study. *BMJ* 1997;314:547-52.
- Davey Smith G, Hart CL, Watt G, et al. Individual social class, area-based deprivation, cardiovascular disease risk factors, and mortality: the Renfrew and Paisley study. *J Epidemiol Community Health* 1998;52:399-405.
- Davey Smith G, Ben-Shlomo Y, Hart C. Re: "Use of census-based aggregate variables to proxy for socioeconomic group: evidence from national samples". *Am J Epidemiol* 1999;150:996-7.
- Davey Smith G, Lynch JW. Socioeconomic differentials. In: Kuh D, Ben-Shlomo Y, eds. *A lifecourse approach to chronic disease epidemiology*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- Beebe-Dimmer J, Lynch JW, Turrell G, et al. Childhood and adult socioeconomic conditions and 31-year mortality risk in women. *Am J Epidemiol* 2004;159:481-90.

- 66 Kuh D, Ben Shlomo Y, Lynch J, *et al.* Life course epidemiology. *J Epidemiology Community Health* 2003;**57**:778–83.
- 67 Ben Shlomo Y, Kuh D. A life course approach to chronic disease epidemiology: conceptual models, empirical challenges and interdisciplinary perspectives. *Int J Epidemiol* 2002;**31**:285–93.
- 68 Stemmermann GN, Fenoglio-Preiser C. Gastric carcinoma distal to the cardia: a review of the epidemiological pathology of the precursors to a preventable cancer. *Pathology* 2002;**34**:494–503.
- 69 Davey Smith G, Hart C, Blane D, *et al.* Adverse socioeconomic conditions in childhood and cause specific adult mortality: prospective observational study. *BMJ* 1998;**316**:1631–5.
- 70 Lawlor DA, Ebrahim S, Davey Smith G. Socioeconomic position in childhood and adulthood and insulin resistance: cross sectional survey using data from British women's heart and health study. *BMJ* 2002;**325**:805–7.
- 71 Lawlor DA, Ebrahim S, Smith GD. The association of socio-economic position across the life course and age at menopause: the British women's heart and health study. *Br J Obstet Gynaecol* 2003;**110**:1078–87.
- 72 Lawlor DA, Smith GD, Ebrahim S. Association between childhood socioeconomic status and coronary heart disease risk among postmenopausal women: findings from the British women's heart and health study. *Am J Public Health* 2004;**94**:1386–92.
- 73 Galobardes B, Lynch JW, Davey Smith G. Childhood socioeconomic circumstances and cause-specific mortality in adulthood: systematic review and interpretation. *Epidemiol Rev* 2004;**26**:7–21.
- 74 Hallqvist J, Lynch J, Bartley M, *et al.* Can we disentangle life course processes of accumulation, critical period and social mobility? An analysis of disadvantaged socio-economic positions and myocardial infarction in the Stockholm heart epidemiology program. *Soc Sci Med* 2004;**58**:1555–62.
- 75 Davey Smith G, Ben-Shlomo Y, Lynch JW. Life course approaches to inequalities in coronary heart disease risk. In: Stansfeld SA, Marmot MG, eds. *Stress and the heart*. London: BMJ Books, 2002.
- 76 Lawlor DA, Davey Smith G, Kundu D, *et al.* Those confounded vitamins: what can we learn from the differences between observational versus randomised trial evidence? *Lancet* 2004;**363**:1724–7.
- 77 Link BG, Phelan J. Social conditions as fundamental causes of disease. *J Health Soc Behav* 1995;(special no):80–94.
- 78 Link BG, Phelan JC. Understanding sociodemographic differences in health—the role of fundamental social causes. *Am J Public Health* 1996;**86**:471–2.
- 79 Syme SL, Berkman LF. Social class, susceptibility and sickness. *Am J Epidemiol* 1976;**104**:1–8.
- 80 Davey Smith G. *Health inequalities: lifecourse approaches*. Bristol: Policy Press, 2003.

## THE JECH GALLERY .....

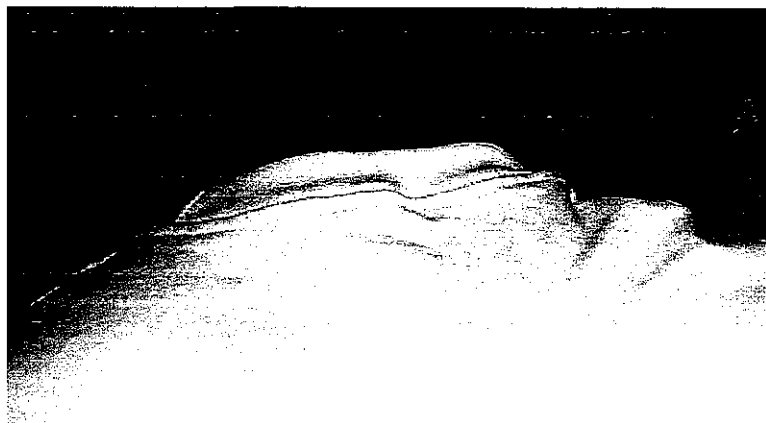
### Love pounds, tons of inequities

News<sup>1</sup> alerted to El Salvador in 2004: in four decades young people died for the first time by hunger. It was an announced death: the undernutrition, re-emergent disease is a direct consequence of the neoliberal era, and has deepened. The suppression of the agricultural subsidies annihilated food security and the subsistence cultures of poor farmers. The minimum wage was frozen to compete with low production costs, in the globalised market of the textile manufacturing. An economy dominated by dollars and an increasing cost of the basic basket, especially foods, completed the picture. These factors featured heavily in a report of the Office of the Judge Advocate General for the Defence of the Human Rights.<sup>2</sup> The answer: an assisted programme of nutritional consultation and food distribution called "Pounds of love".<sup>3</sup> But the inequities, exacerbated by unequal international trade relations, unjust distribution of the wealth, unemployment, payments in the public health system, and poor social investment continue to grow and generate poverty, social violence, and insanity to a rate that soon will end in the inability to govern.

Correspondence to: Dr E Espinoza, Final 25 Avenida Norte y Boulevard de Los Héroes Edificio de la Rectoría, San Salvador, El Salvador; espinoza@telesal.net

#### REFERENCES

- 1 Anonymous. Mueren 40 niños por desnutrición en Tacuba. *La Prensa Gráfica* 2004;17 Feb.
- 2 Office of the Judge Advocate General. Informe especial de la Señora Procuradora sobre Situación de Desnutrición Infantil en Zonas Rurales del Occidente del País. Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos, San Salvador, El Salvador. <http://www.pddh.gob.sv/modules.php?name=Downloads>.
- 3 Libras de Amor. <http://www.librasdeamor.org/home.html>.



Es una caricatura del amor  
cuando se quiere apañar con limosnas  
lo que ya se debe por justicia

12-04-1979

A tee shirt legend on the 25 year anniversary of the murder of Archbishop Oscar Romero—"It is a cartoon of love when it is wanted to patch up with gifts that which is already owed by justice". (Taken from the 12 April 1979 homily of the Archbishop Romero whose assassination in 1980 unleashed a civil war of 12 years in El Salvador).

# A Tale of Two Cities: Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Hong Kong and London Compared

Chit-Ming Wong,<sup>1</sup> Richard W Atkinson,<sup>2</sup> H. Ross Anderson,<sup>2</sup> Anthony Johnson Hedley,<sup>1</sup> Stefan Ma,<sup>1</sup> Patsy Yuen-Kwan Chau,<sup>1</sup> and Tai-Hing Lam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Community Medicine, The University of Hong Kong, Hong Kong, China; <sup>2</sup>Department of Public Health Sciences, St. George's Hospital Medical School, London, United Kingdom

The causal interpretation of reported associations between daily air pollution and daily admissions requires consideration of residual confounding, correlation between pollutants, and effect modification. If results obtained in Hong Kong and London—which differ in climate, lifestyle, and many other respects—were similar, a causal association would be supported. We used identical statistical methods for the analysis in each city. Associations between daily admissions and pollutant levels were estimated using Poisson regression. Nonparametric smoothing methods were used to model seasonality and the nonlinear dependence of admissions on temperature, humidity, and influenza admissions. For respiratory admissions ( $\geq 65$  years of age), significant positive associations were observed with particulate matter  $< 10 \mu\text{m}$  in aerodynamic diameter ( $\text{PM}_{10}$ ), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and ozone in both cities. These associations tended to be stronger at shorter lags in Hong Kong and at longer lags in London. Associations were stronger in the cool season in Hong Kong and in the warm season in London, periods during which levels of humidity are at their lowest in each city. For cardiac admissions (all ages) in both cities, significant positive associations were observed for  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$ , and  $\text{SO}_2$  with similar lag patterns. Associations tended to be stronger in the cool season. The associations with  $\text{NO}_2$  and  $\text{SO}_2$  were the most robust in two-pollutant models. Patterns of association for pollutants with ischemic heart disease were similar in the two cities. The associations between  $\text{O}_3$  and cardiac admissions were negative in London but positive in Hong Kong. We conclude that air pollution has remarkably similar associations with daily cardiorespiratory admissions in both cities, in spite of considerable differences between cities in social, lifestyle, and environmental factors. The results strengthen the argument that air pollution causes detrimental short-term health effects.

**Key words:** air pollution, cardiac and respiratory hospital admissions, daily time-series, Hong Kong, London. *Environ Health Perspect* 110:67–77 (2002). [Online 18 December 2001] <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2002/110p67-77/wong/abstract.html>

There is now considerable evidence that daily hospital admissions for cardiorespiratory diseases are linked to levels of particulate and gaseous ambient air pollution on the same or previous days (1–3). This is consistent with even more substantial evidence concerning daily mortality. In the formulation of public health policy it has been assumed that these associations have a causal basis, but at the scientific level there remain important questions concerning residual confounding, the effects of individual pollutants or mixtures, and other factors that may modify health effects. Further evidence on these issues will have an important bearing on conclusions about the cause and mechanisms of the health effects of air pollution.

Because populations are exposed to mixtures rather than to individual pollutants, multicity studies have the potential to create added insights into some of these issues. Those that have been established so far, using the approaches of APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach) Phase I (4) and Phase II (5) and NMMAPS (National Mortality and Morbidity Air Pollution Study) (6,7), are confined to the temperate

climatic zones. Hong Kong is a large city in a subtropical region where there is evidence of adverse effects of air pollution (8,9). London, United Kingdom, is a city of similar size for which adverse health effects of air pollution have also been reported (10,11). On one hand, there are similarities between the two cities in terms of their main sources and levels of pollutants and patterns of the respiratory and cardiac diseases. On the other hand, there are differences between the two cities in terms of a number of factors that might influence confounding or effect modification; these include demography, climate, housing, lifestyle, patterns of disease, the health care system, and seasonal cycles of both weather and pollution variables.

We have conducted parallel analyses of the short-term associations between air pollution and daily hospital admissions in Hong Kong and London to compare and contrast the health effects of air pollution in the two cities. This comparison has relevance to the understanding of the short-term health effects of air pollution, their consistency, and the factors that may modify their effects.

## Methods

Daily emergency hospital admissions for respiratory and cardiac diseases were obtained from routine hospital information systems for Hong Kong (1995–1997) and London (1992–1994). The data included in this study are from patients admitted to hospitals immediately either through the accident and emergency departments, general outpatient departments, or directly to the inpatient wards on the grounds of urgency. The series that we chose for comparison were those selected by the APHEA-2 collaboration; these included asthma [*International Classification of Diseases, Revision 9* (ICD-9) code 493] (12) for ages 15–64 years, respiratory disease (ICD-9 460–519) for ages 65 and over, cardiac diseases (ICD-9 396–429) for all ages, and ischemic heart disease (IHD; ICD-9 410–414) for all ages.

Daily average 24-hr concentrations of  $\text{PM}_{10}$  (particles with median aerodynamic diameter  $< 10 \mu\text{m}$ ), nitrogen dioxide, and sulfur dioxide and average 8-hr concentrations of ozone were collected from background monitoring stations in each city. Only stations able to provide data for 75% or more days during the study periods were used. A daily concentration was accepted as valid if more than 17/24 or 5/8 (in the case of  $\text{O}_3$ ) hourly measurements were made. When data were available from more than one monitoring station, we used a simple filling-in procedure to improve data completeness. Missing values were replaced with the mean of values from those stations with available data. The pollutant measures from

Address correspondence to A.J. Hedley, Department of Community Medicine, The University of Hong Kong, Patrick Manson Building South Wing, 7 Sassoon Road, Pokfulam, Hong Kong, China. Telephone: (852) 2819-9282. Fax: (852) 2855-9528. E-mail: [commed@hkucc.hku.hk](mailto:commed@hkucc.hku.hk)

We thank the Hong Kong Environmental Protection Department for data on air pollutant concentrations and the Hong Kong Hospital Authority for information on hospital admissions; we also thank T.Q. Thach for statistical analysis and M. Chi for clerical support.

This project was sponsored by the British Council, the Research Grants Council of Hong Kong, and L. Shiu. The Royal Society Kan Tong Po Visiting Professorship provided support to H.R. Anderson.

Received 15 December 2000; accepted 15 June 2001.



**Table 1.** Comparison of environmental factors of Hong Kong and London.

Environmental factor	Hong Kong	London
Population (millions)	6.2 (1995) <sup>a</sup>	6.9 (1992) <sup>b</sup>
Area (km <sup>2</sup> )	1,092	1,580
Climate	Subtropical, with rain and tropical cyclones in the summer months	Maritime, with mild winters and temperate summers
Mean January/July temperatures (°C)	16/29	3/23
Rainfall	224 cm, most falling in the summer months	58 cm, evenly distributed through the year
Topography	Peninsula with offshore islands	Estuarine river basin
Lifestyle		
Smoking rates (≥ 15 years of age)	Male 26.7%; female 3.1% <sup>c</sup>	Male 28%; female 27% <sup>d</sup>
Regular alcohol consumers	Male 20.0%; female 2.0% <sup>e</sup>	Male 27%; female 11% <sup>d</sup>
Health care system	Primary care services provided mainly by private sector (85%) Hospital services provided mainly by public sector (86%)	National Health Service
Median size of private dwellings	40.0–69.9 m <sup>2a</sup>	85 m <sup>2f</sup>
GDP per capita (with adjustment for purchasing power parity)	U.S. \$20,458 <sup>g</sup>	U.S. \$20,890 <sup>g</sup>
Leading causes of death	(1996 data) <sup>h</sup> 1. Malignant neoplasms, 31.3% 2. Heart diseases, 15.8% 3. Cerebrovascular disease, 10.7% 4. Pneumonia (all forms), 10.6% 5. Injury and poisoning, 5.1%	(1996 data) <sup>i</sup> 1. Circulatory diseases, 42.6% 2. Malignant neoplasms, 25.0% 3. Respiratory diseases, 15.9% 4. Digestive diseases, 3.6% 5. Injury and poisoning, 2.9%

GDP, gross domestic product.

<sup>a</sup>Data from the Hong Kong Annual Digest of Statistics (17). <sup>b</sup>Data from the Office of Population and Censuses Surveys (18). <sup>c</sup>Data from the Census and Statistics Department (19). <sup>d</sup>Data from Statistics on Smoking: England, 1976 to 1996 (20). <sup>e</sup>Data from Janus et al. (21); alcohol consumption at least once per week (25–74 years of age). <sup>f</sup>Data from the Office of National Statistics (22). <sup>g</sup>Data from Asia Week (23). <sup>h</sup>Department of Health, Department of Health Annual Report (24). <sup>i</sup>Data from the Office of National Statistics (25).

**Table 2.** Comparison of selected health and air pollution statistics between Hong Kong and London.

Health variable	Hong Kong	London
Population < 15/> 65 years of age (%)	18.9/10.0 (1996) <sup>a</sup>	18.6/13.9 (1992) <sup>b</sup>
Infant mortality rate (per 1,000 live births)	4.0	7.2
Age-standardized mortality <sup>c</sup> (per 1,000 population)		
From all causes	3.7	4.5
From respiratory diseases	0.7	0.5
From cardiovascular diseases	0.9	1.9
Emergency admissions for respiratory disease		
Respiratory (% of all causes)	10.0 (1996)	5.1 (1992/1993)
Age standardized rate <sup>c</sup> (per 1,000 population)	12.9	8.0 (1992–1994)
Age distribution (%)		
0–14 years	33	35
15–64 years	22	26
≥ 65 years	45	39
Subcategories (%)		
Lower respiratory infections (ICD-9 466, 480–487)	23	22
Asthma (ICD-9 493)	13	25
COPD (ICD-9 490–496, excluding 493)	24	15
Emergency admissions for cardiovascular disease		
Cardiovascular (% of all causes)	7.6 (1996)	5.9 (1992/1993)
Age standardized rate (per 1,000 population)	5.8	5.5 (1992–1994)
Age distribution (%)		
0–14 years	2	0
15–64 years	37	32
≥ 65 years	61	68
Subcategories (%)		
Stroke (ICD-9 430–438)	22	19
Cardiac (ICD-9 390–429)	63	70
Ischemic heart disease (ICD-9 410–414)	37	30
Arrhythmias (ICD-9 427)	20	9
Cardiac failure (ICD-9 428)	22	18
Sources of pollutant emissions	(1997) <sup>d</sup> (TSP including PM <sub>10</sub> )	(1997) <sup>e</sup>
PM <sub>10</sub> (%)		
Traffic (vehicle, marine vessel, aircraft)	61	83
Industry	6	11
Power generation (and heating for London)	33	6
NO <sub>x</sub> (%)		
Traffic (vehicle, marine vessel, aircraft)	41	83
Industry	8	5
Power generation (and heating for London)	45	13
SO <sub>2</sub> (%)		
Traffic (vehicle, marine vessel, aircraft)	14	28
Industry	21	34
Power generation (and heating for London)	65	38

TSP, total suspended particulate.

<sup>a</sup>Data from the Hong Kong Department of Health (24). <sup>b</sup>Data from the Office of Population and Censuses Surveys (18). <sup>c</sup>The standard population was adopted from Segi (26). <sup>d</sup>Data from the Planning, Environment and Lands Bureau (27). <sup>e</sup>Data from the London Research Centre (28).

all stations providing data were then averaged to provide city-wide daily estimates.

We used a statistical approach that closely followed the one adopted by the APHEA-2 study. Poisson regression was used to model the associations between the dependent variable, daily admission counts, and independent variables including nonparametric smooth functions of time, temperature, humidity, and influenza. We used loess functions (13) of time with a minimum span of 60 days to model seasonal fluctuations in admission counts. Temperature and humidity recorded on the day of admission and up to 3 days before admission were investigated and modeled using nonparametric smooth functions, with the degree of smoothing determined by the exposure-response curves and the Akaike's Information Criteria (14). In addition, dummy variables for days of the week, holidays, and unusual events such as thunderstorms and influenza epidemics were included as other independent variables. Daily admission counts for influenza at the 4th quartile (for each week) were used as indicators of influenza epidemics. Models were fitted using a quasi-likelihood method assuming constant over-dispersion over time. This modeling procedure was carried out for each series studied, and the core models were assessed using plots of model residuals and fitted values and plots of the estimated partial autocorrelation functions. Pollution measures were then added in turn, and if necessary, both overdispersion and autocorrelation were further adjusted for using statistical procedures implemented in S-PLUS (Insightful Corporation, Seattle, WA, USA) (15). We examined concentrations on the day of admission and on the previous 3

days, and the means of the current day and the previous day (lag 0–1).

Any linear effect of the pollutant could be assessed by adding a pollutant measure into the model described above. A possible nonlinear effect of the pollutant was further assessed by an exposure–response relationship generated by generalized additive modeling (16). The procedure involved symmetrical application of a loess smoothing function on a number of pollutant measures around a specific point and estimation of the risk at that specific point. A plot of risk against all the specific points along the *x*-axis produced an exposure–response curve.

To investigate seasonal differences in the pollution effects, dummy variables were added to the models to indicate season and pollutant–season interaction terms. The warm season was defined as April–September and the cool season was October–March. We derived estimates of the pollutant effects in each season from the models together with *p*-values for the interaction terms, which indicated whether or not the observed seasonal differences were statistically significant.

We used two-pollutant models to estimate the effects of one pollutant at mean cumulative lag 0–1 days after controlling for another pollutant also at mean cumulative lag 0–1 days.

## Results

**Background demographic, health, and environmental data.** The background characteristics of the two cities have been summarized (Table 1). Hong Kong has a population of over 6 million and occupies an area of approximately 1,000 km<sup>2</sup>, comprising two major islands, some smaller outer islands, a peninsula, the lands adjacent to the mainland, and some reclaimed areas. It is situated at 22.5°N latitude at the mouth of the Pearl River, which opens into the South China sea. Hong Kong has a subtropical climate that tends toward the temperate for nearly half the year. The average annual rainfall is 224 cm, most of which falls in the summer months.

Greater London has a population of about 7 million people and occupies a roughly circular basin of 1,600 km<sup>2</sup>, which is bisected east to west by the River Thames and bounded to the north and south by low hills. It lies at a latitude of 45°N and has a temperate maritime climate. The average annual rainfall is 58 cm, which falls throughout the year.

Table 2 shows a comparison of relevant demographic, health, and environmental characteristics for Hong Kong and London. The age distributions of the two cities are similar, but age-standardized annual mortality rates are lower in Hong Kong than in London for deaths from all causes and from

cardiovascular diseases. Standardized annual rates for admission to public hospitals are higher in Hong Kong than in London for respiratory disease (12.9 vs. 8.0 per 1,000) and for cardiovascular disease (5.8 vs. 5.5 per 1,000). Among respiratory hospital admissions, the proportions due to respiratory infections are similar, but admissions due to chronic obstructive pulmonary disease are greater in Hong Kong and those due to asthma are higher in London. The relative distributions of subcategories of cardiac diseases were similar except that arrhythmias were more common in Hong Kong.

PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> emissions in London were both predominantly from traffic (83% and 83%, respectively); in Hong Kong they were from both traffic (61% and 41%, respectively) and power generation (33% and 45%, respectively). SO<sub>2</sub> in London was almost equally derived from traffic, industry, and power generation (28%, 34%, and 38%, respectively), but in Hong Kong they were mainly from power generation (65%) and industry (21%).

**Daily time-series data.** Summary statistics for daily counts of admissions, by cause and age, pollutant concentrations, and meteorologic variables are shown in Table 3. Correlations between these variables are shown in Table 4. London had almost twice the median daily count of admissions for asthma as Hong Kong but only two-thirds the median number of admissions for respiratory disease. The numbers of cardiac admissions were more comparable, but London had almost 50% more emergency admissions for IHD than Hong Kong.

The concentrations of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> were higher in London, whereas PM<sub>10</sub> levels in Hong Kong were almost double those in London (46.8 vs. 24.8 µg/m<sup>3</sup>) (Table 3). In Hong Kong, there was a marked seasonal variation in ambient concentrations of NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and PM<sub>10</sub>, all of which were lowest in the warm season and highest in the cool season. In contrast, SO<sub>2</sub> tended to show less seasonal variation and was highest in the warm season. In London, there was little seasonal variation in NO<sub>2</sub>,

**Table 3.** Summary statistics for daily hospital admissions, pollutant concentrations, and meteorologic measurements in Hong Kong (1995–1997) and London (1992–1994); *n* = 1,096 days.

Variable, city	Mean (Warm/cool)	SD	Percentile					
			Min	10th	50th	90th	Max	
Emergency hospital admission (no./day)								
Asthma (ICD-9 493), 15–64 years								
Hong Kong	7.8	(7.0/8.6)	3.4	0.0	4.0	7.0	12.0	24.0
London	14.1	(13.0/15.1)	5.8	2.0	8.0	13.0	21.0	85.0
Respiratory (ICD-9 460–519), ≥ 65 years								
Hong Kong	91.3	(86.7/96.1)	22.5	45.0	64.0	88.0	122.0	174.0
London	58.3	(49.5/67.4)	19.4	13.0	37.0	55.0	82.0	150.0
Cardiac (ICD-9 390–429), all ages								
Hong Kong	98.7	(94.0/103.4)	23.3	40.0	67.0	101.0	127.5	176.0
London	121.1	(118.3/124.0)	23.4	50.0	89.0	121.0	152.0	196.0
IHD (ICD-9 410–414), all ages								
Hong Kong	36.0	(35.3/36.7)	10.3	8.0	23.0	35.0	49.0	76.0
London	51.3	(50.5/52.0)	10.0	22.0	39.0	51.0	64.0	86.0
Pollutant concentration (daily µg/m <sup>3</sup> )								
NO <sub>2</sub> (24 hr)								
Hong Kong <sup>a</sup>	55.9	(48.1/63.8)	19.4	15.3	31.8	53.5	81.8	151.5
London <sup>b</sup>	64.3	(62.6/66.1)	20.4	23.7	42.3	61.2	88.8	255.8
O <sub>3</sub> (8 hr)								
Hong Kong <sup>c</sup>	33.5	(32.0/35.1)	23.0	0	7.9	28.3	64.0	168.9
London <sup>d</sup>	34.9	(45.3/24.0)	23.1	2.4	8.6	32.0	60.1	159.8
PM <sub>10</sub> (24 hr)								
Hong Kong <sup>e</sup>	51.8	(42.2/61.6)	25.0	14.1	24.7	46.8	87.2	163.8
London <sup>f</sup>	28.5	(28.2/28.8)	13.7	6.8	15.8	24.8	46.4	99.8
SO <sub>2</sub> (24 hr)								
Hong Kong <sup>g</sup>	17.7	(18.3/17.2)	12.3	1.1	6.2	14.5	32.8	90.0
London <sup>h</sup>	23.7	(22.2/25.3)	12.3	6.2	13.2	20.6	38.1	113.6
Meteorologic measurements (daily)								
Temperature (°C)								
Hong Kong	23.2	(27.2/19.0)	5.0	6.9	16.0	24.3	29.1	30.9
London	11.9	(15.5/8.3)	5.0	−0.8	5.6	11.8	18.6	25.5
Humidity (%)								
Hong Kong	77.7	(80.7/74.7)	10.6	31.0	64.0	79.0	90.0	97.0
London	70.6	(67.5/73.7)	10.9	41.0	56.0	70.0	85.0	97.0

Abbreviations: Max, maximum; Min, minimum.

<sup>a</sup>*r* = 0.65–0.90 between seven stations. <sup>b</sup>*r* = around 0.8 between three stations. <sup>c</sup>*r* = 0.79 between two stations. <sup>d</sup>*r* = 0.95 between two stations. <sup>e</sup>*r* = 0.92–0.97 between five stations. <sup>f</sup>Only one station involved. <sup>g</sup>*r* = 0.44–0.81 between five stations. <sup>h</sup>*r* = −0.1 to 0.8 (median 0.5) in six stations.

SO<sub>2</sub>, or PM<sub>10</sub>, but there was marked seasonal variation in O<sub>3</sub>, which was highest in the warm season. Thus, the only pollutant with a similar seasonal pattern in both cities was SO<sub>2</sub>. Mean daily temperature was twice as high in Hong Kong as in London (23°C vs. 12°C), and the mean relative humidity was also higher in Hong Kong. The two cities have similar cycles of temperature, but their seasonal patterns for humidity differ markedly; humidity in Hong Kong is highest in the warm season, but in London it is highest in the cool season (Table 3).

**Single-pollutant models.** The associations between pollutants (*a priori* mean lag 0–1 days) and the four admission outcomes are shown in Table 5. We found no statistically

significant associations between asthma admissions and any of the four pollutants in either of the cities. For respiratory admissions, we found small, positive, and statistically significant associations with all four pollutants in Hong Kong. By contrast, only O<sub>3</sub> was significantly associated with respiratory admissions in London. For cardiac diseases, both cities showed significant positive associations of comparable size with NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and SO<sub>2</sub>. There were no significant positive associations with O<sub>3</sub> in Hong Kong, whereas in London it was significantly negative. The direction of effects for IHD was the same as for all cardiac diseases in both cities, but the estimates were lower in Hong Kong than in London (except O<sub>3</sub>) and none

were significant. In London, the relative risks for IHD were similar to those for all cardiac diseases and all were significant; the association with O<sub>3</sub> was negative.

Results for the most significant single day lag from lags 0 to 3 are shown in Table 6 and illustrated along with the other single day lags in Figure 1. Generally, these results are similar in terms of direction and magnitude to the *a priori* choice of mean lags 0 and 1. One difference was that in London, the associations between admissions for asthmatic attacks in the 15–64 age group, as well as respiratory disease in the ≥ 65 age group and NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and SO<sub>2</sub> in the best single lag days, were larger than the *a priori* (lag 0–1) choice and are statistically significant.

**Table 4.** Matrix of Spearman's rank correlation coefficient (*r*) between mean daily concentration of pollutants and meteorologic data (1995–1997).

	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	Temperature	Humidity		SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	Temperature	Humidity
Hong Kong						London					
Whole year						Whole year					
NO <sub>2</sub>	0.37	0.82	0.43	-0.45	-0.35	NO <sub>2</sub>	0.71	0.68	-0.29	-0.16	0.01
SO <sub>2</sub>		0.30	-0.18	0.17	-0.16	SO <sub>2</sub>		0.64	-0.25	-0.13	-0.15
PM <sub>10</sub>			0.54	-0.42	-0.53	PM <sub>10</sub>			0.17	0.02	-0.05
O <sub>3</sub>				-0.14	-0.59	O <sub>3</sub>				0.47	-0.52
Temperature					0.19	Temperature					-0.27
Warm season						Warm season					
NO <sub>2</sub>	0.28	0.80	0.54	-0.43	-0.18	NO <sub>2</sub>	0.66	0.68	0.05	0.08	-0.09
SO <sub>2</sub>		0.22	-0.14	0.37	-0.16	SO <sub>2</sub>		0.56	0.14	0.26	-0.33
PM <sub>10</sub>			0.65	-0.25	-0.40	PM <sub>10</sub>			0.27	0.32	-0.14
O <sub>3</sub>				-0.17	-0.57	O <sub>3</sub>				0.26	-0.53
Temperature					-0.26	Temperature					0.26
Cool season						Cool season					
NO <sub>2</sub>	0.61	0.72	0.23	0.10	-0.36	NO <sub>2</sub>	0.76	0.68	-0.61	-0.36	0.01
SO <sub>2</sub>		0.53	-0.21	0.13	-0.20	SO <sub>2</sub>		0.70	-0.58	-0.46	-0.05
PM <sub>10</sub>			0.36	0.01	0.55	PM <sub>10</sub>			-0.56	0.23	0.01
O <sub>3</sub>				0.05	-0.60	O <sub>3</sub>				0.29	-0.37
Temperature					0.21	Temperature					0.05

**Table 5.** Summary of single-pollutant excess risk (ER) and 95% confidence interval (CI) for a 10 µg/m<sup>3</sup> change in pollutant concentration for mean lag 0–1 day: comparison between Hong Kong and London.

Emergency admission complaints, age	Hong Kong ER (95% CI)	London ER (95% CI)
Asthma, 15–64 years		
NO <sub>2</sub>	-0.6 (-2.1–1.0)	1.0 (0.0–2.1)
O <sub>3</sub>	0.0 (-1.3–1.4)	-0.7 (-1.8–0.4)
PM <sub>10</sub>	-1.1 (-2.4–0.1)	1.4 (-0.1–3.0)
SO <sub>2</sub>	-0.1 (-2.4–2.2)	0.7 (-1.0–2.5)
Respiratory, ≥ 65 years		
NO <sub>2</sub>	1.8 (1.2–2.4)	-0.1 (-0.6–0.5)
O <sub>3</sub>	0.8 (0.3–1.3)	0.8 (0.2–1.4)
PM <sub>10</sub>	1.0 (0.5–1.5)	0.4 (-0.3–1.2)
SO <sub>2</sub>	1.8 (0.9–2.6)	0.2 (-0.6–1.1)
Cardiac, all ages		
NO <sub>2</sub>	1.4 (0.9–2.0)	0.7 (0.3–1.0)
O <sub>3</sub>	0.3 (-0.2–0.7)	-0.6 (-1.0–0.1)
PM <sub>10</sub>	0.7 (0.3–1.1)	0.8 (0.3–1.4)
SO <sub>2</sub>	2.1 (1.3–2.8)	1.6 (1.0–2.2)
IHD, all ages		
NO <sub>2</sub>	0.6 (-0.2–1.4)	0.7 (0.2–1.2)
O <sub>3</sub>	0.4 (-0.3–1.1)	-0.8 (-1.4–0.2)
PM <sub>10</sub>	0.5 (-0.1–1.1)	0.9 (0.1–1.6)
SO <sub>2</sub>	0.1 (-1.1–1.2)	1.7 (0.8–2.6)

**Table 6.** Summary of single-pollutant excess risk (ER) and 95% confidence interval (CI) for a 10 µg/m<sup>3</sup> change in pollutant concentration for the best single lag day: comparison between Hong Kong and London.

Emergency admission complaints, age	Hong Kong		London	
	Lag	ER (95% CI)	Lag	ER (95% CI)
Asthma, 15–64 years				
NO <sub>2</sub>	1	-1.3 (-2.6–0.1)	2	1.1 (0.2–2.0)
O <sub>3</sub>	2	1.2 (0.0–2.4)	0	-0.7 (-1.7–0.3)
PM <sub>10</sub>	0	-1.1 (-2.1–0.0)	2	2.2 (0.8–3.6)
SO <sub>2</sub>	2	-1.5 (-3.4–0.5)	3	2.1 (0.7–3.6)
Respiratory, ≥ 65 years				
NO <sub>2</sub>	0	1.3 (0.8–1.8)	3	0.9 (0.5–1.3)
O <sub>3</sub>	1	0.6 (0.2–1.0)	0	0.6 (0.1–1.2)
PM <sub>10</sub>	0	0.7 (0.3–1.0)	3	1.5 (0.8–2.2)
SO <sub>2</sub>	0	1.7 (1.0–2.4)	3	1.2 (0.5–2.0)
Cardiac, all ages				
NO <sub>2</sub>	0	1.2 (0.7–1.7)	0	0.7 (0.4–1.0)
O <sub>3</sub>	2	0.5 (0.1–0.8)	0	-0.8 (-1.2–0.4)
PM <sub>10</sub>	0	0.5 (0.2–0.9)	0	1.1 (0.5–1.5)
SO <sub>2</sub>	0	1.6 (1.0–2.2)	0	1.4 (0.9–1.9)
IHD, all ages				
NO <sub>2</sub>	3	0.7 (0.1–1.4)	0	0.7 (0.2–1.1)
O <sub>3</sub>	3	0.5 (0.0–1.0)	0	-0.9 (-1.4–0.3)
PM <sub>10</sub>	2	0.5 (-0.1–1.0)	3	0.3 (-0.5–1.0)
SO <sub>2</sub>	2	0.4 (-0.5–1.4)	0	1.4 (0.7–2.2)

These stronger associations all occur with longer lag 3 except once with lag 2. Another clear difference between the two cities was for admissions for IHD. In Hong Kong the most significant associations occurred at lag 2 or 3 days for the four pollutants, whereas in London they were at lag 0 days for NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and SO<sub>2</sub>. PM<sub>10</sub> was the exception in London, with the most significant lag

occurring at lag 3 days. In both cities however the magnitude of the effects were similar whether at mean lag 0–1 days or the most significant day.

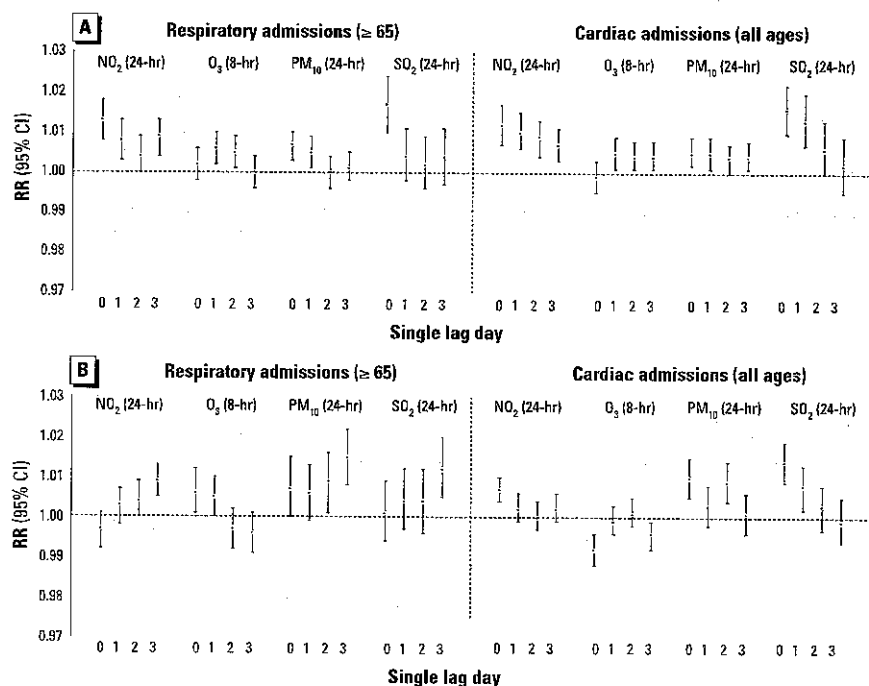
Estimates of pollution effects by season (Table 7) showed contrasting patterns between the two cities for respiratory disease and similar patterns for cardiac disease (Figure 2). In Hong Kong, pollution effects

on respiratory disease tended to be greater in the cool season and significantly so for NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> (Table 7). In London, the pattern was reversed with greater effects in the warm season, significantly so for NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> (Table 7). The two cities were similar in having larger estimates of cardiac admissions in the cool season (with the exception of O<sub>3</sub> for London); all of these seasonal interactions were significant for Hong Kong, but only one (PM<sub>10</sub>) was significant for London (Table 7).

**Two-pollutant models.** In Hong Kong, associations between respiratory admissions and each of the four pollutants studied tended to be robust to inclusion of a second pollutant into the models (Table 8). There were two exceptions: the PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> associations were substantially reduced after NO<sub>2</sub> was added to the models. In London, associations between respiratory admissions and NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, and SO<sub>2</sub> were nonsignificant and remained unchanged after the addition of a second pollutant. The significant O<sub>3</sub> associations found in London were robust to the inclusion of an additional pollutant.

For cardiac admissions in Hong Kong, the addition of NO<sub>2</sub> or SO<sub>2</sub> reduced the magnitude and statistical significance of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and PM<sub>10</sub> associations (O<sub>3</sub> was not found to be significant in single-pollutant models). These results were largely replicated in the London analyses, although in a model containing NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> was clearly the “most robust” pollutant, retaining both the magnitude and statistical significance of its association after the inclusion of NO<sub>2</sub>.

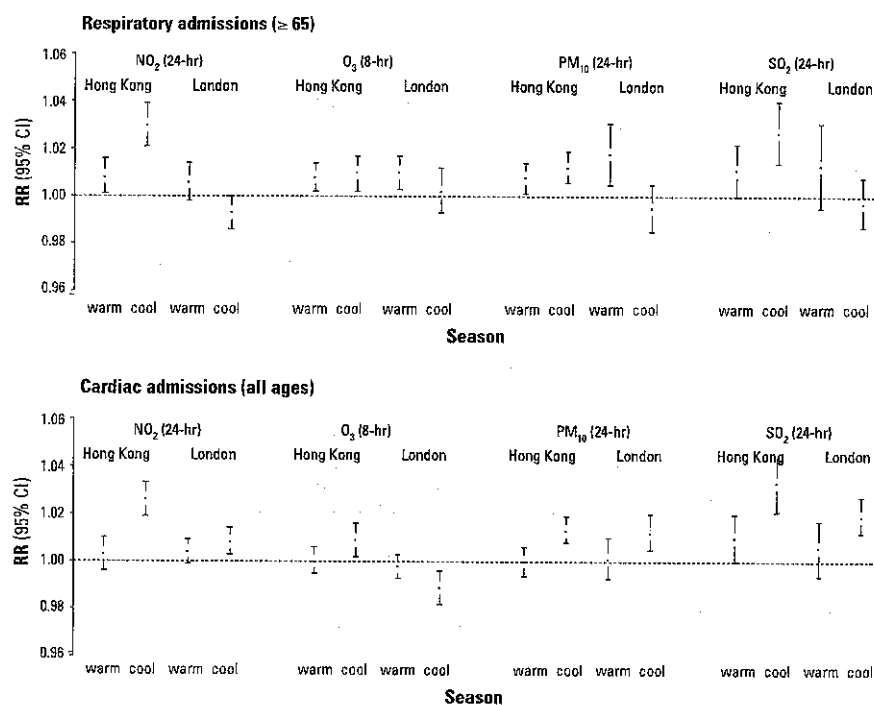
**Exposure–response relationships.** For respiratory admissions in Hong Kong, a negative



**Figure 1.** Effect of pollutants at a single lag day on hospital admissions due to cardiac and respiratory disease in (A) Hong Kong and (B) London. Values shown are relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) for a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in concentration.

**Table 7.** Summary of single-pollutant results in excess risk (ER) and 95% confidence interval (CI) for a 10 µg/m<sup>3</sup> change in concentration at mean lag 0–1 day in warm and cool seasons.

Emergency admission complaints, age	Warm ER (95% CI)	Cool ER (95% CI)	Significance for pollutant by season interaction	Emergency admission complaints, age	Warm ER (95% CI)	Cool ER (95% CI)	Significance for pollutant by season interaction
<b>Hong Kong</b>				<b>London</b>			
<b>Asthma, 15–64 years</b>				<b>Asthma, 15–64 years</b>			
NO <sub>2</sub>	-0.5 (-2.7–1.6)	-0.6 (-2.8–1.6)		NO <sub>2</sub>	0.6 (-0.8–2.0)	1.3 (-0.1–2.8)	
O <sub>3</sub>	-0.3 (-2.0–1.3)	0.6 (-1.4–2.6)		O <sub>3</sub>	-0.1 (-1.4–1.2)	-2.6 (-4.6–0.5)	p ≤ 0.05
PM <sub>10</sub>	-1.0 (-2.8–0.8)	-1.2 (-2.8–0.4)		PM <sub>10</sub>	0.6 (-1.9–3.1)	1.6 (-0.3–3.6)	
SO <sub>2</sub>	1.5 (-1.5–4.6)	-2.0 (-5.4–1.4)		SO <sub>2</sub>	-1.4 (-4.7–1.9)	1.6 (-0.5–3.8)	
<b>Respiratory, ≥ 65 years</b>				<b>Respiratory, ≥ 65 years</b>			
NO <sub>2</sub>	0.8 (0.1–1.6)	3.0 (2.1–3.9)	p ≤ 0.001	NO <sub>2</sub>	0.6 (-0.2–1.4)	-0.7 (-1.4–0.0)	p ≤ 0.01
O <sub>3</sub>	0.8 (0.2–1.4)	1.0 (0.2–1.7)		O <sub>3</sub>	1.0 (0.3–1.7)	0.2 (-0.7–1.2)	
PM <sub>10</sub>	0.8 (0.1–1.4)	1.2 (0.6–1.9)		PM <sub>10</sub>	1.8 (0.5–3.1)	-0.5 (-1.5–0.5)	p ≤ 0.01
SO <sub>2</sub>	1.1 (0.0–2.2)	2.7 (1.4–4.0)	p ≤ 0.05	SO <sub>2</sub>	1.3 (-0.5–3.1)	-0.3 (-1.3–0.8)	
<b>Cardiac, all ages</b>				<b>Cardiac, all ages</b>			
NO <sub>2</sub>	0.3 (-0.4–1.0)	2.6 (1.9–3.3)	p ≤ 0.001	NO <sub>2</sub>	0.4 (-0.1–0.9)	0.8 (0.3–1.4)	
O <sub>3</sub>	0.0 (-0.5–0.6)	0.9 (0.2–1.6)	p ≤ 0.05	O <sub>3</sub>	-0.2 (-0.7–0.3)	-1.1 (-1.8–0.4)	
PM <sub>10</sub>	0.0 (-0.6–0.6)	1.3 (0.8–1.9)	p ≤ 0.001	PM <sub>10</sub>	0.1 (-0.7–1.0)	1.2 (0.5–2.0)	p ≤ 0.01
SO <sub>2</sub>	1.0 (0.0–2.0)	3.3 (2.1–4.4)	p ≤ 0.01	SO <sub>2</sub>	0.6 (-0.6–1.7)	1.9 (1.2–2.7)	
<b>IHD, all ages</b>				<b>IHD, all ages</b>			
NO <sub>2</sub>	0.1 (-0.9–1.2)	1.2 (0.0–2.3)		NO <sub>2</sub>	0.4 (-0.3–1.1)	1.0 (0.2–1.7)	
O <sub>3</sub>	0.4 (-0.4–1.2)	0.6 (-0.5–1.6)		O <sub>3</sub>	-0.5 (-1.2–0.2)	-1.3 (-2.3–0.3)	
PM <sub>10</sub>	0.2 (-0.7–1.0)	0.8 (-0.1–1.6)		PM <sub>10</sub>	0.1 (-1.1–1.4)	1.3 (0.3–2.3)	
SO <sub>2</sub>	-0.6 (-2.0–0.8)	1.0 (-0.8–2.8)		SO <sub>2</sub>	1.0 (-0.6–2.6)	2.0 (0.9–3.1)	



**Figure 2.** Comparison of pollutant effects in cool and warm seasons on hospital admissions due to respiratory and cardiac diseases. Values shown are relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) for a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in concentration in mean lag 0–1 days.

**Table 8.** Excess risk (ER) and 95% confidence interval (CI) for a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change in mean concentration of lag 0–1 day in each air pollutant from a single- and co-pollutant model.

Emergency admission	After adjusting for co-pollutant			
	NO <sub>2</sub> ER (95% CI)	O <sub>3</sub> ER (95% CI)	PM <sub>10</sub> ER (95% CI)	SO <sub>2</sub> ER (95% CI)
<b>Respiratory</b>				
NO <sub>2</sub>				
Hong Kong	1.8 (1.2–2.4) <sup>a</sup>	1.6 (1.0–2.3)	1.7 (0.8–2.7)	1.6 (0.8–2.4)
London	-0.1 (-0.6–0.5) <sup>a</sup>	0.1 (-0.5–0.6)	-0.4 (-1.2–0.4)	-0.2 (-0.9–0.5)
O <sub>3</sub>				
Hong Kong	0.5 (0.0–1.0)	0.8 (0.3–1.3) <sup>a</sup>	0.5 (0.0–1.1)	1.0 (0.5–1.5)
London	0.8 (0.2–1.4)	0.8 (0.2–1.4) <sup>a</sup>	1.1 (0.5–1.7)	0.9 (0.3–1.5)
PM <sub>10</sub>				
Hong Kong	0.0 (-0.7–0.7)	0.8 (0.3–1.3)	1.0 (0.5–1.5) <sup>a</sup>	0.6 (0.1–1.1)
London	0.9 (-0.3–2.0)	0.4 (-0.3–1.2)	0.4 (-0.3–1.2) <sup>a</sup>	0.7 (-0.5–1.8)
SO <sub>2</sub>				
Hong Kong	0.3 (-0.7–1.4)	1.9 (1.1–2.8)	1.2 (0.3–2.2)	1.8 (0.9–2.6) <sup>a</sup>
London	0.5 (-0.7–1.7)	0.5 (-0.4–1.5)	-0.4 (-1.8–1.0)	0.2 (-0.6–1.1) <sup>a</sup>
<b>Cardiac</b>				
NO <sub>2</sub>				
Hong Kong	1.4 (0.9–2.0) <sup>a</sup>	1.5 (0.9–2.0)	1.7 (0.9–2.5)	0.7 (0.1–1.4)
London	0.7 (0.3–1.0) <sup>a</sup>	0.7 (0.3–1.1)	0.6 (0.0–1.2)	0.1 (-0.3–0.6)
O <sub>3</sub>				
Hong Kong	-0.1 (-0.6–0.4)	0.3 (-0.2–0.7) <sup>a</sup>	0.0 (-0.5–0.5)	0.4 (-0.1–0.9)
London	-0.5 (-0.9–0.0)	-0.6 (-1.0–0.1) <sup>a</sup>	-0.6 (-1.0–0.1)	-0.3 (-0.8–0.1)
PM <sub>10</sub>				
Hong Kong	-0.3 (-0.9–0.4)	0.7 (0.3–1.2)	0.7 (0.3–1.1) <sup>a</sup>	0.1 (-0.4–0.6)
London	0.2 (-0.6–1.0)	0.8 (0.3–1.3)	0.8 (0.3–1.4) <sup>a</sup>	-0.3 (-1.1–0.4)
SO <sub>2</sub>				
Hong Kong	1.4 (0.4–2.3)	2.1 (1.4–2.9)	2.0 (1.1–2.8)	2.1 (1.3–2.8) <sup>a</sup>
London	1.4 (0.6–2.3)	1.6 (0.9–2.2)	2.2 (1.2–3.2)	1.6 (1.0–2.2) <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Estimates from the single-pollutant model.

exposure–response relationship was observed for concentrations of O<sub>3</sub> < 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mainly in the warm season); in London (mainly in the cool season), a neutral relationship was found. For levels of O<sub>3</sub> > 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , there were similar positive linear relationships in both cities (Figure 3).

For cardiac admissions and PM<sub>10</sub> between the 10th and 90th percentiles (i.e., 25–87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Hong Kong and 16–46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in London), both cities showed positive exposure–response relationships (Figure 3). We observed a negative linear association for O<sub>3</sub> across the range of the pollutant in London, whereas in Hong Kong we observed a “J”-shaped exposure–response relationship, indicating a positive association between cardiac admissions and the higher levels of O<sub>3</sub> (data not shown).

For the other exposure–response relationship, there were similarities as well as dissimilarities between the two cities (Figures 4–7), which was quite in agreement with those results presented in Table 5 for the same lag 0–1 day effects.

## Discussion

**Validity of results.** The analytic method was the same in each city and followed the approach adopted by the APHEA collaboration. One of the present authors (R.W.A.) was responsible for analyzing the APHEA 2 respiratory admissions data and worked closely with researchers in Hong Kong to ensure that the application of methods was the same in each city. One feature of this method of Poisson regression is that seasonal, long-term trends and weather factors were modeled using nonparametric methods. This method is widely accepted and has been found to yield comparable results to the earlier method, which uses sinusoidal models for seasonal control (29). It also gives similar results to methods that use a synoptic approach to control for weather factors (30). In a sensitivity analysis, the method of parametric seasonal control was applied to selected series in both London (11) and Hong Kong; results were similar to those observed using the current method, which used generalized additive models (data not shown). The data on air pollution, weather, and outcomes were defined in an identical manner. We did not validate the consistency of hospital diagnosis, but since medical practice and the death certification procedure in Hong Kong has been strongly influenced by British and Commonwealth medical education, it is unlikely that there were major differences. In any case, the adoption of some broad categories (lower respiratory disease and cardiac disease) should have absorbed diagnostic transfer within those groups. The lower level of asthma admissions corresponds to the

known lower prevalence of asthma in Hong Kong (31,32). The lack of statistically significant association in asthmatic admissions may be due to the small numbers, relative to the other categories, and low statistical power to detect a significant association.

**Respiratory admissions.** The results for respiratory admissions were similar when the best single day lag was chosen, with all pollutants showing significant effects in both cities. These results are in line with many other studies (33). However, when the 0–1 day lag was compared, the cities were similar only for  $O_3$ , with only Hong Kong showing significant effects of the other pollutants. This may be explained by the fact that in Hong Kong the effects of  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ , and  $SO_2$  were greatest at early lags, whereas in London the effects were greater with later lags. We have considered whether this difference in lags could be explained by the different primary health care systems. In Hong Kong this is a combination of private practitioners (the great majority) and public out-patient clinics, and heavy use of hospital accident and emergency departments. Perhaps this results in more rapid referral to hospital of persons with severe lower respiratory disease than in London, where the state-provided primary care system takes more responsibility for treating moderately severe disease at home and for controlling access to hospital facilities. We observed that the lag patterns for respiratory mortality associated with  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , and  $SO_2$  (Figure 8) (34,35) also followed the respective patterns for respiratory admissions (Figure 1). The other difference in the effects of  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , and  $SO_2$  was that in Hong Kong, the effects were stronger in the cool season, whereas they were stronger in the warm season in London. One common factor here is that the humidity is lower in the season showing the largest effects. It may also be relevant that the average levels of all pollutants apart from  $SO_2$  are highest during the cool season in Hong Kong.

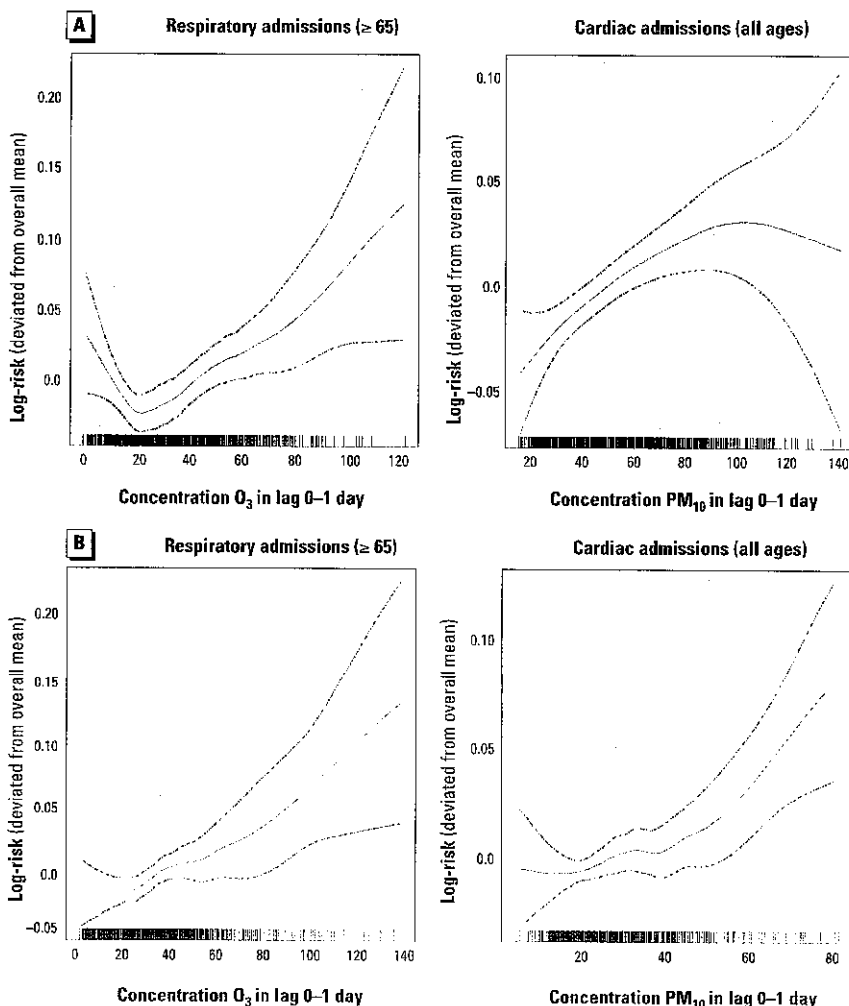
The strong associations between respiratory admissions and  $NO_2$  and  $PM_{10}$  suggest that traffic may be an important source of toxic pollution. In both cities, it has been estimated that only a minority (about 20–40%) of  $PM_{10}$  particles in the ambient air (not just for emissions from various sources) is derived from local traffic (36,37). This is consistent with the finding that  $NO_2$  retains its strong association in two pollutant models while  $PM_{10}$  does not.

$O_3$  showed consistent significant effects on respiratory admissions, irrespective of whether the mean lag 0–1 days or best single day lag was chosen. The exposure–response relationships with  $O_3$  were linear in both cities when concentrations were

> 20  $\mu g/m^3$ , but in Hong Kong, a negative relationship was observed below this level. It could be postulated that the Hong Kong population would be more resistant to  $O_3$  because the diet is higher in antioxidants and because air conditioning is used in most closed spaces, but our data suggest that both populations are equally susceptible. It is relevant to note that  $O_3$  also shows associations with respiratory admissions in a range of European cities, with little heterogeneity (33,38). In both London and Hong Kong, the association with  $O_3$  was very robust to the inclusion of other pollutants in the model.

**Cardiac admissions.** The results for cardiac admissions were similar for both cities in respect to  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , and  $SO_2$ . This was irrespective of whether the mean lag 0–1 or the best lag was chosen, because in contrast to respiratory admissions, both cities displayed the same lag patterns, with lower risks at longer lags. These results add to the accu-

mulating evidence worldwide that air pollution has short-term effects on cardiac admissions. Our evidence indicates that within the cardiac group of diagnoses, there are also effects on ischemic heart disease, but we do not know from this study if the same applies to other diagnoses such as cardiac failure or cardiac arrhythmias. However, we previously demonstrated an effect of  $O_3$  in the cool season on admissions for these cardiac events in the elderly in Hong Kong (8). The exposure–response relationships with  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , and  $SO_2$  were linear in both cities, and there were similar seasonal associations, with both cities having larger effects in the cool season. The two-pollutant models also showed considerable similarities, with  $NO_2$  being robust to the inclusion of  $PM_{10}$  in the models but affected to some extent by  $SO_2$ . In both cities, the effect of  $SO_2$  retained its statistical significance in the presence of all the other pollutants.



**Figure 3.** Exposure ( $\mu g/m^3$ ) and response relationships for  $O_3$  and respiratory admissions and for  $PM_{10}$  and cardiac admissions in (A) Hong Kong and (B) London. The density of the vertical bars on the x-axis shows the distribution of the pollutant concentration data.

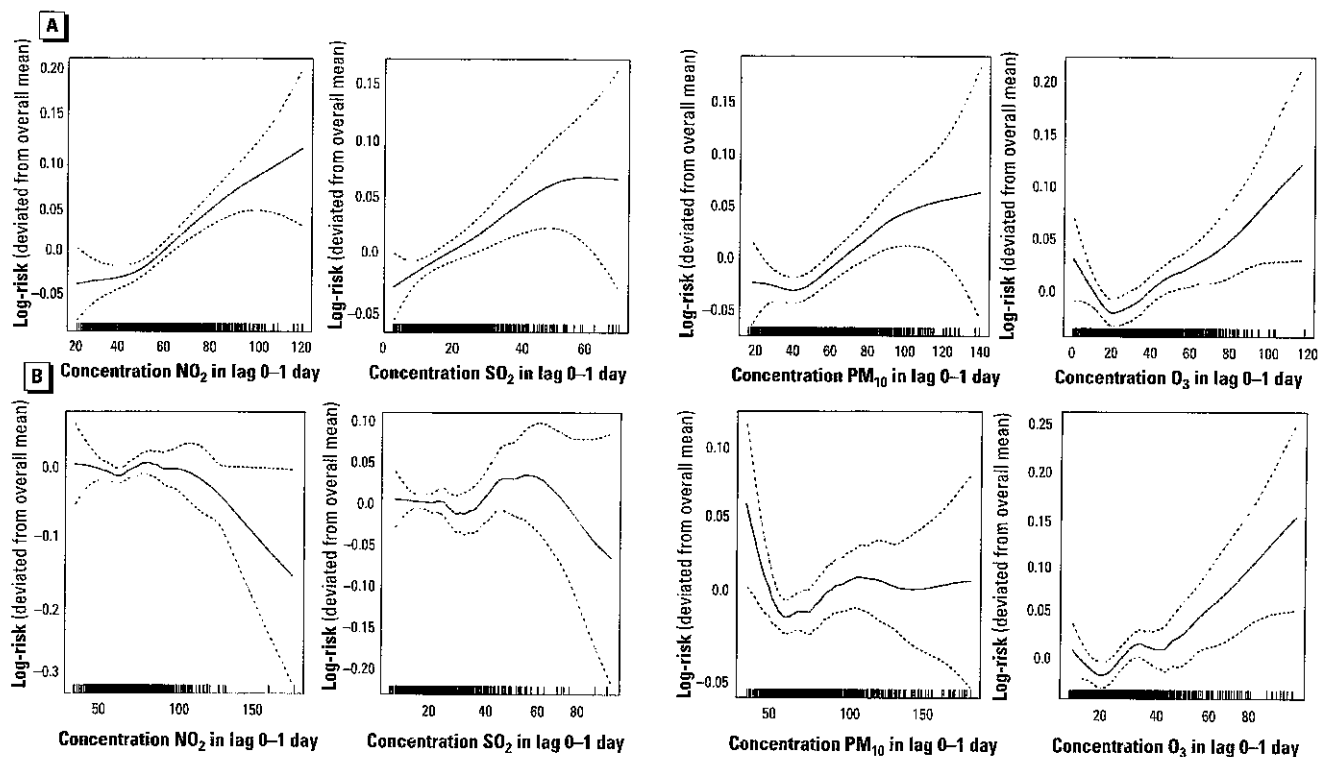


Figure 4. Exposure response curves for respiratory admissions ( $\geq 65$  years of age) in (A) Hong Kong and (B) London for all pollutants under study.

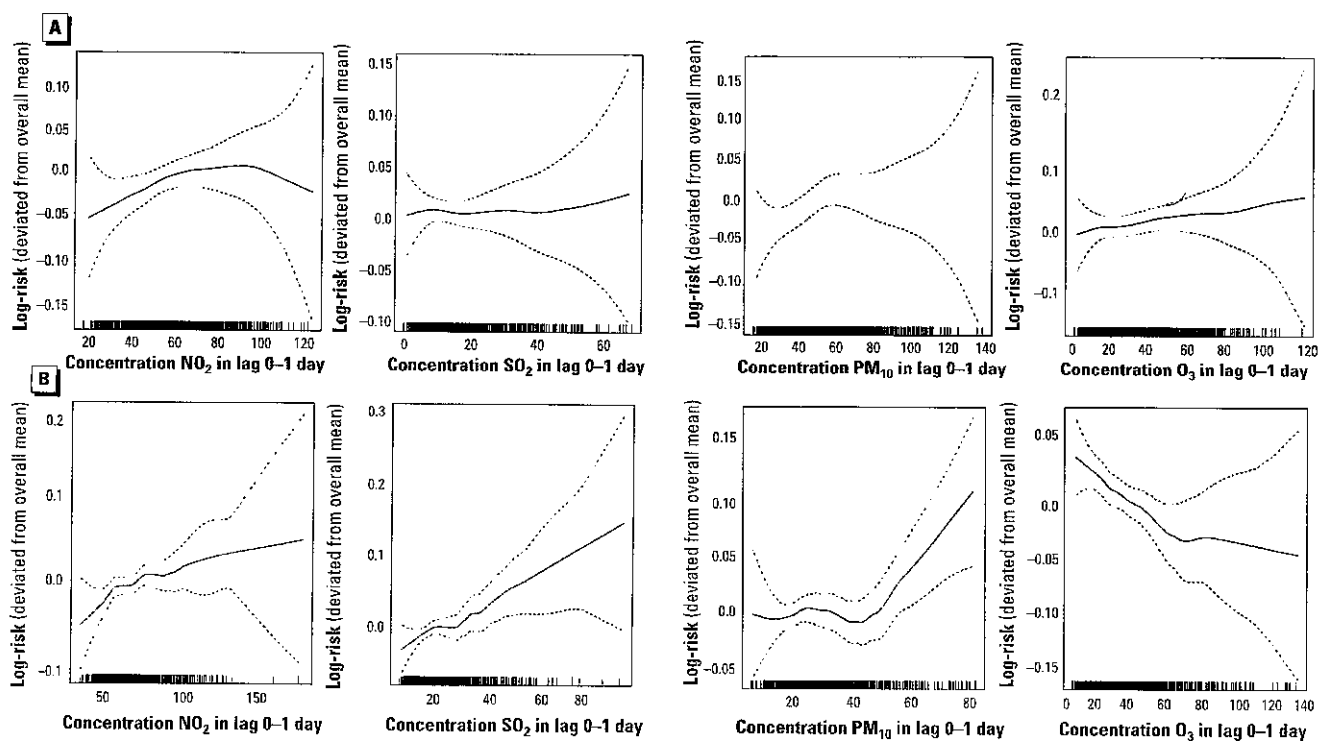


Figure 5. Exposure response curves for IHD (all ages) in (A) Hong Kong and (B) London for all pollutants under study.

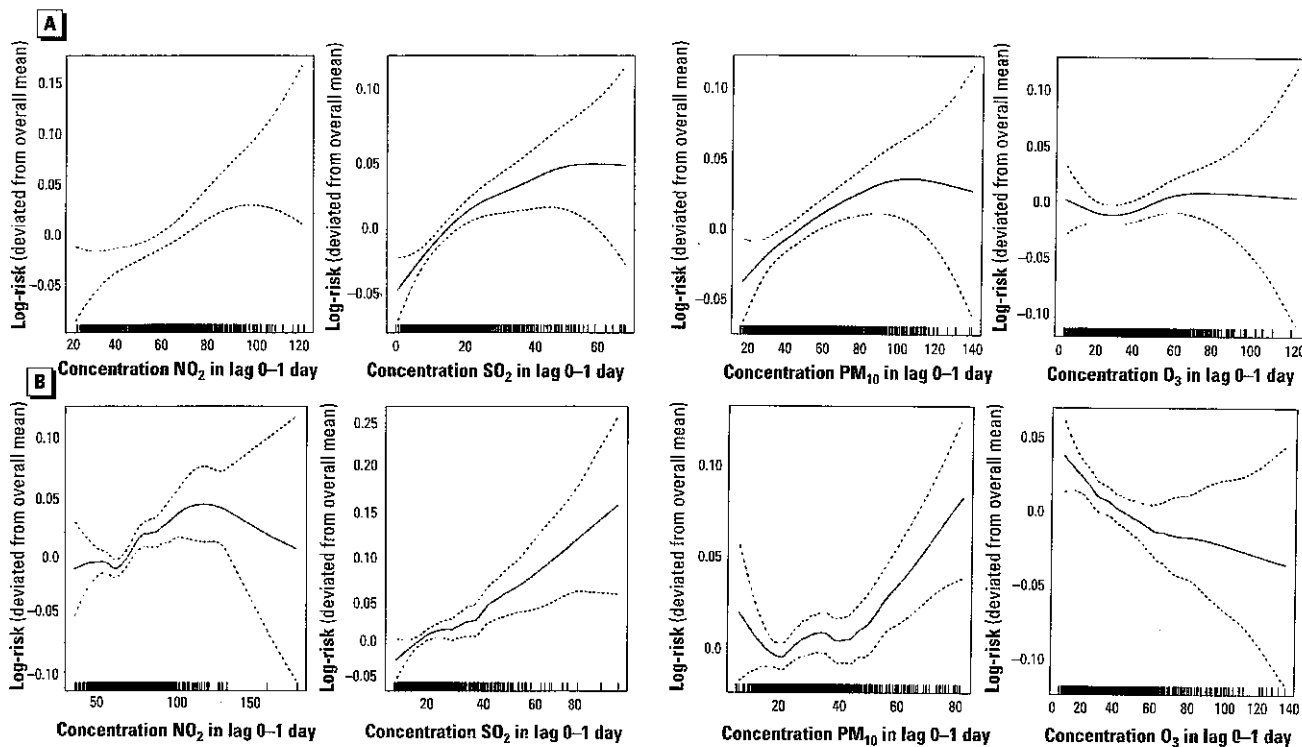


Figure 6. Exposure response curves for cardiac admissions (all ages) in (A) Hong Kong and (B) London for all pollutants under study.

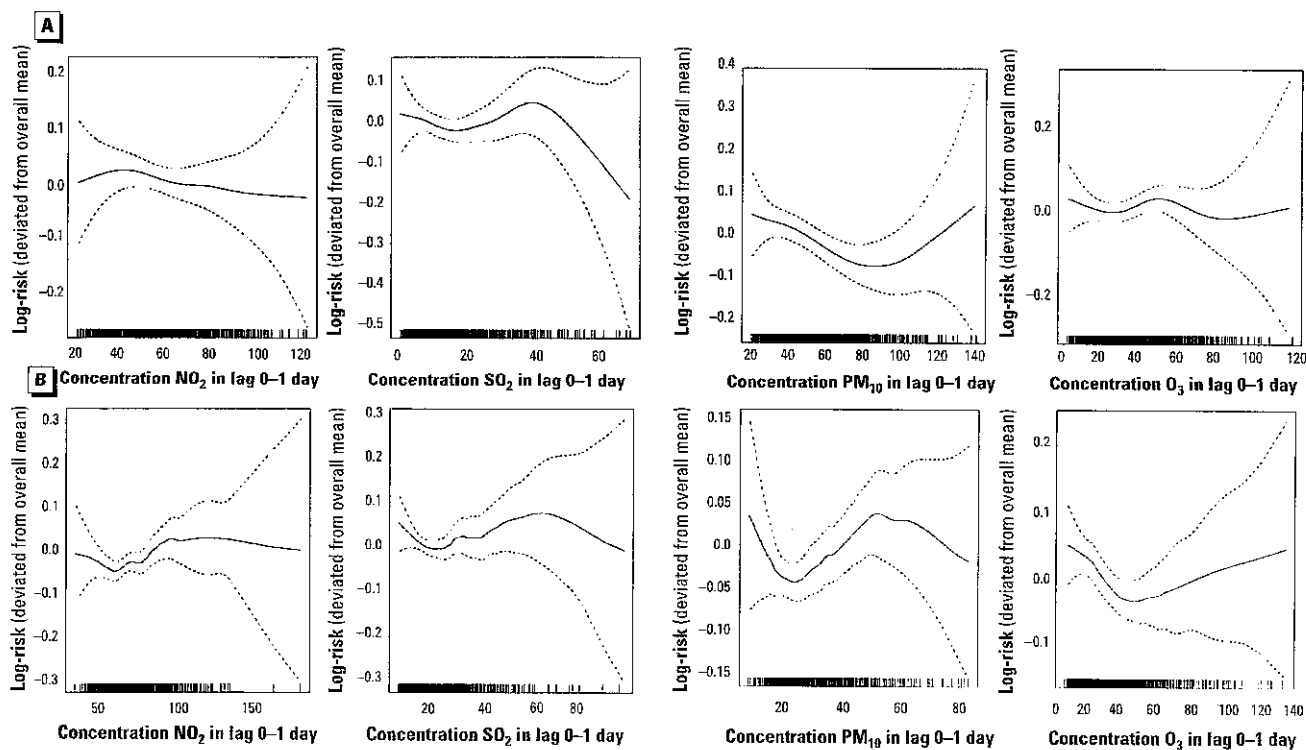
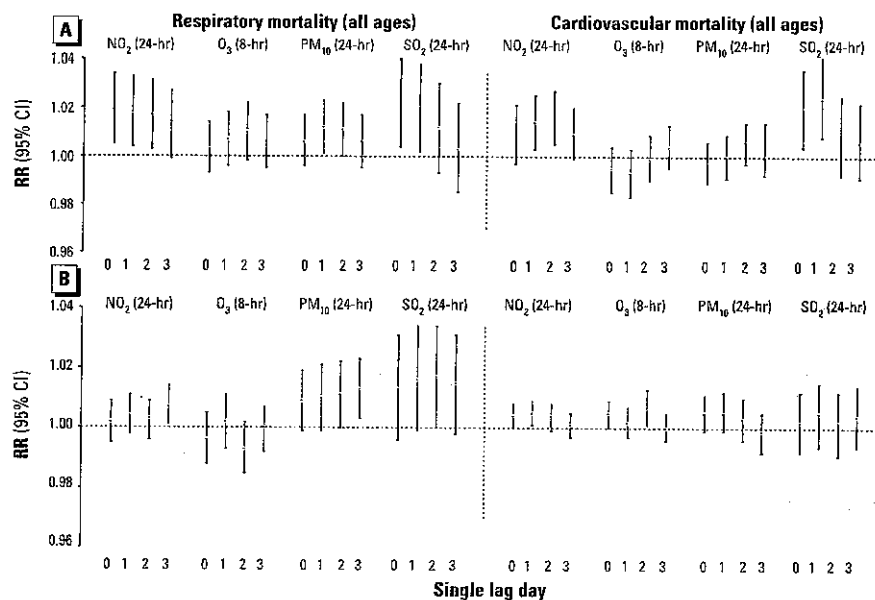


Figure 7. Exposure response curves for asthma (15-64 years of age) in (A) Hong Kong and (B) London for all pollutants under study.





**Figure 8.** Effect of pollutants at a single day lag on mortality due to cardiovascular and respiratory diseases in (A) Hong Kong and (B) London. Values shown are relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) for a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in concentration.

**Relevance of results.** The principal aim of this study was to determine if the effects of air pollution on daily hospital admissions are consistent between Hong Kong and London. An important component of causal thinking in observational studies is whether the associations are consistent in widely varying environments. This is one way in which concerns about unknown or inadequately controlled confounding can be addressed. In air pollution time-series studies, this is especially important because other components of causal reasoning such as size of effect, biological plausibility, and coherence are less convincing than many would wish. Hong Kong and London differ markedly in many respects that could affect confounding or effect modification, especially in climate and lifestyle. We have based our comparison on the size, significance, and direction of estimates of effect, lag pattern, exposure-response relationship, and seasonal effects. We conclude overall that there are considerable similarities in the effects of each pollutant, although the explanations for some differences, including a lack of association with asthma admissions in adults in Hong Kong, differences in the lag pattern for all respiratory admissions, and opposite directions of effect for  $\text{O}_3$  and cardiac admissions, remain uncertain. Overall, we consider the similarities to outweigh the differences; thus, we conclude that our study strengthens the argument for the causality of air pollution associations with hospital admissions.

The comparison has done less to clarify which component of the pollution mixture is

important. The  $\text{O}_3$  associations with respiratory disease are at least independent of other pollutants and in line with studies elsewhere. There is also evidence that  $\text{O}_3$  is potentially toxic at near ambient levels (2). For cardiac admissions, the  $\text{PM}_{10}$  associations were less independent of  $\text{NO}_2$  (and in some cases  $\text{SO}_2$ ) than the reverse. Toxicologic evidence suggests that  $\text{NO}_2$  and  $\text{SO}_2$  are unlikely to have effects at this level, which points toward them being surrogates for some other toxic component.  $\text{PM}_{10}$  is widely regarded as important in spite of meagre human toxicologic corroboration. The cities were similar in the proportion of fine particles comprising  $\text{PM}_{10}$  and in other components such as sulfate (as an indicator of secondary particles) and carbon (as an indicator of primary particles) (36,39-41). Our study, like many others, suggests that traffic sources are important but cannot be more specific. Analysis using many, rather than only two, cities may be one way of learning more about the effects of different pollution mixtures (42).

#### REFERENCES AND NOTES

- Pope III CA, Dockery DW. Epidemiology of particle effects. In: *Air Pollution and Health* (Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard RL, eds). San Diego, CA:Academic Press, 1999:673-705.
- Thurston GD, Ito K. Epidemiological studies of ozone exposure effects. In: *Air Pollution and Health* (Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard RL, eds). San Diego, CA:Academic Press, 1999:485-510.
- Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. Part 1. *Am J Respir Crit Care Med* 153:3-50 (1996).
- Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A, Wojtylak B, Vonk JM, Tobias A, Ponka A, et al. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *J Epidemiol Community Health* 50(suppl 1):S12-S18 (1996).
- Katsouyanni K. Personal communication.
- Samet JM, Dominici F, Zeger SL, Schwartz J, Dockery DW. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study Part I: Methods and Methodologic Issues Research Report 94. Cambridge, MA:Health Effects Institute, 2000.
- Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Currier F, Coursac I, Dockery DW, Schwartz J, Zanobetti A. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study Part II: Morbidity, Mortality, and Air Pollution in the United States. Research Report 94. Cambridge, MA:Health Effects Institute, 2000.
- Wong CM, Ma S, Hedley AJ, Lam TH. Does ozone have any effect on daily hospital admissions for circulatory diseases? *J Epidemiol Community Health* 53:580-581 (1999).
- Wong TW, Lau TS, Yu TS, Neller A, Wong SL, Tam W, Pang SW. Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Occup Environ Med* 56:679-683 (1999).
- Ponce de Leon A, Anderson HR, Bland JM, Strachan DP, Bower J. Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 and 1991-92. *J Epidemiol Community Health* 33(suppl 1):S63-S70 (1996).
- Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, Ponce de Leon A. Short-term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch Environ Health* 54:398-411 (1999).
- WHO. Manual of the International Statistical Classification of Diseases, Injuries, and Causes of Death: Based on the Recommendations of the 9th Revision Conference, 1975, and Adopted by the Twenty-Ninth World Health Assembly. Geneva:World Health Organization, 1977-78.
- Cleveland RB, Cleveland W, McRae JE, Terpening I. STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *J Off Stat* 6:3-73 (1990).
- Akaike H. Information theory and extension of maximum likelihood principle. In: *2nd International Symposium on Information Theory* (Petrov BN, Casaki F, eds). Budapest:Akademia Kiado, 1973:267-281.
- Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Bacharova L, Barumadzadeh T, le Tertre A, Piekarski T, Ponce de Leon A, Ponka A, Rossi G, et al. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. *J Epidemiol Community Health* 50(suppl 1):S3-S11 (1996).
- Hastie TJ, Tibshirani RJ. *Generalized Additive Models*. London:Chapman and Hall, 1990.
- Census and Statistics Department. *Hong Kong Annual Digest of Statistics 1998*. Hong Kong:Census and Statistics Department, 1998.
- Office of Population and Censuses Surveys. *1992 Mortality Statistics. Series DHS No. 19, England and Wales*. London:Her Majesty's Stationery Office, 1992.
- Census and Statistics Department. *Social Data Collected via the General Household Survey. Special Topics Report No. 20*. Hong Kong:Census and Statistics Department, 1998.
- Department of Health. *Statistics on Smoking: England, 1978 to 1996*. London:Department of Health, 1998.
- Janus ED, Cockram CS, Fielding R, Hedley AJ, Ho P, Lam KSL, Lam TH, Lau CP, Lo M, Lo SC, et al. *Hong Kong Cardiovascular Risk Factor Prevalence Study 1995-1996*. Hong Kong:Department of Clinical Biochemistry, Queen Mary Hospital of Hong Kong, 1996.
- Office for National Statistics. *Living in Britain: Results from the 1996 General Household Survey*. London:Stationery Office, 1998.
- The Bottom Line. Available: <http://www.asiaweek.com/asiaweek/magazine/2000/1027/bottomline.html> [cited 6 December 2001].
- Department of Health. *Department of Health Annual Report 1996/97*. Hong Kong:Department of Health, 1998.
- Office of National Statistics. *Mortality Statistics: England and Wales*. London:Her Majesty's Stationery Office, 1996.
- Segi M. *Cancer Mortality for Selected Sites in 24 Countries (1950-1957)*. Sendai, Japan:Tohoku University School of Public Health, 1960.
- Planning, Environment and Lands Bureau. *Clean Air in Hong Kong*. Available: <http://www.info.gov.hk/efb/link/cleanair/index.html> [cited 6 December 2001].

28. Buckingham C, Clewley L, Sadler L, Shah S. London Atmospheric Emissions Inventory. London:London Research Centre, 1997.
29. Kelsall JE, Samet JM, Zeger SL, Xu J. Air pollution and mortality in Philadelphia, 1974–1988. *Am J Epidemiol* 146:750–762 (1997).
30. Samet J, Zeger S, Kelsall J, Xu J, Kalkstein L. Does weather confound or modify the association of particulate air pollution with mortality. *Environ Res* 77:9–19 (1998).
31. Leung R, Ho P. Asthma, allergy, and atopy in three south-east Asian populations. *Thorax* 49:1205–1210 (1994).
32. Worldwide variations in the prevalence of asthma symptoms: the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). *Eur Respir J* 12:315–335 (1998).
33. Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, Le Tertre A, Vonk JM, Touloumi G, Balducci F, Piekarski T, Bacharova L, et al. Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *Arch Environ Health* 53:54–64 (1998).
34. Bremner SA, Anderson HR, Atkinson RW, McMichael AJ, Strachan DP, Bland JM, Bower JS. Short-term associations between outdoor air pollution and mortality in London 1992–4. *Occup Environ Med* 56:237–244 (1999).
35. Wong CM, Ma S, Hedley AJ, Lam TH. Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 109:335–340 (2001).
36. Stedman JR, Linehan E, Conlan B. Receptor modelling of PM<sub>10</sub> concentrations at a United Kingdom National Network Monitoring site in Central London. *Atmos Environ* 35:297–304 (2000).
37. Wu C. Personal communication.
38. Anderson HR, Ponce de Leon A, Bland JM, Bower JS, Emberlin J, Strachan DP. Air pollution, pollens, and daily admissions for asthma in London 1987–92. *Thorax* 53:842–848 (1998).
39. Environmental Protection Department. Air Quality in Hong Kong 1995. Hong Kong:Environmental Protection Department, 1996.
40. Environmental Protection Department. Air Quality in Hong Kong 1996. Hong Kong:Environmental Protection Department, 1997.
41. Environmental Protection Department. Air Quality in Hong Kong 1997. Hong Kong:Environmental Protection Department, 1998.
42. Levy JI, Hammit JK, Spengler JD. Estimating the mortality impacts of particulate matter: what can be learned from between-study variability? *Environ Health Perspect* 108:109–117 (2000).

### Referencias adicionales de estudios en salud

A continuación se listan referencias adicionales en salud relacionados con el dióxido de azufre:

1. Pope CA *et al.* (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287:1132–1141.
2. Hedley AJ *et al.* (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet*, 360:1646–1652.
3. Burnett RT *et al.* (2004). Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59:228–236.
4. Wong CM *et al.* (2001). Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environment Health Perspectives*, 109:335–340.

# Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution

C. Arden Pope III, PhD

Richard T. Burnett, PhD

Michael J. Thun, MD

Eugenia E. Calle, PhD

Daniel Krewski, PhD

Kazuhiko Ito, PhD

George D. Thurston, ScD

**B**ASED ON SEVERAL SEVERE AIR pollution events,<sup>1,3</sup> a temporal correlation between extremely high concentrations of particulate and sulfur oxide air pollution and acute increases in mortality was well established by the 1970s. Subsequently, epidemiological studies published between 1989 and 1996 reported health effects at unexpectedly low concentrations of particulate air pollution.<sup>4</sup> The convergence of data from these studies, while controversial,<sup>5</sup> prompted serious reconsideration of standards and health guidelines<sup>6-10</sup> and led to a long-term research program designed to analyze health-related effects due to particulate pollution.<sup>11-13</sup> In 1997, the Environmental Protection Agency adopted new ambient air quality standards that would impose regulatory limits on fine particles measuring less than 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter ( $\text{PM}_{2.5}$ ). These new standards were challenged by industry groups, blocked by a federal appeals court, but ultimately upheld by the US Supreme Court.<sup>14</sup>

Although most of the recent epidemiological research has focused on ef-

**Context** Associations have been found between day-to-day particulate air pollution and increased risk of various adverse health outcomes, including cardiopulmonary mortality. However, studies of health effects of long-term particulate air pollution have been less conclusive.

**Objective** To assess the relationship between long-term exposure to fine particulate air pollution and all-cause, lung cancer, and cardiopulmonary mortality.

**Design, Setting, and Participants** Vital status and cause of death data were collected by the American Cancer Society as part of the Cancer Prevention II study, an ongoing prospective mortality study, which enrolled approximately 1.2 million adults in 1982. Participants completed a questionnaire detailing individual risk factor data (age, sex, race, weight, height, smoking history, education, marital status, diet, alcohol consumption, and occupational exposures). The risk factor data for approximately 500 000 adults were linked with air pollution data for metropolitan areas throughout the United States and combined with vital status and cause of death data through December 31, 1998.

**Main Outcome Measure** All-cause, lung cancer, and cardiopulmonary mortality.

**Results** Fine particulate and sulfur oxide-related pollution were associated with all-cause, lung cancer, and cardiopulmonary mortality. Each 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  elevation in fine particulate air pollution was associated with approximately a 4%, 6%, and 8% increased risk of all-cause, cardiopulmonary, and lung cancer mortality, respectively. Measures of coarse particle fraction and total suspended particles were not consistently associated with mortality.

**Conclusion** Long-term exposure to combustion-related fine particulate air pollution is an important environmental risk factor for cardiopulmonary and lung cancer mortality.

JAMA. 2002;287:1132-1141

www.jama.com

fects of short-term exposures, several studies suggest that long-term exposure may be more important in terms of overall public health.<sup>4</sup> The new standards for long-term exposure to  $\text{PM}_{2.5}$  were originally based primarily on 2 prospective cohort studies,<sup>15,16</sup> which evaluated the effects of long-term pollution exposure on mortality. Both of these studies have been subjected to much scrutiny,<sup>3</sup> including an extensive independent audit and reanalysis of the original data.<sup>17</sup> The larger of these

2 studies linked individual risk factor and vital status data with national ambient air pollution data.<sup>16</sup> Our analysis uses data from the larger study and

**Author Affiliations:** Brigham Young University, Provo, Utah (Dr Pope); Health Canada, Ottawa, Ontario (Dr Burnett); University of Ottawa, Ottawa, Ontario (Drs Burnett and Krewski); American Cancer Society, Atlanta, Ga (Drs Thun and Calle); and New York University School of Medicine, Tuxedo, NY (Drs Ito and Thurston).

**Corresponding Author and Reprints:** C. Arden Pope III, PhD, Department of Economics, Brigham Young University, 142 FOB, Provo, UT 84602 (e-mail: cap3@email.byu.edu).

000611

VTA

(1) doubles the follow-up time to more than 16 years and triples the number of deaths; (2) substantially expands exposure data, including gaseous copollutant data and new PM<sub>2.5</sub> data, which have been collected since the promulgation of the new air quality standards; (3) improves control of occupational exposures; (4) incorporates dietary variables that account for total fat consumption, and consumption of vegetables, citrus, and high-fiber grains; and (5) uses recent advances in statistical modeling, including the incorporation of random effects and nonparametric spatial smoothing components in the Cox proportional hazards model.

## METHODS

### Study Population

The analysis is based on data collected by the American Cancer Society (ACS) as part of the Cancer Prevention Study II (CPS-II), an ongoing prospective mortality study of approximately 1.2 million adults.<sup>18,19</sup> Individual participants were enrolled by ACS volunteers in the fall of 1982. Participants resided in all 50 states, the District of Columbia, and Puerto Rico, and were generally friends, neighbors, or acquaintances of ACS volunteers. Enrollment was restricted to persons who were aged 30 years or older and who were members of households with at least 1 individual aged 45 years or older. Participants completed a confidential questionnaire, which included questions about age, sex, weight, height, smoking history, alcohol use, occupational exposures, diet, education, marital status, and other characteristics.

Vital status of study participants was ascertained by ACS volunteers in September of the following years: 1984, 1986, and 1988. Reported deaths were verified with death certificates. Subsequently, through December 31, 1998, vital status was ascertained through automated linkage of the CPS-II study population with the National Death Index.<sup>19</sup> Ascertainment of deaths was more than 98% complete for the period of 1982-1988 and 93% complete after 1988.<sup>19</sup> Death certificates or codes

for cause of death were obtained for more than 98% of all known deaths. Cause of death was coded according to the *International Classification of Diseases, Ninth Revision (ICD-9)*. Although the CPS-II cohort included approximately 1.2 million participants with adequate questionnaire and cause-of-death data, our analysis was restricted to those participants who resided in US metropolitan areas with available pollution data. The actual size of the analytic cohort varied depending on the number of metropolitan areas for which pollution data were available. TABLE 1 provides the number of metropolitan areas and participants available for each source of pollution data.

### Air Pollution Exposure Estimates

Each participant was assigned a metropolitan area of residence based on address at time of enrollment and 3-digit ZIP code area.<sup>20</sup> Mean (SD) concentrations of air pollution for the metropolitan areas were compiled from various primary data sources (Table 1). Many of the particulate pollution indices, including PM<sub>2.5</sub>, were available from data from the Inhalable Particle Monitoring Network for 1979-1983 and data from the National Aerometric Database for 1980-1981, periods just prior to or at the beginning of the follow-up period. An additional data source was the Environmental Protection Agency Aerometric Information Retrieval System (AIRS). The mean concentration of each pollutant from all available monitoring sites was calculated for each metropolitan area during the 1 to 2 years prior to enrollment.<sup>17</sup>

Additional information on ambient pollution during the follow-up period was extracted from the AIRS database as quarterly mean values for each routinely monitored pollutant for 1982 through 1998. All quarterly averages met summary criteria imposed by the Environmental Protection Agency and were based on observations made on at least 50% of the scheduled sampling days at each site. The quarterly mean values for all stations in each metro-

politan area were calculated across the study years using daily average values for each pollutant except ozone. For ozone, daily 1-hour maximums were used and were calculated for the full year and for the third quarter only (ie, July, August, September). While gaseous pollutants generally had recorded data throughout the entire follow-up period of interest, the particulate matter monitoring protocol changed in the late 1980s from total suspended particles to particles measuring less than 10  $\mu\text{m}$  in diameter (PM<sub>10</sub>), resulting in the majority of total suspended particle data being available in the early to mid-1980s and PM<sub>10</sub> data being mostly available in the early to mid-1990s.

As a consequence of the new PM<sub>2.5</sub> standard, a large number of sites began collecting PM<sub>2.5</sub> data in 1999. Daily PM<sub>2.5</sub> data were extracted from the AIRS database for 1999 and the first 3 quarters of 2000. For each site, quarterly averages for each of the 2 years were computed. The 4 quarters were averaged when at least 1 of the 2 corresponding quarters for each year had at least 50% of the sixth-day samples and at least 45 total sampling days available. Measurements were averaged first by site and then by metropolitan area. Although no network of PM<sub>2.5</sub> monitoring existed in the United States between the early 1980s and the late 1990s, the integrated average of PM<sub>2.5</sub> concentrations during the period was estimated by averaging the PM<sub>2.5</sub> concentration for early and later periods.

Mean sulfate concentrations for 1980-1981 were available for many cities based on data from the Inhalable Particle Monitoring Network and the National Aerometric Database. Recognizing that sulfate was artifactually overestimated due to glass fiber filters used at that time, season and region-specific adjustments were made.<sup>17</sup> Since few states analyzed particulate samples for sulfates after the early 1980s, individual states were directly contacted for data regarding filter use. Ion chromatography was used to analyze PM<sub>10</sub> filters and this data could be obtained from metropolitan areas across the

## MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

United States. Filters were collected for a single reference year (1990) in the middle of the 1982-1998 study period. The use of quartz filters virtually eliminated the historical overestimation of sulfate. Mean sulfate concentrations for 1990 were estimated using sulfate from AIRS, data reported directly from individual states, and analysis of archived filters.

### Statistical Analysis

The basic statistical approach used in this analysis is an extension of the standard Cox proportional hazards survival

model,<sup>21</sup> which has been used for risk estimates of pollution-related mortality in previous longitudinal cohort studies.<sup>15,16</sup> The standard Cox model implicitly assumes that observations are statistically independent after controlling for available risk factors, resulting in 2 concerns with regard to risk estimates of pollution-related mortality.<sup>22</sup> First, if the assumption of statistical independence is not valid, the uncertainty in the risk estimates of pollution-related mortality may be overstated. Second, even after controlling for available risk factors, survival times of par-

ticipants living in communities closer together may be more similar than participants living in communities farther apart, which results in spatial autocorrelation. If this spatial autocorrelation is due to missing or systematically mismeasured risk factors that are spatially correlated with air pollution, then the risk estimates of pollution-related mortality may be biased due to inadequate control of these factors. Therefore, in this analysis, the Cox proportional hazards model was extended by incorporating a spatial random-effects component, which provided accurate es-

**Table 1.** Summary of Alternative Pollution Indices\*

Pollutant (Years of Data Collection)	Units	Source of Data	Data Compilation Team†	No. of Metropolitan Areas	No. of Participants, in Thousands	Mean (SD)
PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>					
1979-1983		IPMN	HEI	61	359	21.1 (4.6)
1999-2000		AIRS	NYU	116	500	14.0 (3.0)
Average				51	319	17.7 (3.7)
PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>					
1982-1998		AIRS	NYU	102	415	28.8 (5.9)
PM <sub>15</sub>	µg/m <sup>3</sup>					
1979-1983		IPMN	HEI	63	359	40.3 (7.7)
PM <sub>15-2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>					
1979-1983		IPMN	HEI	63	359	19.2 (6.1)
Total suspended particles	µg/m <sup>3</sup>					
1980-1981		NAD	HEI	156	590	68.0 (16.7)
1979-1983		IPMN	HEI	58	351	73.7 (14.3)
1982-1998		AIRS	NYU	150	573	56.7 (13.1)
Sulfate	µg/m <sup>3</sup>					
1980-1981		IPMN and NAD, artifact adjusted	HEI	149	572	6.5 (2.8)
1990		Compilation and analysis of PM <sub>10</sub> filters	NYU	53	269	6.2 (2.0)
Sulfur dioxide	ppb	AIRS				
1980			HEI	118	520	9.7 (4.9)
1982-1998			NYU	126	539	6.7 (3.0)
Nitrogen dioxide	ppb	AIRS				
1980			HEI	78	409	27.9 (9.2)
1982-1998			NYU	101	493	21.4 (7.1)
Carbon monoxide	ppm	AIRS				
1980			HEI	113	519	1.7 (0.7)
1982-1998			NYU	122	536	1.1 (0.4)
Ozone	ppb	AIRS				
1980			HEI	134	569	47.9 (11.0)
1982-1998			NYU	119	525	45.5 (7.3)
1982-1998‡			NYU	134	557	59.7 (12.8)

\*PM<sub>2.5</sub> indicates particles measuring less than 2.5 µm in diameter; PM<sub>10</sub>, particles measuring less than 10 µm in diameter; PM<sub>15</sub>, particles measuring less than 15 µm in diameter; PM<sub>15-2.5</sub>, particles measuring between 2.5 and 15 µm in diameter; µg/m<sup>3</sup>, micrograms per cubic meter; ppb, parts per billion; ppm, parts per million; IPMN, Inhalable Particle Monitoring Network; AIRS, Aerometric Information Retrieval System [Environmental Protection Agency]; and NAD, National Aerometric Database.

†HEI indicates data were compiled by the Health Effects Institute reanalysis team, which was previously published.<sup>17</sup> NYU indicates data were compiled at the New York University School of Medicine, Nelson Institute of Environmental Medicine (K.I. and G.D.T.).

‡Daily 1-hour maximums were used. Values were calculated only for the third quarter (ie, July, August, September).

000613

VTA.

## MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

nary and lung cancer mortality for participants with less education. Also, for both cardiopulmonary and lung cancer mortality, the RR estimates were higher for nonsmokers.

FIGURE 5 summarizes the associations between mortality risk and air pollutant concentrations listed in Table 1. Statistically significant and relatively consistent mortality associations existed for all measures of fine particulate exposure, including  $PM_{2.5}$  and sulfate particles. Weaker less consistent mortality associations were observed with  $PM_{10}$  and  $PM_{15}$ . Measures of the coarse particle fraction ( $PM_{15-2.5}$ ) and total suspended particles were not consistently associated with mortality. Of the gaseous pollutants, only sulfur dioxide was associated with elevated mortality risk. Interestingly, measures of  $PM_{2.5}$  were associated with all-cause cardiopulmonary, and lung cancer mortality, but not with all other mortality. However, sulfur oxide pollution (as measured by sulfate particles and/or sulfur dioxide) was significantly associated with mortality from all other causes in addition to all-cause, cardiopulmonary, and lung cancer mortality.

**COMMENT**

This study demonstrated associations between ambient fine particulate air pollution and elevated risks of both cardiopulmonary and lung cancer mortality. Each  $10\text{-}\mu\text{g}/\text{m}^3$  elevation in long-term average  $PM_{2.5}$  ambient concentrations was associated with approximately a 4%, 6%, and 8% increased risk of all-cause, cardiopulmonary, and lung cancer mortality, respectively, although the magnitude of the effect somewhat depended on the time frame of pollution monitoring. In addition, this analysis addresses many of the important questions concerning the earlier, more limited analysis of the large CPS-II cohort, including the following issues.

First, does the apparent association between pollution and mortality persist with longer follow-up and as the cohort ages and dies? The present analysis more than doubled the follow-up time to more than 16 years, resulting

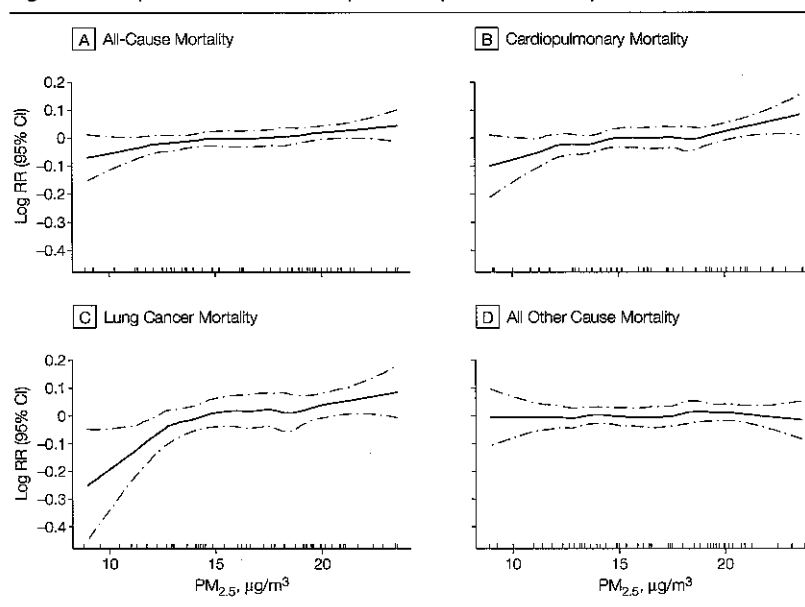
in approximately triple the number of deaths, yet the associations between pollution and mortality persisted.

Second, can the association between fine particulate air pollution and increased cardiopulmonary and lung cancer mortality be due to inadequate control of important individual risk factors? After aggressively controlling for smoking, the estimated fine particulate pollution effect on mortality was remarkably robust. When the analysis was stratified by smoking status, the estimated pollution effect on both cardiopulmonary and lung cancer mortality was strongest for never smokers vs former or current smokers. This analysis also controlled for education, marital status, BMI, and alcohol consumption. This analysis used improved variables to control for occupational exposures and incorporated diet variables that accounted for total fat consumption, as well as for consumption of vegetables, citrus, and high-fiber grains. The mortality associations with fine particulate air pollution were largely unaffected by the inclusion of these indi-

vidual risk factors in the models. The data on smoking and other individual risk factors, however, were obtained directly by questionnaire at time of enrollment and do not reflect changes that may have occurred following enrollment. The lack of risk factor follow-up data results in some misclassification of exposure, reduces the precision of control for risk factors, and constrains our ability to differentiate time dependency.

Third, are the associations between fine particulate air pollution and mortality due to regional or other spatial differences that are not adequately controlled for in the analysis? If there are unmeasured or inadequately modeled risk factors that are different across locations, then spatial clustering will occur. If this clustering is independent or random across metropolitan areas, then the spatial clustering can be modeled by adding a random-effects component to the Cox proportional hazards model as was done in our analysis. The clustering may not be independent or random across metropolitan areas due to inadequately measured or modeled

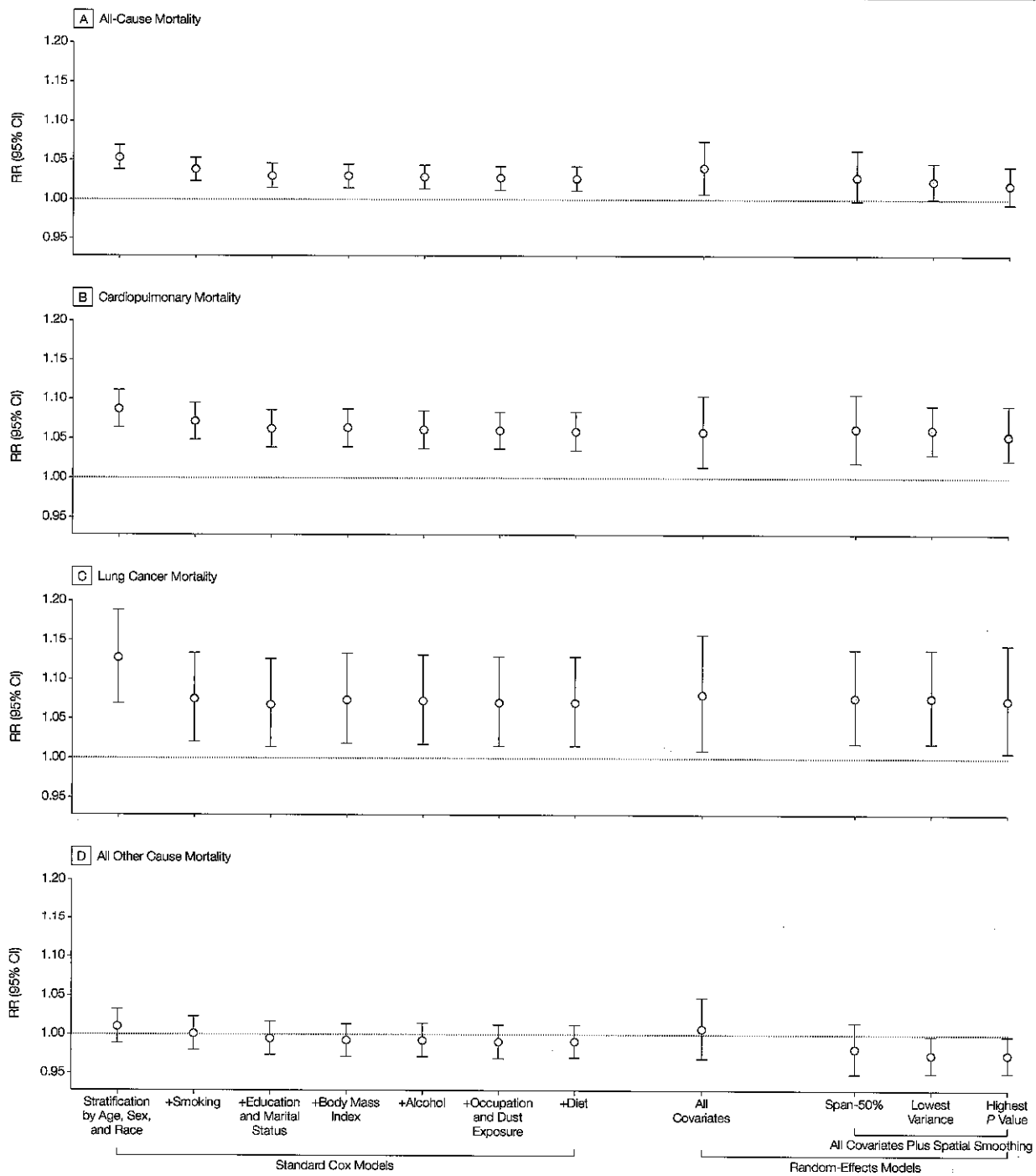
**Figure 2.** Nonparametric Smoothed Exposure Response Relationship



Vertical lines along x-axes indicate rug or frequency plot of mean fine particulate pollution;  $PM_{2.5}$ , mean fine particles measuring less than  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  in diameter; RR, relative risk; and CI, confidence interval.

MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

**Figure 3.** Mortality Relative Risk (RR) Ratio Associated With 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Differences of  $\text{PM}_{2.5}$  Concentrations



Data presented are for 1979-1983 for the different causes of death, with various levels of controlling for individual risk factors, and using alternative modeling approaches. The 3 models with spatial smoothing allow for increasingly aggressive fitting of the spatial structure. Plus sign indicates model included previous variables (ie, smoking included stratification by age, sex, and race);  $\text{PM}_{2.5}$ , mean fine particles measuring less than 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter; and CI, confidence interval.



000614

VTA.

MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

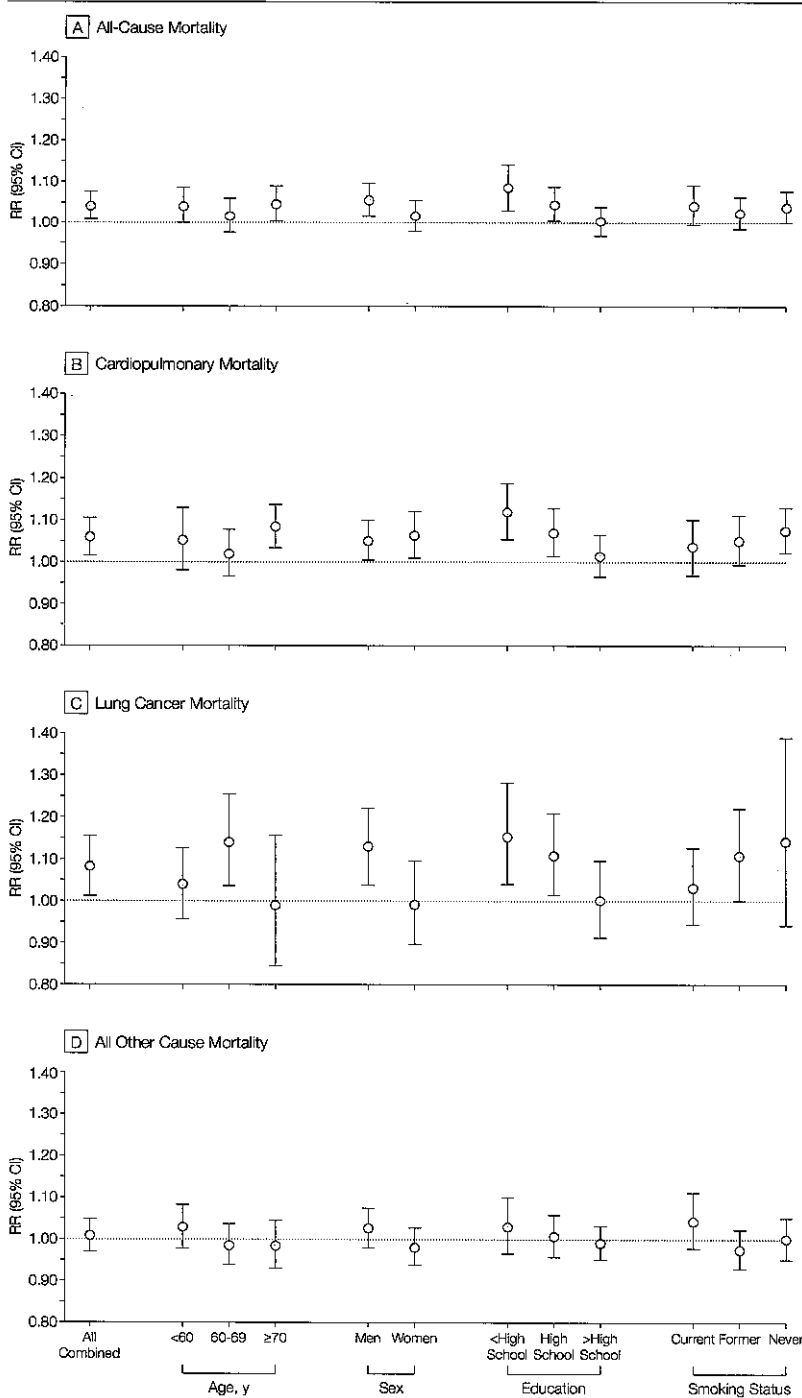
risk factors (either individual or ecological). If these inadequately measured or modeled risk factors are also spatially correlated with air pollution, then biased pollution effects estimates may occur due to confounding. However, in this analysis, significant spatial autocorrelation was not observed after controlling for fine particulate air pollution and the various individual risk factors. Furthermore, to minimize any potential confounding bias, sensitivity analyses, which directly modeled spatial trends using nonparametric smoothing techniques, were conducted. A contribution of this analysis is that it included the incorporation of both random effects and nonparametric spatial smoothing components to the Cox proportional hazards model. Even after accounting for random effects across metropolitan areas and aggressively modeling a spatial structure that accounts for regional differences, the association between fine particulate air pollution and cardiopulmonary and lung cancer mortality persists.

Fourth, is mortality associated primarily with fine particulate air pollution or is mortality also associated with other measures of particulate air pollution, such as PM<sub>10</sub>, total suspended particles, or with various gaseous pollutants? Elevated mortality risks were associated primarily with measures of fine particulate and sulfur oxide pollution. Coarse particles and gaseous pollutants, except for sulfur dioxide, were generally not significantly associated with elevated mortality risk.

Fifth, what is the shape of the concentration-response function? Within the range of pollution observed in this analysis, the concentration-response function appears to be monotonic and nearly linear. However, this does not preclude a leveling off (or even steepening) at much higher levels of air pollution.

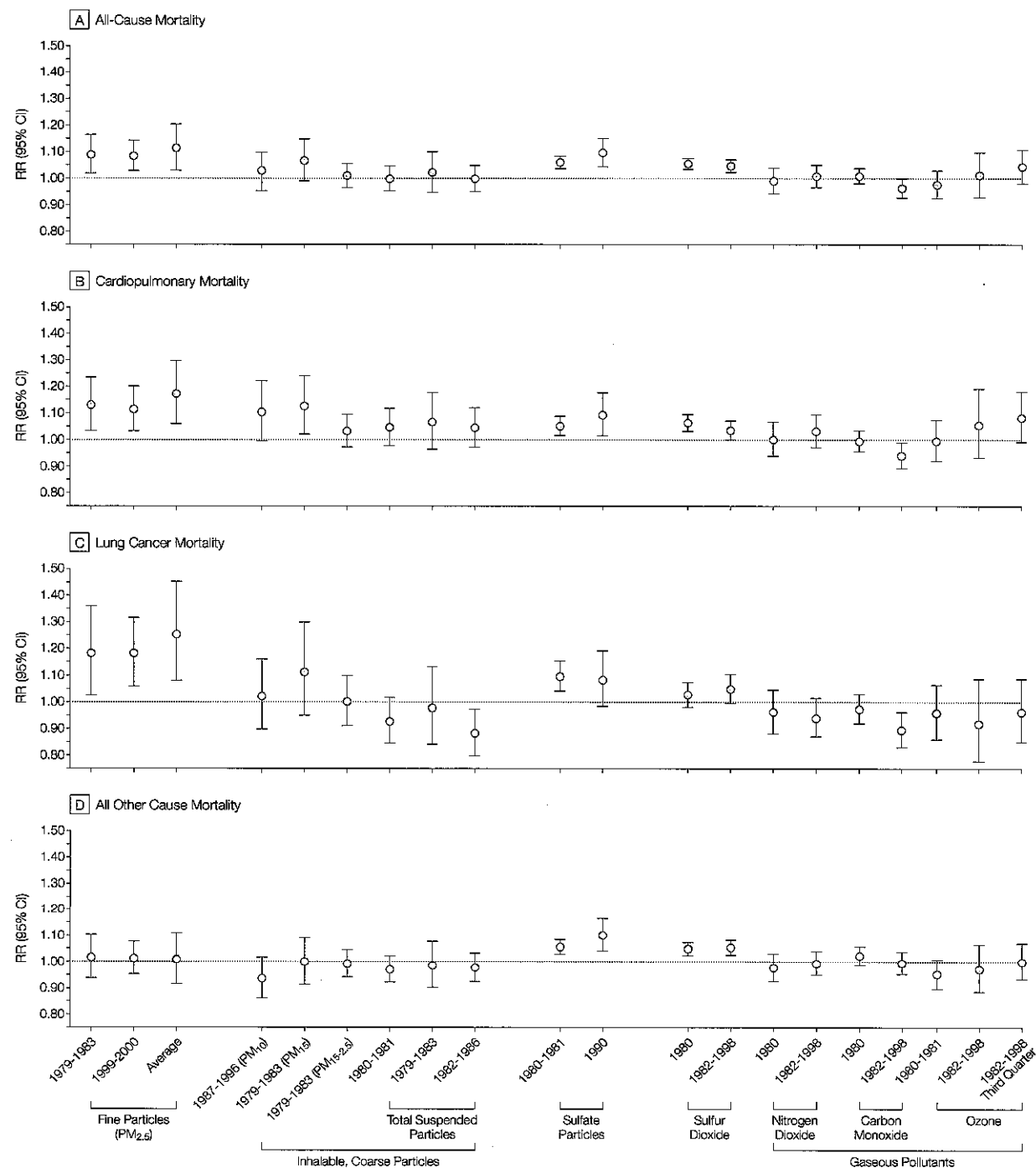
Sixth, how large is the estimated mortality effect of exposure to fine particulate air pollution relative to other risk factors? A detailed description and interpretation of the many individual risk factors that are controlled for in the analysis goes well beyond the scope of

**Figure 4.** Adjusted Mortality Relative Risk (RR) Ratio Associated With 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Differences of PM<sub>2.5</sub> Concentrations



Data presented are for 1979-1983 for the different causes of death stratified by age, sex, education, and smoking status. PM<sub>2.5</sub> indicates mean fine particles measuring less than 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter; CI, confidence interval.

## MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

**Figure 5.** Adjusted Mortality Relative Risk (RR) Ratio Evaluated at Subject-Weighted Mean Concentrations

PM<sub>2.5</sub> indicates particles measuring less than 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter; PM<sub>10</sub>, particles measuring less than 10  $\mu\text{m}$  in diameter; PM<sub>15</sub>, particles measuring less than 15  $\mu\text{m}$  in diameter; PM<sub>15-2.5</sub>, particles measuring between 2.5 and 15  $\mu\text{m}$  in diameter; and CI, confidence interval.

000615

v-7A

## MORTALITY AND LONG-TERM EXPOSURE TO AIR POLLUTION

this report. However, the mortality risk associated with cigarette smoking has been well documented using the CPS-II cohort.<sup>16</sup> The risk imposed by exposure to fine particulate air pollution is obviously much smaller than the risk of cigarette smoking. Another risk factor that has been well documented using the CPS-II cohort data is body mass as measured by BMI.<sup>30</sup> The World Health Organization has categorized BMI values between 18.5-24.9 kg/m<sup>2</sup> as normal; 25-29.9 kg/m<sup>2</sup>, grade 1 overweight; 30-39.9 kg/m<sup>2</sup>, grade 2 overweight; and 40 kg/m<sup>2</sup> or higher, grade 3 overweight.<sup>31</sup> In the present analysis, BMI values and BMI values squared were included in the proportional hazards models. Consistent with previous ACS analysis,<sup>30</sup> BMI was significantly associated with mortality, optimal BMI was between approximately 23.5 and 24.9 kg/m<sup>2</sup>, and the RR of mortality for different BMI values relative to the optimal were dependent on sex and smoking status. For example, the RRs associated with BMI values between 30.0 and 31.9 kg/m<sup>2</sup> (vs optimal) would be up to approxi-

mately 1.33 for never smokers. Based on these calculations, mortality risks associated with fine particulate air pollution at levels found in more polluted US metropolitan areas are less than those associated with substantial obesity (grade 3 overweight), but comparable with the estimated effect of being moderately overweight (grade 1 to 2).

In conclusion, the findings of this study provide the strongest evidence to date that long-term exposure to fine particulate air pollution common to many metropolitan areas is an important risk factor for cardiopulmonary mortality. In addition, the large cohort and extended follow-up have provided an unprecedented opportunity to evaluate associations between air pollution and lung cancer mortality. Elevated fine particulate air pollution exposures were associated with significant increases in lung cancer mortality. Although potential effects of other unaccounted for factors cannot be excluded with certainty, the associations between fine particulate air pollution and lung cancer mortality, as well as cardiopulmonary mortality, are

observed even after controlling for cigarette smoking, BMI, diet, occupational exposure, other individual risk factors, and after controlling for regional and other spatial differences.

**Author Contributions:** Study concept and design: Pope, Burnett, Krewski, Thurston.

**Acquisition of data:** Thun, Calle, Krewski, Ito, Thurston.

**Analysis and interpretation of data:** Pope, Burnett, Krewski, Thurston.

**Drafting of the manuscript:** Pope, Burnett, Ito, Thurston.

**Critical revision of the manuscript for important intellectual content:** Pope, Thun, Calle, Krewski, Thurston.

**Statistical expertise:** Pope, Burnett, Krewski.

**Obtained funding:** Pope, Thun, Thurston.

**Administrative, technical, or material support:** Pope, Calle, Krewski, Ito, Thurston.

**Study supervision:** Pope, Krewski.

**Funding/Support:** The research for this article was supported largely by grant ES09560-01A1 from the National Institutes of Health/National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). It was also supported in part by grant ES00260 from the New York University Center/NIEHS, grant R-827351 from the Environmental Protection Agency PM Health Effects Research Center, and funding from the R. Samuel McLaughlin Centre for Population Health Risk Assessment at the University of Ottawa.

**Acknowledgment:** We thank Morton Lippmann, PhD, for his help in developing the research grant application and various comments and suggestions and Yuanli Shi, MD, for computer programming and statistical analysis support.

## REFERENCES

1. Firket J. The cause of the symptoms found in the Meuse Valley during the fog of December, 1930. *Bull Acad R Med Belgium*. 1931;11:683-741.
2. Ciocco A, Thompson DJ. A follow-up of Donora ten years after: methodology and findings. *Am J Public Health*. 1961;51:155-164.
3. Logan WPD, Glasg MD. Mortality in London fog incident, 1952. *Lancet*. 1953;1:336-338.
4. Pope CA III, Dockery DW. Epidemiology of particulate effects. In: Holgate ST, Koren H, Maynard R, Samet J, eds. *Air Pollution and Health*. London, England: Academic Press; 1999:673-705.
5. Kaiser J. Showdown over clean air science. *Science*. 1997;277:466-469.
6. World Health Organization-European Region. *Update and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization-European Region; 1995. Document EUR/ICP/EHAZ 9405/PB01.
7. CEPA/FPAC Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines. *National Ambient Air Quality Objectives for Particulate Matter*. Ottawa, Ontario: Public Works and Government Services; 1998. Category No. H46-2/98-220.
8. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;153:3-50.
9. Committee on the Medical Effects of Air Pollution. *Non-Biological Particles and Health*. London, England: United Kingdom Dept of Health; 1995.
10. Environmental Protection Agency. *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. Washington, DC: Environmental Protection Agency; 1996. Document EPA/600/P-95/001cf.
11. Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities. *N Engl J Med*. 2000;343:1742-1749.
12. National Research Council. *Research Priorities for Airborne Particulate Matter, I: Immediate Priorities and a Long-Range Research Portfolio*. Washington, DC: National Academy Press; 1998.
13. National Research Council. *Research Priorities for Airborne Particulate Matter, III: Early Research Progress*. Washington, DC: National Academy Press; 2001.
14. *Whitman v American Trucking Associations Inc*, 532 US 457 (2001).
15. Dockery DW, Pope CA III, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med*. 1993;329:1753-1759.
16. Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151:669-674.
17. Krewski D, Burnett RT, Goldberg MS, et al. *Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality: Special Report*. Cambridge, Mass: Health Effects Institute; 2000.
18. Chao, A, Thun MJ, Jacobs E, Henley SJ, Rodriguez C, Calle EE. Cigarette smoking and colorectal cancer mortality in the Cancer Prevention Study II. *J Natl Cancer Inst*. 2000;92:1888-1896.
19. Calle EE, Terrell DD. Utility of the National Death Index for ascertainment of mortality among Cancer Prevention Study II participants. *Am J Epidemiol*. 1993;137:235-241.
20. US Postal Service. *1989 National Five Digit Zip Code and Post Office Directory*. Washington, DC: National Information Data Center; 1989.
21. Fleming TR, Harrington DP. *Counting Processes and Survival Analysis*. New York, NY: John Wiley & Sons; 1991.
22. Burnett R, Ma R, Jerrett M, et al. The spatial association between community air pollution and mortality: a new method of analyzing correlated geographic cohort data. *Environ Health Perspect*. 2001;109(suppl 3):375-380.
23. Easton DF, Peto J, Babiker GAG. Floating absolute risk: an alternative to relative risk in survival and case-control analysis avoiding an arbitrary reference group. *Stat Med*. 1991;10:1025-1035.
24. Burnett RT, Ross WH, Krewski D. Non-linear mixed regression models. *Environmetrics*. 1995;6:85-99.
25. Siemiatycki J, Nadon L, Lakhani R, Beegin D, Geerin M. Exposure assessment. In: Siemiatycki J, ed. *Risk Factors for Cancer in the Workplace*. Baton Rouge, La: CRC Press; 1991:45-114.
26. Cleveland WS, Devlin SJ. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J Am Stat Assoc*. 1988;74:829-836.
27. Hastie T, Tibshirani R. *Generalized Additive Models*. London, England: Chapman & Hall; 1990.
28. *S-Plus 2000 Programmer's Guide*. Seattle, Wash: Math Soft; 2000.
29. Priestly MB. *Spectral Analysis and Time Series*. London, England: Academic Press; 1981.
30. Calle EE, Thun MJ, Petrelli JM, Rodriguez C, Heath CW Jr. Body-mass index and mortality in a prospective cohort of US adults. *N Engl J Med*. 1999;341:1097-1105.
31. Physical status: the use and interpretation of anthropometry: report of a WHO expert committee. *WHO Tech Rep Ser*. 1995;854:1-452.

# Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study

Anthony Johnson Hedley, Chit-Ming Wong, Thuan Quoc Thach, Stefan Ma, Tai-Hing Lam, Hugh Ross Anderson

## Summary

**Background** In July, 1990, a restriction was introduced over one weekend that required all power plants and road vehicles in Hong Kong to use fuel oil with a sulphur content of not more than 0.5% by weight. This intervention led to an immediate fall in ambient sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>). We assessed the effect of this intervention on mortality over the next 5 years.

**Methods** Changes in trends in deaths were estimated by a Poisson regression model of deaths each month between 1985 and 1995. Changes in seasonal deaths immediately after the intervention were measured by the increase in deaths from warm to cool season. We also estimated the annual proportional change in number of deaths before and after the intervention. We used age-specific death rates to estimate person-years of life gained.

**Findings** In the first 12 months after introduction of the restriction, a substantial reduction in seasonal deaths was noted, followed by a peak in the cool-season death rate between 13 and 24 months, returning to the expected pattern during years 3–5. Compared with predictions, the intervention led to a significant decline in the average annual trend in deaths from all causes (2.1%;  $p=0.001$ ), respiratory (3.9%;  $p=0.0014$ ) and cardiovascular (2.0%;  $p=0.0214$ ) diseases, but not from other causes. The average gain in life expectancy per year of exposure to the lower pollutant concentration was 20 days (females) to 41 days (males).

**Interpretation** Pollution resulting from sulphur-rich fuels has an effect on death rates, especially respiratory and cardiovascular deaths. The outcome of the Hong Kong intervention provides direct evidence that control of this pollution has immediate and long-term health benefits.

*Lancet* 2002; **360**: 1646–52

Department of Community Medicine, University of Hong Kong, Pokfulam, Hong Kong (Prof A J Hedley MD, C-M Wong PhD, T Q Thach PhD, S Ma MStat, Prof T-H Lam MD); and Department of Public Health Sciences, St George's Hospital Medical School, University of London, London, UK (Prof H R Anderson MD)

**Correspondence to:** Prof A J Hedley, Department of Community Medicine, University of Hong Kong, 5/F Academic and Administration Block, Faculty of Medicine Building, 21 Sassoon Road, Pokfulam, Hong Kong (e-mail: commed@hkucc.hku.hk)

## Introduction

The association between air pollution and health effects including death has been established from reports on high-pollution incidents,<sup>1</sup> time-series analyses,<sup>2</sup> and cohort studies.<sup>3,4</sup> The strongest evidence is for respirable particulates (PM<sub>10</sub>),<sup>5</sup> but many researchers have reported associations with gaseous pollutants, especially sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>).<sup>6</sup> Questions remain about the public-health effect of air pollution, particularly about death rates and life expectancy.<sup>7,8</sup> Very few opportunities have arisen to do epidemiological studies of the effects of interventions or of individual components of pollution.

Absence of data from intervention studies means that inconsistencies between studies on the importance of particulates or gases in pollutant mixtures, as causes of health problems and premature deaths, have not been resolved. One difficulty relevant to assessment of the public-health and economic analyses is the issue of mortality displacement or so-called harvesting.<sup>9,10</sup> Do deaths associated with fluctuations in pollutant concentrations arise mainly in sick or highly vulnerable groups of people, who would have died anyway in the short term, or are there longer-term effects from exposures? Time-series and cohort studies have both investigated the relation between pollution and years of life lost, but each has inherent limitations.

SO<sub>2</sub> has been described as a pollutant of public-health concern. The US Clean Air Act Amendments of 1990 proposed a reduction of 10 million tonnes of SO<sub>2</sub> emissions by 2010, with the aim to reduce SO<sub>2</sub>, sulphate particulates, and acid precipitation.<sup>11</sup> In the first half of 1990, ambient monthly SO<sub>2</sub> concentrations monitored in Hong Kong ranged from 3 µg/m<sup>3</sup> to 145 µg/m<sup>3</sup> between the least and most polluted districts, with a regional mean of 37 µg/m<sup>3</sup>. On July 1, 1990, all power plants and road vehicles in Hong Kong were restricted to use of fuel oil with a sulphur content of not more than 0.5% by weight.<sup>12</sup> This intervention led to an immediate improvement in air quality, which was associated with a fall in SO<sub>2</sub> and sulphate in respirable particulates by up to 80% and 41%, respectively, in the most polluted areas. No great change in any of the other main pollutants was recorded.

In the 2 years after the intervention we showed a reduction of chronic bronchitic symptoms<sup>13</sup> and bronchial hyper-responsiveness<sup>14</sup> in young children. We aimed to assess the immediate and longer-term effect of the air-quality intervention on deaths in the Hong Kong population.

## Methods

### Procedures

From July, 1985, to June, 1995, we obtained data for deaths per month from all causes, respiratory disease (international classification of diseases 9th revision [ICD9] 460–519), cardiovascular disease (ICD9 390–459), and neoplasms (ICD9 140–239), and other causes (ICD9

080616  
VT4

001-009; 140-161; 163-246; 280-294; 320-326; 520-629; 710-719) from the Census and Statistics Department databases.<sup>15</sup> We stratified these data into three groups by age: 15-64 years; 65 and older; and all ages.

Air-pollutant concentrations were obtained from the Environmental Protection Department<sup>16</sup> for the period 1988-95. From five stations with almost complete data (97%), we plotted monthly mean concentrations of SO<sub>2</sub>, sulphate in respirable particulates, nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>; two stations only), and PM<sub>10</sub> to investigate changes in concentrations of pollutants at each station 2 years before and 5 years after introduction of the fuel regulations. Daily pollutant concentrations measured by the five stations showed an average correlation of  $r=0.5$  (range 0.3-0.7). A further three stations had useable data for 1 year before and up to 3 years after the intervention. The average correlation for all eight stations was  $r=0.4$  (0.1-0.7) over the period 1990-92.

We used District Board resident populations to estimate the population covered by the different monitoring stations. We estimated that five stations covered 54% of the population, and all eight, 73%.

We assessed the overall change from baseline in average monthly concentration of each pollutant, by corresponding month and station for 5 years after the intervention. We applied a two-tailed *t* test to establish whether the means of the 5-year differences (maximum  $n=300$ ) for each pollutant were different from zero.

**Statistical analysis**

We obtained a measure ( $\lambda$ ) of change in death rates, relative to the mean, in the warm (April-September) or cool (October-March) seasons, by three methods. We first obtained monthly expected values from a linear regression model of monthly deaths. Second, we fitted a Poisson regression with observed/expected deaths as the dependent variable and a pair of  $\alpha \times \text{sine}$  and  $\beta \times \text{cosine}$  terms as the independent variables to model one cycle per year, where  $\alpha$  and  $\beta$  are coefficients to be estimated from the regression. This model is sufficient to show the major warm to cool season changes. Third, we calculated the value of  $\lambda$ , using the equation shown in the panel, with 95% CIs. We did this calculation for every year after the intervention and for every cause of death by all ages and specific age-groups, and compared the values with those derived from the period before the intervention.<sup>17</sup>

We used the Poisson regression to model monthly deaths as a dependent variable,<sup>18</sup> taking into account

trends, seasonality (by pairs of sine and cosine terms, allowing for one to three cycles per year to capture the main seasonal variations per year), temperature, and relative humidity, with stratification into two 5-year periods, before and after the intervention. We used the coefficient from the regression model to derive the average annual change in number of deaths in each of the two 5-year periods. We calculated the relative change in these estimates between the two periods, by causes of death and age-groups, with an interaction term representing the relative change in trend between the two periods. This term directly indicates the effect of the intervention in terms of average annual reduction in mortality.

We investigated differences in deaths over 5 years between districts with and without sustained reductions in SO<sub>2</sub> versus baseline. These districts were grouped in accordance with their reduction in SO<sub>2</sub> up to 2.5 years after the intervention, as indicated by eight monitoring stations. Over this period, the average change at the four stations with a consistently sustained reduction in SO<sub>2</sub> over 2.5 years was a 52.8% decrease versus an 8.7% increase at the four stations with reductions for shorter periods. These two groups of districts were defined as high and low SO<sub>2</sub> reduction areas. We assessed excess risk of death with Poisson regression on monthly death rates. Covariates included time trend, seasonality (sine and cosine terms), temperature and humidity, and a dummy variable for 5 years before and after the intervention.

We used age at death before intervention (1985-90) to calculate potential years of life lost due to death from all causes and cardiorespiratory disease, on the basis of life expectancy in those years. We calculated years of life that were saved by the intervention by applying the relative change in trend for deaths after the intervention to the years of life lost before the intervention.

We used differences in age-specific death rates, based on the population at the midpoint of two 2-year periods immediately before and after the intervention, to calculate change in life expectancy per year of exposure to the reduced pollutant levels, expressed per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  of SO<sub>2</sub>. Furthermore, we estimated gain in life expectancy with the annual relative risk per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  SO<sub>2</sub>, for a hypothetical cohort of people age 25-100 years.<sup>8</sup> We obtained numbers of survivors for each 5-year age-group (25-29, 30-34, 35-39, etc) from the 1991 Hong Kong life-table.

All tests of significance are two tailed unless otherwise stated.

**Role of the funding source**

The sponsors had no role in study design, data collection, data analysis, data interpretation, or writing of the report.

**Equation used to calculate  $\lambda$**

$$\lambda = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

Pollutant	Baseline*	After intervention									
	Mean (SD) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 year†		2.5 years‡			5 years§				
	Mean (SD) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Absolute change	Relative change (%)	Mean (SD) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Absolute change	Relative change (%)	Mean (SD) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Absolute change	Relative change (%)	p¶	
SO <sub>2</sub>	44.2 (40.1)	20.8 (9.9)	-23.4	-53.0	22.3 (10.8)	-21.9	-49.6	24.5 (12.2)	-19.7	-44.7	<0.0001
SO <sub>2</sub> RSP	8.9 (3.2)	6.9 (2.0)	-2.0	-22.9	7.9 (2.8)	-1.0	-11.7	8.9 (3.1)	0.0	-0.3	0.896
NO <sub>2</sub>	54.7 (22.8)	48.1 (12.0)	-6.7	-12.2	52.8 (15.1)	-1.9	-3.5	54.7 (14.7)	0.0	-0.1	0.205
O <sub>3</sub>	18.5 (7.5)	21.3 (9.1)	2.8	15.2	22.1 (10.2)	3.6	19.6	23.8 (11.4)	5.2	28.3	<0.0001
PM <sub>10</sub>	59.8 (17.0)	59.8 (16.9)	0.0	0.0	61.7 (17.4)	1.9	3.2	60.2 (17.6)	0.4	0.6	0.926

SO<sub>2</sub> RSP=sulphate in respirable particulates. \*July, 1989, to June, 1990. †July, 1990, to June, 1991. ‡July, 1990, to December, 1992. §July, 1990, to June, 1995. ¶For difference from baseline concentration to corresponding month and stations over the 5 years after the intervention.

Table 1: Mean (SD) concentration of pollutants based on five stations at baseline and after intervention with mean absolute and relative changes

**Results**

In the first year after introduction of the intervention, mean fall in SO<sub>2</sub> concentration at five stations was 53% (table 1). Reduction in SO<sub>2</sub> concentration was sustained between 35% and 53% (mean 45%) of the mean value before the intervention, over 5 years. At eight stations for which complete data were available for up to 2.5 years, the average reduction in SO<sub>2</sub> concentration over this period was 50%.

Mean concentration of sulphate in respirable particulates at five stations for 2 years before the intervention was 8.9 µg/m<sup>3</sup>. This concentration fell by 15–23% for 2 years but rose again to between 110% and 114% of the concentration before 1990 in years 3–5 after the intervention (data not shown). No significant change in mean concentration of PM<sub>10</sub> (p=0.926) and NO<sub>2</sub> (p=0.205)—but a significant increase of O<sub>3</sub> (p<0.0001)—was noted over the 5 years after the restriction on fuel sulphur content (figure 1).

Over the 5 years before the intervention, number of deaths per month showed a stable seasonal pattern for all causes and cardiorespiratory diseases. In the year after the restriction on fuel sulphur content was introduced, the expected cool season peak was absent (figure 2).

The noted seasonal mortality cycle closely fitted the model for the 5 years before introduction of the intervention. In the first 12 months after the intervention, amplitude of the cycle was low compared with that predicted because of a striking reduction in deaths in the cool season (figure 3). This fall was associated with a reduction in the warm to cool season mortality gradient, for every age-group, for all causes, respiratory, and cardiovascular deaths. For example, the seasonal percentage increase for all causes and all ages declined from the average 5-year baseline of 10.3% to 4.2% and respiratory deaths from 20.3% to 5.3% (table 2). In people aged 65 or older, seasonal deaths for all causes declined from 14.7% to 6.1% and respiratory deaths from 22.7% to 5.4%. No consistent change in seasonal pattern of deaths in any age-group for neoplasms or other causes was noted. In the second 12 months a striking rebound in deaths in the cool season deaths arose, followed by a gradual return during years 3–5 to the seasonal pattern before intervention.

The reduction in cool-season deaths in the first year after the intervention showed a consistent pattern across

the eight stations, except in one district, which only contributed 1.3% of total deaths covered by air-pollutant monitoring.

The average annual proportional change in number of deaths, for all causes and all ages, was an increase of 3.5% per year in 1985–90, in accordance with the increase in size and ageing of the population. After the intervention

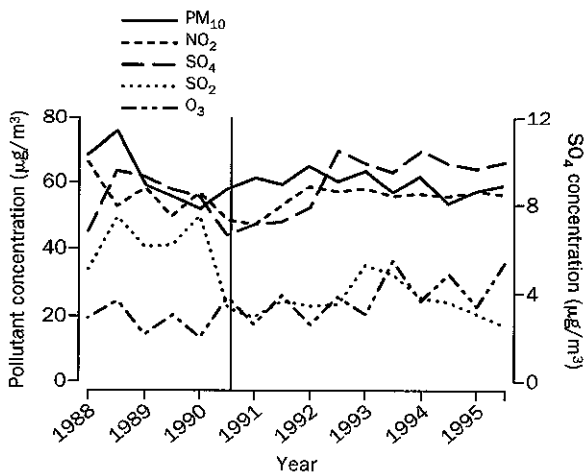


Figure 1: Average of pollutant concentrations at five monitoring stations

Vertical line represents date of introduction of fuel regulation.

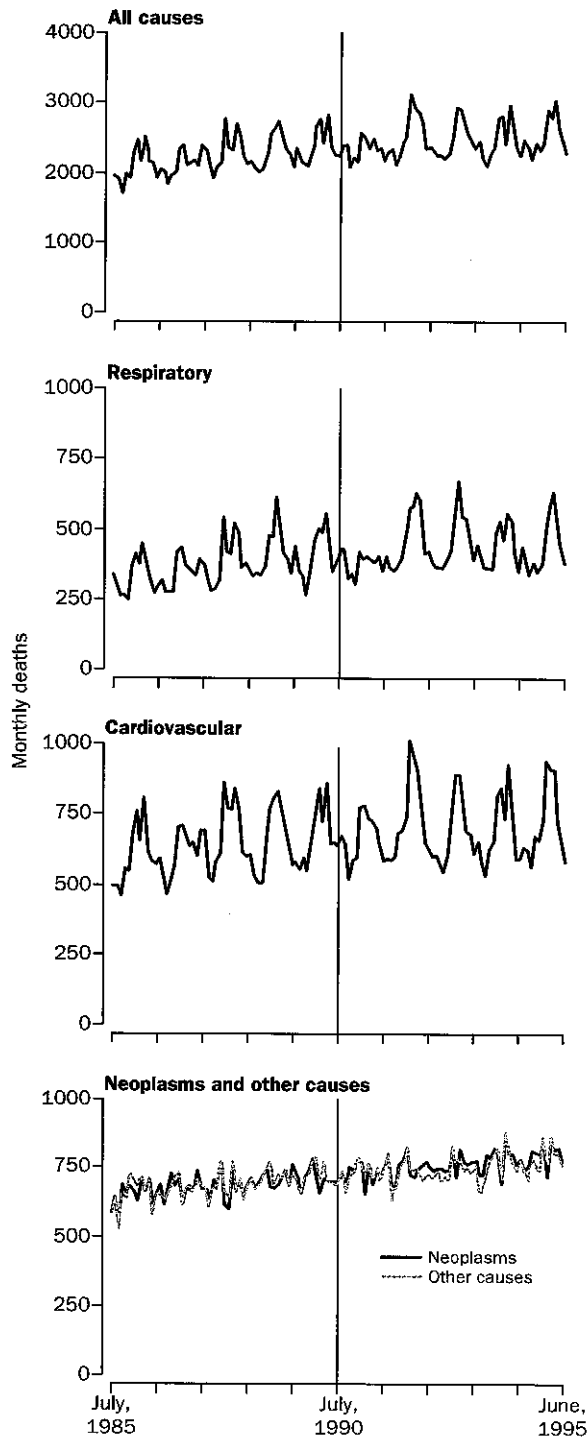


Figure 2: Number of deaths per month for all ages from July, 1985, to June, 1995, for all causes, respiratory, cardiovascular, and neoplasms and other causes

Vertical line represents date of introduction of fuel regulation.

concluded that there was no association between SO<sub>2</sub> and death rates after modelling SO<sub>2</sub> and total suspended particles separately for season and year, and controlling for climatic and other factors. The estimated unconfounded effect of SO<sub>2</sub> on daily deaths was not significantly different from zero and particulates showed the strongest effect on daily deaths when their association with SO<sub>2</sub> was weakest. In the Netherlands<sup>21</sup> two approaches based on time-series analyses, and trends in death rates over periods when SO<sub>2</sub> concentrations varied, also led to the conclusion that SO<sub>2</sub> is not a causal agent in mortality associated with air pollution. Furthermore, criticisms of the hypothesis that respirable particulates are the main component of pollution mixtures that cause deaths have been extensively reviewed and refuted in view of new analyses of data from US cities, and associations between SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> and daily deaths are weak and inconsistent.<sup>5</sup> By contrast, strong associations with respirable particulates and cardio-respiratory deaths were reported. However, results of other time-series analyses have shown strong associations between SO<sub>2</sub> and daily deaths in Europe.<sup>6,22</sup> Associations between SO<sub>2</sub> and deaths<sup>23</sup> and hospital admissions<sup>24</sup> in time-series analyses in Hong Kong are closely similar to those in London, UK.<sup>25,26</sup>

In a time-series analysis on air pollution and deaths,<sup>23</sup> the strongest effects we noted were for gases including SO<sub>2</sub>, rather than respirable particulates. Katsouyanni and colleagues<sup>6</sup> also recorded evidence for an independent effect of both SO<sub>2</sub> and particulates in 12 European cities. The effects for SO<sub>2</sub> were similar or stronger than for PM<sub>10</sub>, and these researchers suggested that this effect might be the result of more complex pollutant mixtures and lower particulate concentrations in Europe than the USA; however in Hong Kong, respirable particulate concentrations are high and about twice those in London, UK.<sup>24</sup>

Public-health policy on air-quality improvement would be strengthened by better data on the effect of pollution on life expectancy.<sup>7</sup> Even if one pollutant greatly affects death rates, do increases in deaths from pollution episodes arise only in susceptible individuals with pre-existing disease, whose life expectancy is already short? The issue of mortality displacement is important for epidemiological studies based on time-series, because if susceptible people die early on in the pollution episode, death rates after the episode will be lower than expected. The resulting average death rate over time could fail to show an association between pollution and death rates.<sup>27</sup>

Time-series analyses have been used to investigate mortality displacement on different time scales after a pollution episode.<sup>9,10</sup> Results of these analyses suggest that although some harvesting takes place for pneumonia, the health effects from a pollution episode continue and actually increase over long periods for respiratory and cardiovascular disease. The conclusion of these analyses was that deaths were displaced by at least 2 months, but that the limitation of the time-series approach does not allow the effects beyond that period to be defined. Results of cohort studies suggest an effect of 1 year or more, and Künzli and colleagues<sup>28</sup> conclude that time-series studies underestimate deaths, and that the effect of air pollution should be based on prospective cohort studies.

The outcome of our study could be challenged on grounds of biological plausibility. The mechanism underlying the immediate health benefits arising from use of low sulphur fuel is unknown. SO<sub>2</sub> is a chemical irritant, but in support of an argument against a role for SO<sub>2</sub>, Schwartz<sup>20</sup> cites the finding that 80% of ambient SO<sub>2</sub> is removed by the nose and exhaled. However, scrubbing

efficiency could be reduced at low ambient concentrations, and penetration to the lungs is high with oral breathing, and little experimental data on the effects of usual ambient concentrations of SO<sub>2</sub> on healthy people is reported. At high concentrations, SO<sub>2</sub> alters nasal and tracheo bronchial mucociliary clearance rates in both human beings and animals.<sup>29</sup> Bronchoconstriction happens in people with asthma and in those with hyper-reactive airways, but after the air-quality intervention in Hong Kong, the decline in bronchial hyper-responsiveness in children without asthma or wheezing,<sup>14</sup> and chronic bronchitic symptoms in children<sup>15</sup> and adults,<sup>30</sup> provided evidence that important components of ambient pollutant mixtures derived from sulphur were greatly reduced.

However, the apparent benefits of the reduction in SO<sub>2</sub> could have been attributable to other combustion products that are not generated by low-sulphur fuels. Changes in concentration of SO<sub>2</sub> after the fuel regulation was introduced could simply be an indicator of other qualitative changes in fuel and products of combustion, with reduction in another unidentified agent that causes the health effects. Concentrations of PM<sub>10</sub> were unchanged after the intervention, but SO<sub>2</sub> could be a modifier of the effect of respirable particulates. SO<sub>2</sub> is converted to sulphuric acid, which can be carried into small airways by respirable particulates and impair lung function in children,<sup>31</sup> but no monitoring data are available for free sulphuric acid across the period of intervention.

The benefits to health resulting from the 1990 industrial fuel intervention were achieved with only a moderate effect on overall production costs.<sup>32</sup> As a result of licensing controls, high sulphur fuels have been banned in Hong Kong since 1990, and in 2000 SO<sub>2</sub> concentrations were maintained at below 20 µg/m<sup>3</sup>, more than 50% below pre-intervention concentrations. Use of ultra-low sulphur (0.005%) diesel fuel for public and private transport, conversions to alternative fuels, and tightening of legislation is continuing.

#### Contributors

A J Hedley and C-M Wong had the idea for and directed the study jointly. T Q Thach and S Ma analysed data. A J Hedley, C-M Wong, T-H Lam, and H R Anderson discussed and interpreted data. A J Hedley and C-M Wong wrote the report, with reviews and contributions from H R Anderson and T-H Lam.

#### Conflict of interest statement

None declared.

#### Acknowledgments

This work is in part the result of a collaboration between the University of Hong Kong and St George's Hospital Medical School, supported by the British Council and the Hong Kong Research Grants Council, and a Royal Society/Ho Kan Tong visiting professorship to Professor Anderson. We thank Robert Law (director) and Chin Wan Tse (assistant director), from the Hong Kong Environmental Protection Department, for air pollution data and advice; the Census and Statistics Department for mortality data; Patsy Chau and Eric Chan for statistical analysis; and Marie Chi for data management.

#### References

- Anderson HR. Health effects of air pollution episodes. In: Holgate S, Koren HS, Samet JM, Maynard RL, eds. Air pollution and health. San Diego: Academic Press, 1999: 461-82.
- Pope CA, Dockery DW, Schwartz J. Review of epidemiologic evidence of health effects of particulate air pollution. *Inhal Toxicol* 1995; 7: 1-18.
- Pope CA III, Thun MJ, Namboodri M, et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151: 669-74.
- Abbey DE, Nishino N, McDonnell WF, et al. Long term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in non-smokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 373-82.

- 5 Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities 1987-94. *N Engl J Med* 2000; **343**: 1742-49.
- 6 Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, et al. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *BMJ* 1997; **314**: 1658-63.
- 7 Brunekreef B, Hoek G. Beyond the body count: air pollution and death. *Am J Epidemiol* 2000; **151**: 449-51.
- 8 Brunekreef B. Air pollution and life expectancy: is there a relation? *Occ Environ Med* 1997; **54**: 781-84.
- 9 Zeger SL, Dominici F, Samet J. Harvesting-resistant estimates of air pollution effects on mortality. *Epidemiology* 1999; **10**: 171-75.
- 10 Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *Am J Epidemiol* 2000; **151**: 440-48.
- 11 Ostro BD, Chestnut LG, Mills DM, Watkins AM. Estimating the effects of air pollutants on the population: human health benefits of sulfate aerosol reductions under Title IV of the 1990 Clean Air Act Amendments. In: Holgate S, Koren HS, Samet JM, Maynard RL, eds. *Air pollution and health*. San Diego: Academic Press, 1999: 899-915.
- 12 Hong Kong Government. Air pollution control (fuel restriction) regulations 1990: air pollution control ordinance (chapter 311)—gazette 4/1990. Hong Kong: Government Printer, 1990.
- 13 Peters J, Hedley AJ, Wong CM, et al. Effects of an ambient air pollution intervention and environmental tobacco smoke on children's respiratory health in Hong Kong. *Int J Epidemiol* 1996; **25**: 821-28.
- 14 Wong CM, Lam TH, Peters J, et al. Comparison between two districts of the effects of an air pollution intervention on bronchial responsiveness in primary school children in Hong Kong. *J Epidemiol Community Health* 1998; **52**: 571-78.
- 15 Census and Statistics Department. Hong Kong Special Administrative Region. 1985-1995 known death microdata sets. Available via <http://www.info.gov.hk/censtatd/home.html> (accessed June 5, 2002).
- 16 Environmental Protection Department. Air quality in Hong Kong 1988-95. Hong Kong: Air Services Group, Environmental Protection Department. <http://www.epd-asg.gov.hk>. (accessed June 5, 2002).
- 17 Gemmell I, McLoone P, Boddy FA, Dickinson GJ, Watt GCM. Seasonal variation in mortality in Scotland. *Int J Epidemiol* 2000; **29**: 274-79.
- 18 Kuhn L, Davidson LL, Durkin MS. Use of Poisson regression and time series analysis for detecting changes over time in rates of child injury following a prevention program. *Am J Epidemiol* 1994; **140**: 943-55.
- 19 Hedley AJ. Lancet appendix. <http://www.hku.hk/cmd/ajh/lancet/index.html> (accessed Nov 22, 2002).
- 20 Schwartz J. Daily deaths are associated with combustion particles rather than SO<sub>2</sub> in Philadelphia. *Occup Environ Med* 2000; **57**: 692-97.
- 21 Buringh E, Fischer P, Hoek G. Is SO<sub>2</sub> a causative factor for the PM-associated mortality risks in the Netherlands? *Inhal Toxicol* 2000; **12** (suppl 1): 55-60.
- 22 Derriennic F, Richardson S, Mollie A, Lellouch J. Short-term effects of sulphur dioxide pollution on mortality in two French cities. *Int J Epidemiol* 1989; **18**: 186-97.
- 23 Wong CM, Ma S, Hedley AJ, Lam TH. Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 2001; **109**: 335-40.
- 24 Wong CM, Atkinson WR, Anderson HR, et al. A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared. *Environ Health Perspect* 2002; **110**: 67-77.
- 25 Anderson HR, Ponce de Leon A, Bland JM, Bland JM, Bower JS, Strachan DP. Air pollution and daily mortality in London: 1987-92. *BMJ* 1996; **312**: 649-50.
- 26 Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, de Leon AP. Short term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. *Arch Environ Health* 1999; **54**: 398-411.
- 27 McMichael AJ, Anderson HR, Brunekreef B, Cohen AJ. Inappropriate use of daily mortality analyses to estimate longer-term mortality effects of air pollution. *Int J Epidemiol* 1998; **27**: 450-53.
- 28 Künzli N, Medina S, Kaiser R, Quenel P, Horak F Jr, Studnicka M. Assessment of deaths attributable to air pollution: should we use risk estimates based on time series or cohort studies? *Am J Epidemiol* 2001; **153**: 1050-55.
- 29 Schlesinger RB. Toxicology of sulphur oxides. In: Holgate S, Koren HS, Samet JM, Maynard RL, eds. *Air pollution and health*. San Diego: Academic Press, 1999: 585-602.
- 30 Wong CM, Hu ZG, Lam TH, Hedley AJ, Peters J. Effects of ambient air pollution and environmental tobacco smoke on respiratory health of non-smoking women in Hong Kong. *Int J Epidemiol* 1999; **28**: 859-64.
- 31 Spengler JD, Koutrakis P, Dockery DW, Raizenne M, Speizer FE. Health effects of acid aerosols on North American children: air pollution exposures. *Environ Health Perspect* 1996; **104**: 492-99.
- 32 Barron WF, Liu J, Lam TH, Wong CM, Peters J, Hedley AJ. Costs and benefits of air quality improvement in Hong Kong. *Contemp Econ Policy* 1995; **13**: 105-17.





PubMed  Associations between Short-Term Changes in Nitrogen Dioxide

Abstract

See 1 citation found by title matching your search:

[Arch Environ Health](#). 2004 May;59(5):228-36.

**Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities.**

[Burnett RT](#)<sup>1</sup>, [Stieb D](#), [Brook JR](#), [Cakmak S](#), [Dales R](#), [Raizenne M](#), [Vincent R](#), [Dann T](#).

**Author information**

**Abstract**

The association between daily variations in ambient concentrations of **nitrogen dioxide** (NO<sub>2</sub>) and **mortality** was examined in 12 of Canada's largest **cities**, using a 19-yr time-series analysis (from 1981-1999). The authors employed parametric statistical methods that are not subject to the recently discovered convergence and error estimation problems of generalized additive models. An increase in the 3-d moving average of NO<sub>2</sub> concentrations equivalent to the population-weighted study mean of 22.4 ppb was associated with a 2.25% ( $t = 4.45$ ) increase in the daily nonaccidental **mortality** rate and was insensitive to adjustment for ozone, sulfur **dioxide**, carbon monoxide, coefficient of haze, size-fractionated particulate mass, and the sulfate ion measured on an every-6th-day sampling schedule. The 3-d moving average of NO<sub>2</sub> was sensitive to adjustment for fine particulate matter measured daily during the 1998-2000 time period.

PMID: 16201668 [PubMed - indexed for MEDLINE]

**MeSH Terms, Substances**

**LinkOut - more resources**

---

**PubMed Commons**

[PubMed Commons home](#)

0 comments

[How to join PubMed Commons](#)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Associations+between+Short-Term+Changes+in+Ni...>

## Effect of Air Pollution on Daily Mortality in Hong Kong

Chit-Ming Wong, Stefan Ma, Anthony Johnson Hedley, and Tai-Hing Lam

Department of Community Medicine, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

In different weather conditions, constituents and concentrations of pollutants, personal exposure, and biologic responses to air pollution may vary. In this study we assessed the effects of four air pollutants on mortality in both cool and warm seasons in Hong Kong, a subtropical city. Daily counts of mortality, due to all nonaccidental causes, and cardiovascular and respiratory diseases were modeled with daily pollutant concentrations [24-hr means for nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and particulate matter < 10  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter (PM<sub>10</sub>); 8-hr mean for ozone], using Poisson regression. We controlled for confounding factors by fitting the terms in models, in line with those recommended by the APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach) protocol. Exposure-response relationships in warm and cool seasons were examined using generalized additive modeling. During the cool season, for a linear extrapolation of 10th–90th percentiles in the pollutant concentrations of all oxidant pollutants, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub>, we found significant effects on all the mortality outcomes under study, with relative risks (RR) of 1.04–1.10 ( $p < 0.038$ , except  $p = 0.079$  for SO<sub>2</sub> on respiratory mortality). We observed consistent positive exposure-response relationships during the cool season but not during the warm season. The effects of PM<sub>10</sub> were marginally significant (RR = 1.06;  $p = 0.054$ ) for respiratory mortality but not for the other outcomes ( $p > 0.135$ ). In this subtropical city, local air quality objectives should take into account that air pollution has stronger health effects during the cool rather than warm season and that oxidant pollutants are more important indicators of health effects than particulates. **Key words:** air pollutant concentrations, daily mortality, exposure-response, offset, stratification by seasons. *Environ Health Perspect* 109:335–340 (2001). [Online 8 March 2001] <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2001/109p335-340wong/abstract.html>

Time-series methods are widely used for assessment of short-term health effects of air pollution (1). Although limitations arise from ecologic fallacy (2) and the harvesting effect (3–5), time-series methods are more powerful and better able to characterize the population exposure effects than those based on geographic aggregations in cross-sectional studies (6). Also, methods to control for time-related confounding factors are well established (7). Daily time-series analysis is not applicable to the estimation of longer-term chronic exposure effects of air pollution (8), which are public health concerns. Daily time-series analysis may be better estimated from longitudinal studies, but it can be used to assess the potential health benefits of air quality intervention in terms of the number of hospital admissions and deaths avoidable if days with high concentrations (according to a chosen reference value) were eliminated, thus providing information to support the setting of air quality objectives (9,10).

To date, there is coherent evidence that air pollution has short-term effects on mortality (9,11–15), but the questions whether there are independent effects of a single pollutant to account for a health outcome under study and whether there are thresholds and linear or non-linear relationships are still not settled.

In the United States, particulates are regarded as the pollutants that account for most excess mortality due to air pollution (16), but in Europe several studies indicated a

stronger association with sulfur dioxide (17). Some showed that it might be the sulfuric acid (18), acid aerosol (19), and mass concentration (20) associated with particulates that are responsible for the effects. Other studies showed that independent effects of individual pollutants cannot be identified in light of the complexity and variability of the air pollution mixtures to which people are exposed (21,22).

In this study we assessed the effects of air pollution on mortality outcomes and identified which pollutants would contribute most to the effect in Hong Kong, a subtropical city in the Asian Pacific rim. Patterns of exposure-response relationships for four criteria pollutants, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matter < 10  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter (PM<sub>10</sub>), and ozone were assessed during warm and cool seasons with a view to ascertaining their effects on the commonly used mortality outcomes.

### Materials and Methods

**Data.** For the period 1995–1997, we obtained daily death counts for all nonaccidental causes [International Classification of Diseases, Revision 9 (ICD-9) < 800 (23)], respiratory disease (ICD-9 460–519), and cardiovascular disease (ICD-9 390–459) from the Census & Statistics Department (Hong Kong Special Administrative Region, People's Republic of China); meteorologic data (daily mean temperature and relative humidity) from the Hong Kong Observatory; and air pollutant concentrations (from two to seven

monitoring stations) from the Environmental Protection Department. Daily means of 24-hr concentrations of NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and PM<sub>10</sub> and 8-hr (900 hr–1700 hr) concentrations of O<sub>3</sub> were derived if they were non-missing. Daily concentrations were defined as non-missing if more than 17/24 hr concentrations and more than 5/8 hr concentrations were valid. According to the second phase guidelines of APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach), non-missing daily means were first centered for each station  $i$  [i.e., individual daily concentrations ( $X_{ij}$ ) were subtracted by an annual station mean ( $\bar{X}_i$ ) for each day  $j$ ]. The centered data from all centers were then combined and added into the annual mean of all stations ( $\bar{X}$ ) to form  $X'_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_i + \bar{X})$ . The daily (mean) concentrations of individual pollutants were computed for analysis by taking the mean of  $X'_{ij}$  over all stations (24).

**Statistical methods.** We used Poisson regression with daily mortality counts as the dependent variable. To obtain a core model for each of the mortality outcomes for all ages, nonparametric smoothing (by means of the Loess function) terms for trend on days (1–1,096), seasonality, temperature, and humidity; and dummy variables for days of the week, holidays, and influenza epidemics [weeks with number of hospital admissions for influenza (ICD-9 487) in the upper quartile, which was on average over 8/week in 1995, 1996, and 1997, respectively] were fitted as the independent variables. In addition, we also considered the lag effects of temperature and humidity in building the core models. Residuals of each core model were examined to check whether there were discernible patterns and autocorrelation by means of residual plots and partial autocorrelation function plots, respectively (7). If necessary, both overdispersions and autocorrelations were further adjusted for the model using statistical procedures (7) implemented in S-Plus (MathSoft, Inc., Seattle, WA, USA). We paid special attention to ensure that there were no differences in the residuals

Address correspondence to A.J. Hedley, Department of Community Medicine, The University of Hong Kong, Patrick Manson Building South Wing, 7 Sassoon Road, Hong Kong, China. Telephone: (852) 2819 9282 / 2819 9280. Fax: (852) 2855 9528. E-mail: hrmrajh@hkucc.hku.hk

We thank R. Atkinson and R. Anderson for their advice on data analysis; M. Chi for secretarial support, and P. Chau for data analysis support.

Received 12 May 2000; accepted 24 October 2000.

between warm (April–September) and cool (other months) seasons.

We estimated concentrations of current day up to the previous 5 days for O<sub>3</sub> and up to 3 days for other pollutants and identified the best lagged day by a modified version of Akaike's Information Criterion (AIC) (25). The analysis was also performed using the Loess smoothing function to adjust for non-linear effect of a copollutant. Differences in pollutant effects between seasons were assessed by a season-by-pollutant concentration interaction term in each model, and the

effect estimates for cool and warm seasons were derived from the model with the interaction terms.

To perform the stratified analyses, we first obtained expected mortality counts ( $\xi$ ) from the core model for all seasons. Poisson regression for the mortality outcomes ( $Y$ ) was then fitted on pollutant concentrations ( $X$ ) to obtain the log relative risk ( $\beta$ ) estimate with offset on  $\log(\xi)$  (26) separately for warm and cool seasons. Offset is a computation procedure to treat  $\log(\xi)$  as a reference value and does not proceed to estimate a parameter

for it in the Poisson regression  $\log[E(Y)] = \log(\xi) + \alpha + \beta x$  (where  $\alpha$  is a parameter for the constant term). Exposure-response curves in warm and cool seasons were examined using generalized additive modeling (25).

## Results

**Summary statistics.** Summary statistics of mortality counts, air pollutant concentrations, and meteorologic measurements are presented in Table 1. There were more deaths, higher concentrations of pollutants (except for SO<sub>2</sub>, which was about the same), and drier weather conditions in the cool season than in the warm season.

**Lag effects.** In whole-year analysis, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and PM<sub>10</sub> showed similar patterns for their effects on all the mortality outcomes in that the relative risks (RRs) increased from lag-day 0, were maximal at either lag-day 1 or lag-day 2, and declined to the lowest at lag-day 3. The RRs at the best lagged day (i.e., the day with minimum AIC) were significant in all three categories of deaths ( $p < 0.01$ ) for NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>, and was significant ( $p = 0.024$ ) only for respiratory mortality for PM<sub>10</sub>. For O<sub>3</sub>, the RRs were not significant ( $p > 0.05$ ) for any of the lagged days or for any mortality outcomes. With adjustment for autocorrelation, there was little change in the RRs and  $p$ -values. However, with adjustment for a copollutant, only the RR for NO<sub>2</sub> in cardiovascular mortality ( $p = 0.046$ ) and for SO<sub>2</sub> in nonaccidental ( $p = 0.003$ ) and cardiovascular ( $p = 0.023$ ) mortality remained significant (Table 2).

**Effects by seasons.** During the warm season, there were no significant effects ( $p > 0.1$ ) for all pollutants for all mortality outcomes (Table 3). During the cool season, without adjustment for copollutants, a) all of the RRs at the best lagged days were significantly greater than unity in all the mortality

**Table 1.** Summary statistics of mortality outcome, air pollution levels, and meteorologic measures by season.

	No. (day)	Mean	SD	Min	P <sub>10</sub>	Median	P <sub>90</sub>	Max
Mortality counts								
Nonaccident (ICD-9: < 800)								
Warm	552	75.0	9.7	47	62	75	87	103
Cool	544	87.4	12.7	53	71	88	103	129
Cardiovascular (ICD-9: 390-456)								
Warm	552	19.5	4.7	8	14	19	26	35
Cool	544	26.2	6.4	12	18	26	35	53
Respiratory (ICD-9: 460-519)								
Warm	552	15.9	4.9	5	10	16	22	31
Cool	544	18.3	5.3	3	12	18	26	33
Air pollution concentrations (μg/m <sup>3</sup> )								
NO <sub>2</sub> (24-hr)								
Warm	552	48.1	18.2	15.3	27.4	45.5	72.8	125.8
Cool	544	63.8	17.5	28.7	45.2	60.6	87.3	151.5
SO <sub>2</sub> (24-hr)								
Warm	550	18.3	13.0	1.9	5.9	15.0	35.3	83.6
Cool	544	17.2	11.6	1.1	6.4	14.4	30.8	90.1
PM <sub>10</sub> (24-hr)								
Warm	552	42.2	21.3	14.1	23.0	35.6	70.6	163.8
Cool	544	61.7	24.7	14.1	33.3	58.7	95.1	156.6
O <sub>3</sub> (8-hr)								
Warm	548	32.0	24.5	0	8.1	23.9	64.7	168.9
Cool	538	35.1	21.3	0	7.9	33.2	62.8	101.6
Meteorologic measurements:								
Temperature (°C)								
Warm	552	27.3	1.9	21.0	24.5	27.4	29.6	30.9
Cool	544	19.0	3.6	6.9	14.5	18.9	23.8	27.4
Humidity (%)								
Warm	552	80.7	7.4	46	73	80	91	97
Cool	544	74.7	12.4	31	58	76.5	89	95

Abbreviations: Max, maximum; Min, minimum; P<sub>10</sub>, 10th percentile; P<sub>90</sub>, 90th percentile.

**Table 2.** Relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) of the best single lagged-day effects by linear extrapolation for a 10th–90th percentile change in pollutant concentration (1995–1997): whole year.

Causes of mortality	Lag day	Unadjusted		Autocorrelation adjusted		Copollutant <sup>a</sup>	Adjusted for copollutant	
		RR (95% CI)	$p$ -Value	RR (95% CI)	$p$ -Value		RR (95% CI)	$p$ -Value
NO <sub>2</sub>								
Nonaccident	1	1.04 (1.01–1.05)	0.001	1.03 (1.01–1.05)	0.003	SO <sub>2</sub>	1.00 (0.97–1.03)	0.896
Cardiovascular	2	1.06 (1.03–1.10)	0.001	1.06 (1.02–1.10)	0.003	SO <sub>2</sub>	1.04 (1.00–1.08)	0.046
Respiratory	0	1.08 (1.02–1.13)	0.003	1.07 (1.02–1.12)	0.008	SO <sub>2</sub>	1.05 (0.98–1.12)	0.168
SO <sub>2</sub>								
Nonaccident	1	1.03 (1.02–1.05)	0.000	1.03 (1.01–1.05)	0.000	NO <sub>2</sub>	1.03 (1.01–1.05)	0.003
Cardiovascular	1	1.05 (1.02–1.08)	0.001	1.05 (1.02–1.08)	0.003	NO <sub>2</sub>	1.04 (1.00–1.07)	0.023
Respiratory	0	1.04 (1.01–1.08)	0.010	1.04 (1.01–1.07)	0.016	NO <sub>2</sub>	1.02 (0.97–1.06)	0.450
PM <sub>10</sub>								
Nonaccident	1	1.02 (1.00–1.04)	0.102	1.02 (1.00–1.04)	0.132	SO <sub>2</sub>	0.99 (0.97–1.01)	0.397
Cardiovascular	2	1.03 (0.99–1.06)	0.165	1.02 (0.99–1.06)	0.201	NO <sub>2</sub>	0.98 (0.92–1.03)	0.363
Respiratory	1	1.06 (1.01–1.11)	0.024	1.05 (1.01–1.10)	0.028	NO <sub>2</sub>	1.04 (0.99–1.10)	0.093
O <sub>3</sub>								
Nonaccident	5	1.01 (0.99–1.03)	0.224	1.01 (0.99–1.03)	0.226	NO <sub>2</sub>	1.01 (0.99–1.03)	0.288
Cardiovascular	3	1.01 (0.98–1.05)	0.479	1.01 (0.98–1.05)	0.426	NO <sub>2</sub>	1.00 (0.96–1.04)	0.997
Respiratory	4	1.04 (1.00–1.08)	0.078	1.03 (0.99–1.07)	0.145	NO <sub>2</sub>	1.03 (0.99–1.07)	0.163

<sup>a</sup>The copollutant that produced the least significant effect in the pollutant after adjustment.

outcomes ( $p < 0.015$ ) for  $\text{NO}_2$ ; *b*) they were significant in nonaccidental and cardiovascular mortality ( $p < 0.002$ ) for  $\text{SO}_2$ ; *c*) they were marginally significant in respiratory mortality ( $p = 0.054$ ) for  $\text{PM}_{10}$ ; and *d*) they were all significant ( $p < 0.038$ ) for  $\text{O}_3$ . During the cool season with adjustment for copollutants, only the effects of  $\text{NO}_2$  on cardiovascular mortality,  $\text{SO}_2$  on nonaccidental and cardiovascular mortality, and  $\text{O}_3$  on nonaccidental and respiratory mortality remained significant ( $p < 0.05$ ). However, the between-season differences were statistically significant for  $\text{NO}_2$  in cardiovascular mortality with and without adjustment for copollutants ( $p < 0.039$ ) and for  $\text{O}_3$  in all mortality outcomes ( $p < 0.044$ ) without adjustment and in nonaccidental and respiratory mortality ( $p < 0.032$ ) with adjustment for copollutant.

**Seasonal exposure-response relationships.** Figures 1–4 show the exposure-response relationships for each pollutant for the three mortality outcomes at the best lagged day.

$\text{NO}_2$ . During the warm season, we observed no clear exposure-response relationships for the three outcomes for  $\text{NO}_2$ . However, during the cool season there were observable linear exposure-response relationships throughout the concentration levels in nonaccidental mortality, but the curves showed positive and nonlinear relationships at concentrations higher than  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in the other two outcomes.

$\text{SO}_2$ . During the warm season, no exposure-response relationships were observed when  $\text{SO}_2$  was  $< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , but there were some linear or nonlinear relationships above that concentration. During the cool season, we observed positive exposure-response relationships for concentrations of  $0\text{--}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ .

$\text{PM}_{10}$ . For  $\text{PM}_{10}$ , no clear exposure-response relationships were observed for the three outcomes in warm seasons, but in the cool season there was a positive exposure-response relationship for respiratory mortality for concentrations up to  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$\text{O}_3$ . There were no clear relationships for any of the three outcomes for  $\text{O}_3$  during the warm season. However, during the cool season all of the mortality outcomes tended to increase with increasing concentrations.

## Discussion

All pollutant levels are high in Hong Kong. Although  $\text{SO}_2$  has been reduced substantially due to government limits on the sulfur content of fuels in the early 1990s (27), the level of  $\text{SO}_2$  in Hong Kong still ranks in the middle among more than 30 metropolitan cities in the world. The  $\text{SO}_2$  level in Hong Kong is higher than those in Berlin, Germany; Boston, Massachusetts (USA); Brisbane,

Australia; Kuala Lumpur, Malaysia; London, United Kingdom; and Paris, France (28).

The levels of  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_3$  have been increasing along with increasing vehicular traffic volume. Levels of  $\text{PM}_{10}$ , which is primarily related to the use of diesel engines, in Hong Kong are among the highest in the world: they are only lower than those in the most polluted cities such as Barcelona, Spain; Guangzhou, China; Manila, Republic of the Philippines; Mexico City, Mexico; Philadelphia, Pennsylvania (USA); Santiago, Chile; Shanghai, China; and Taipei, Taiwan.

In the present study the estimated effects of the pollutants on mortality reached a maximum at a lag of 1–2 days. These observations are consistent with those reported by Bremner et al. (29) in London: the effects increased from lag-day 0 to a maximum at lag-day 1 for  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{PM}_{10}$ .

A major finding of this study is that  $\text{O}_3$  had effects on all three mortality outcomes during the cool season, and the effects were greater than those in the warm season; this is unlike several other reports in which the effects were found in the warm season (9,12,29). This is consistent with our previous report on the effects of pollution on hospital admissions due to heart failure in subjects  $\geq 65$  years of age (30). The effects of the other oxidant pollutants ( $\text{NO}_2$  and  $\text{SO}_2$ )

were also significant for all of the mortality outcomes in the cool season but not in the warm season. In Athens, Greece, effects of  $\text{SO}_2$  on all causes of nonaccidental mortality were also observed in the cool season (31), but in London, the effects for  $\text{NO}_2$  and  $\text{SO}_2$  were observed in the warm season (12). When the data from five western European cities and four central European cities were combined,  $\text{SO}_2$  also showed slightly stronger effects during the warm season than during the cool season (32).

In Hong Kong in the cool season, air pollutant levels were higher ( $\text{NO}_2$ , 64 vs. 48;  $\text{PM}_{10}$ , 62 vs. 42;  $\text{O}_3$ , 35 vs. 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) than those in the warm season, except  $\text{SO}_2$ , which was slightly lower (17 vs. 18). Because pollutants were correlated ( $r = 0.54\text{--}0.72$  between  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{PM}_{10}$  during the cool season), greater effects observed during cool weather may be due to other pollutants that were also at higher levels during the cool season. The cool season in Hong Kong is drier (humidity 75% vs. 81%), less cloudy (63% vs. 72%), and less variable, so people are more likely to go outdoors and open the windows, thus being exposed to higher levels of air pollution. In contrast, during the warm season (temperatures of  $25^\circ\text{C}\text{--}30^\circ\text{C}$  and humidity of 73%–91% between 10th to 90th percentiles) people usually use air-conditioning, thus

**Table 3.** Relative risk (RR) and 95% confidence interval (CI) of best single lagged day effects by linear extrapolation for a 10th–90th percentile change in pollutant concentration (1995–1997), without<sup>a</sup> and with<sup>b</sup> adjustment for a copollutant.

Causes of mortality	Copollutant	Warm season		Cool season		Between season $p$ -value	
		RR (95% CI)	$p$ -Value	RR (95% CI)	$p$ -Value		
$\text{NO}_2$	Nonaccident	–	1.02 (0.99–1.05)	0.243	1.05 (1.02–1.08)	0.003	0.193
		$\text{SO}_2$	1.00 (0.97–1.04)	0.927	1.01 (0.97–1.05)	0.694	0.795
	Cardiovascular	–	1.00 (0.94–1.06)	0.981	1.10 (1.05–1.16)	0.000	0.013
		$\text{SO}_2$	0.99 (0.94–1.05)	0.793	1.08 (1.02–1.14)	0.007	0.039
Respiratory	–	1.05 (0.99–1.13)	0.126	1.09 (1.02–1.16)	0.015	0.509	
	$\text{SO}_2$	1.03 (0.95–1.12)	0.529	1.08 (0.98–1.19)	0.120	0.408	
$\text{SO}_2$	Nonaccident	–	1.02 (0.99–1.04)	0.170	1.04 (1.02–1.07)	0.001	0.101
		$\text{NO}_2$	1.02 (0.99–1.04)	0.252	1.04 (1.00–1.07)	0.030	0.292
	Cardiovascular	–	1.01 (0.97–1.05)	0.546	1.07 (1.02–1.11)	0.002	0.070
		$\text{NO}_2$	1.01 (0.97–1.06)	0.520	1.05 (1.00–1.09)	0.045	0.310
Respiratory	–	1.04 (0.99–1.09)	0.101	1.04 (1.00–1.09)	0.079	0.877	
	$\text{NO}_2$	1.03 (0.97–1.08)	0.363	1.01 (0.94–1.08)	0.890	0.625	
$\text{PM}_{10}$	Nonaccident	–	1.01 (0.98–1.04)	0.529	1.02 (0.99–1.05)	0.168	0.659
		$\text{SO}_2$	1.00 (0.96–1.03)	0.802	0.99 (0.96–1.02)	0.437	0.715
	Cardiovascular	–	1.00 (0.94–1.06)	0.911	1.04 (0.99–1.09)	0.135	0.306
		$\text{NO}_2$	1.00 (0.91–1.10)	0.983	0.97 (0.91–1.03)	0.349	0.614
Respiratory	–	1.05 (0.98–1.12)	0.194	1.06 (1.00–1.13)	0.054	0.761	
	$\text{NO}_2$	1.04 (0.96–1.12)	0.379	1.05 (0.99–1.12)	0.139	0.810	
$\text{O}_3$	Nonaccident	–	0.99 (0.97–1.02)	0.609	1.04 (1.01–1.06)	0.012	0.026
		$\text{NO}_2$	0.99 (0.97–1.02)	0.537	1.03 (1.01–1.06)	0.021	0.032
	Cardiovascular	–	0.98 (0.94–1.03)	0.485	1.05 (1.00–1.11)	0.038	0.044
		$\text{NO}_2$	0.98 (0.94–1.03)	0.513	1.04 (0.99–1.09)	0.150	0.132
Respiratory	–	0.99 (0.94–1.05)	0.750	1.08 (1.02–1.15)	0.011	0.027	
	$\text{NO}_2$	0.99 (0.94–1.04)	0.710	1.08 (1.02–1.15)	0.013	0.030	

Warm season, April–September; cool season, October–March.

<sup>a</sup><1> Estimated from core model + pollutant + season + pollutant  $\times$  season. <sup>b</sup>Estimated from <1> + copollutant + copollutant  $\times$  season.

reducing the risks of outdoor ambient air pollution exposure.

Another major finding in this study is the positive exposure–response relationships for  $\text{NO}_2$  and  $\text{SO}_2$  and all the outcomes during the cool season. There were no thresholds, and the effects showed an inverted “J” shape

at higher concentrations. At very high concentrations, the risks of mortality could be reduced possibly because vulnerable subjects may have died before the concentration had reached the maximum levels (4). During the warm season, we observed no consistent positive or negative relationships for all the

pollutants. In Hong Kong, there are greater variations in weather conditions in the warm season, when heavy rain, rain storms, and typhoons are common. These factors, in addition to the frequent use of air-conditioning, would prevent the actual exposure–response relationships between air pollution and mortality from being readily observable.

In the absence of an observed linear exposure–response relationship, generalized additive modelling (GAM) could be used to examine whether there are any other forms of relationships. Instead of obtaining a single parameter for the effect, GAM is fitted to obtain a parameter at each point of the independent variable after applying some smoothing function to the data. The fitted values (presented as deviation from an overall mean), along with values of the independent variable, produce an exposure–response plot. It is useful, as demonstrated in this study, in the interpretation of results of daily time–series studies for health effects of air pollution.

Morris and Naumova (33) reported synergistic effects of carbon monoxide and lower temperatures on hospital admissions due to congestive heart failure in Chicago, Illinois (USA). Both CO and cold temperature can increase the load on the heart and thus increase the effect on cardiovascular morbidity (33). For other pollutants, including  $\text{SO}_2$ , the production of synergistic effects was biologically plausible, as both lower temperatures and high air pollutant concentrations were related to increased blood viscosity. Changes in blood rheology may be caused by an inflammatory process in the lung induced by air pollution or by thermoregulatory adjustment to mild surface cooling in cold weather (34,35). This study in Hong Kong is the first to show that all of the oxidant pollutants under study increased effects ( $p < 0.07$ ) on cardiovascular mortality in the cool season. It is also the first study to demonstrate the relationship between pollutant concentration and mortality stratified by cool and warm seasons, on the basis of statistical models with offset on expected counts from the same core model, thus ensuring comparability in the effect estimates between the two seasons. Overall, during the cool season there was a 5–10% ( $p < 0.038$ ) increase in nonaccidental and cardiovascular mortality; this results in an increase from the 10th to the 90th percentile (from linear extrapolation) for each of the oxidant pollutants under study. The nonsignificant relative risk estimate for  $\text{SO}_2$  on respiratory disease may be due to the small change in concentration from the warm season to the cool season. In a sensitivity analysis using the method with offset on expected counts, the estimated increases were consistent but lower, with increases of 2–7% ( $p < 0.046$ )

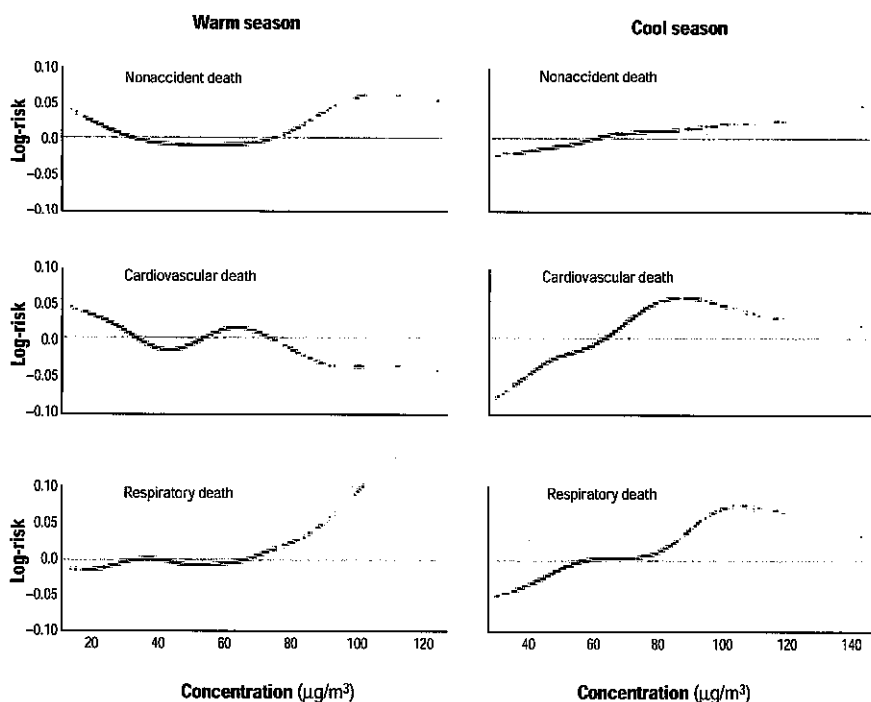


Figure 1. Smoothed plots of  $\text{NO}_2$  against mortality risk in log scale (deviated from overall mean) at the best lagged day.

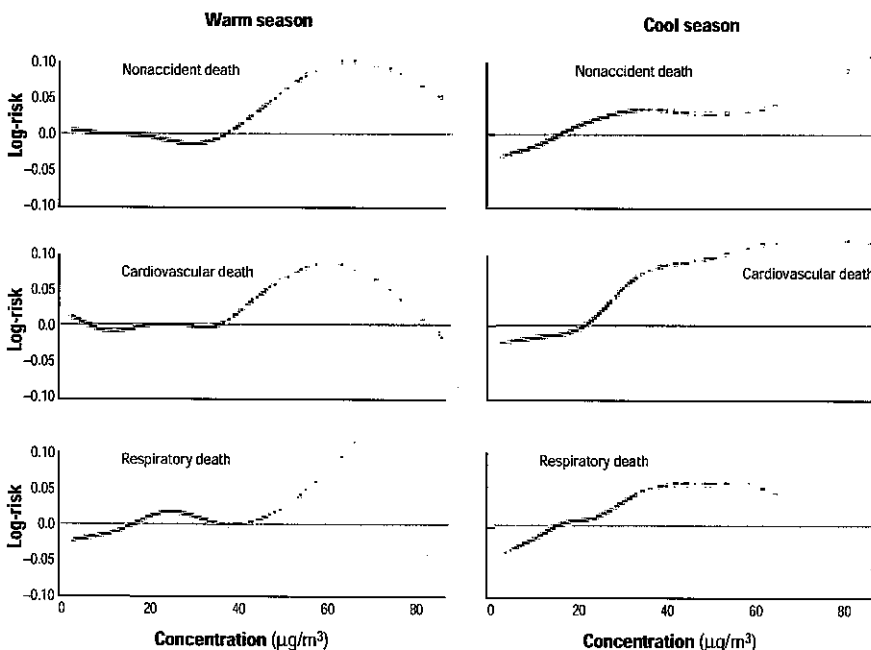


Figure 2. Smoothed plots of  $\text{SO}_2$  against mortality risk in log scale (deviated from overall mean) at the best lagged day.

(data not shown). The larger  $p$ -values may be due to lower power in stratified analysis when the sample size was halved.

Except for respiratory mortality, no strong effects of particulate pollutants were observed in Hong Kong, unlike in other places, although the levels were high. This should be investigated further. The difference may arise from the use of a time-series study, in that the magnitude of the effect estimates depends on the day-to-day covariation of the daily health outcomes and pollutant concentrations instead of the absolute levels of the pollutant concentrations. However,  $PM_{10}$  was found to have a significant effect on respiratory mortality (RR = 1.05;  $p = 0.028$ ) in both seasons combined, but the effects remain approximately the same (RR = 1.05–1.06) although nonsignificant ( $p > 0.054$ ) in the by-season estimates. The importance of  $PM_{10}$  should not be diminished by this finding.  $NO_2$  is important because of increasing volumes of vehicular traffic on the roads.  $SO_2$  continues to have a strong effect, even though the concentrations have decreased and have been maintained at low levels. The formation of  $O_3$  in the ambient air depends on a series of complicated photochemical reactions of oxygen, nitrogen oxides, and reactive hydrocarbons in the presence of sunlight.  $O_3$  had been increasing until recently, and it is difficult and costly to control as a regional pollutant. However, for most of the pollutants, the effects were nonsignificant after adjusting for a copollutant; this may arise from a problem of multicollinearity, except for  $NO_2$  in cardiovascular mortality and  $SO_2$  in both nonaccidental and cardiovascular mortality. These observations, together with strong positive exposure-response relationships for  $NO_2$  and  $SO_2$ , suggested that  $NO_2$  and  $SO_2$  have independent effects and may be better indicators of effects on mortality in this subtropical city. For  $O_3$  all of the RR estimates were not significantly greater than unity; the RR estimates were insensitive to adjustment either for autocorrelation or copollutant (Tables 2 and 3) and were insensitive to the use of maximum, minimum, or mean temperature in the model (data not shown).

In setting air pollution control policy from a public health viewpoint, it is important to identify the health effects of air pollutants from local data. Because of the lack of data, there are few studies based on daily hospital admissions and mortality in the Asian Pacific region. For hospital admissions, there has been only one study in Australia (36) and two in Hong Kong (30,37). For mortality studies, there have been one in Beijing, China (38) based on 1-year daily data, two in Australia (36,39), and two in Korea (40,41). Our report should contribute to the

understanding of the effects of air pollutants in this region and may clarify the differences in effects and mechanisms between Western and Eastern populations.

Local data on health effects of air pollution are required for setting standards and objectives for air pollution controls. When

local data are not available, foreign data may be helpful, but they may not be relevant or applicable because of a difference in climate or other conditions. Our findings in this study provide information to support a review of air quality objectives with consideration of their effects on health (10).

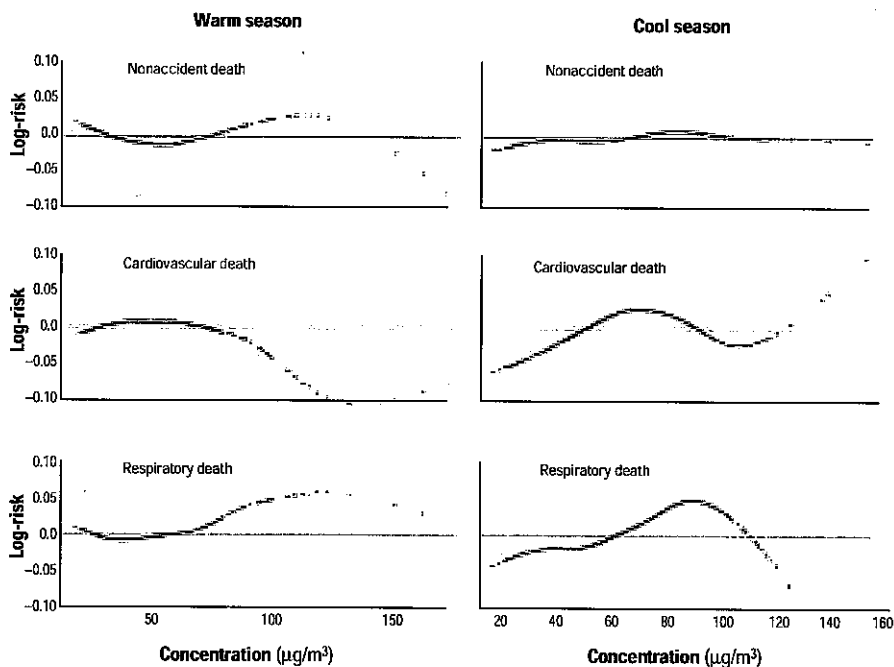


Figure 3. Smoothed plots of  $PM_{10}$  against mortality risk in log scale (deviated from overall mean) at the best lagged day.

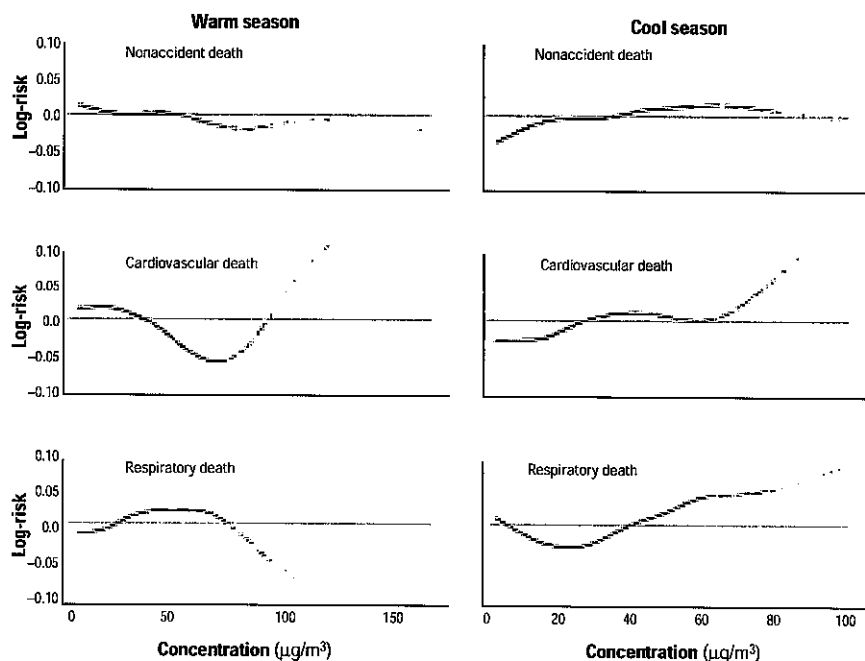


Figure 4. Smoothed plots of  $O_3$  against mortality risk in log scale (deviated from overall mean) at the best lagged day.

000623

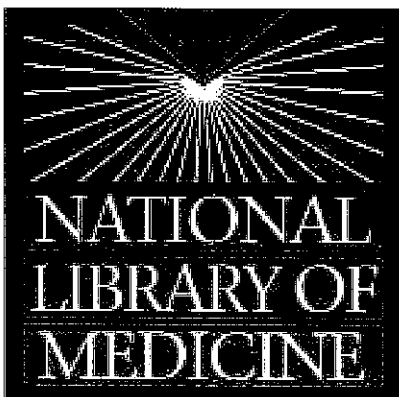
VTA

Articles • Wong et al.

## REFERENCES AND NOTES

- Thurston GD. A critical review of PM<sub>10</sub> mortality time-series studies. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 6:3-21 (1996).
- Morgenstern H. Use of ecologic analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health* 139:1336-1344 (1982).
- Schimmel H, Murawski TJ. Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: methodological questions and some new results based on New York City daily mortality 1963-1976. *Bull NY Acad Med* 54:1052-1058 (1978).
- Spix C. Daily time series of mortality counts: estimating the harvesting effect. *Stat Med* (in press).
- Zeger SL, Dominici F, Samet J. Harvesting-resistant estimates of air pollution effects on mortality. *Epidemiology* 10:171-175 (1999).
- Rossi G, Zanobetti A, Marchi M. Time series analysis in environmental epidemiology: short-term effects of air pollution on mortality and morbidity. *Epidemiol Prev* 19:90-98 (1995).
- Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Bacharova L, Barumamdzadeh T, le Tertre A, Piekarksi T, Ponce de Leon A, Ponka A, Rossi G, et al. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. *J Epidemiol Community Health* 50(suppl 1):S3-S11 (1996).
- McMichael AJ, Anderson HR, Brunekreef B, Cohen AJ. Inappropriate use of daily mortality analyses to estimate long-term mortality effects of air pollution. *Int J Epidemiol* 27:450-453 (1998).
- Ostro B, Sanchez JM, Aranda C, Eskeland GS. Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 6:97-114 (1996).
- Hedley AJ, Wong CM, Wong TW, Tam CM, Yu ITS, Tam E. Health Effects of Air Pollution. Report from the Sub-Working Group on the Review of Hong Kong's Air Quality Objectives. Hong Kong:Environmental Protection Department, Hong Kong Government, 1999.
- Kinney PL, Ozkaynak H. Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles County. *Environ Res* 54:99-120 (1991).
- Anderson HR, Ponce de Leon A, Bland JM, Bower JS, Strachan DP. Air pollution and daily mortality in London: 1987-82. *Br Med J* 312:665-669 (1996).
- Sunyer J, Castellsagué J, Sáez M, Tobias A, Anto JM. Air pollution and mortality in Barcelona. *J Epidemiol Community Health* 50(suppl 1):S76-80 (1996).
- Wietlisbach V, Pope CA, Ackermann-Lieblich U. Air pollution and daily mortality in three Swiss urban areas. *Soz Präventivmed* 41:107-115 (1996).
- Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, Ponce de Leon A, Tobias A, Quenel P, Rabczenko D, Bacharova L, et al. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Am J Epidemiol* 146:177-185 (1997).
- Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis. *Environ Rev* 64:36-52 (1994).
- Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, Rossi G, Wojtyniak B, Sunyer J, Bacharova L, et al. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *Br Med J* 314:1658-1663 (1997).
- Dockery DW, Pope AC III, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 329:1753-1759 (1993).
- Thurston GD, Ito K, Lippmann M, Hayes C. Re-examination of London, England, mortality in relation to exposure to acidic aerosols during 1983-1972 winters. *Environ Health Perspect* 79:73-82 (1989).
- Dockery DW, Schwartz J, Spengler JD. Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols. *Environ Res* 59:362-373 (1992).
- Ito K, Thurston GD, Hayes C, Lippmann M. Associations of London, England, daily mortality with particulate matters, sulphur dioxide and acidic aerosol pollution. *Arch Environ Health* 48:213-220 (1993).
- Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, suspended particulates and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol* 145:258-268 (1997).
- WHO. International Classification of Diseases, 1975 Revision. Geneva:World Health Organization, 1977.
- Atkinson R. Personal communication.
- Hastie TJ, Tibshirani RJ. Generalized Additive Models. London:Chapman and Hall, 1990.
- Breslow NE, Day NR. Statistical Methods in Cancer Research, Vol II. The Design and Analysis of Cohort Studies. IARC Sci Publ 82:151-152 (1987).
- Planning, Environment and Lands Bureau. Clean Air for Hong Kong. Hong Kong:Hong Kong Special Administrative Region Government, 1999. Available: <http://www.peib.gov.hk/cleanair/index.htm> [cited February 2001].
- Kiely P, Yap D, DeBrou GD, Fraser D, Dong W, Brown A. A Comparative Study of Toronto's and Selected World Cities. Presented at the 90th Air and Waste Management Association, Toronto, Ontario, June 1997.
- Bremner SA, Anderson HR, Atkinson RW, McMichael AJ, Strachan DP, Bland JM, Bower-JS. Short term associations between outdoor air pollution and mortality in London 1992-94. *Occup Environ Med* 56:237-244 (1999).
- Wong CM, Ma S, Hedley AJ, Lam TH. Does ozone have any effect on daily hospital admissions for circulatory diseases? *J Epidemiol Community Health* 53:580-581 (1999).
- Touloumi G, Samoli E, Katsouyanni K. Daily mortality and air pollution from particulate matter, sulphur dioxide, and carbon monoxide in Athens, Greece, 1987-91. A time-series analysis within the APHEA project. *J Epidemiol Community Health* 50 (suppl 1):S47-S51 (1996).
- Zmirou D, Schwartz J, Saez M, Zanobetti A, Wojtyniak B, Touloumi G, Spix C, Ponce de Leon A, Le Moultrec Y, Bacharova L, et al. Time-series analysis of air pollution and cause-specific mortality. *Epidemiology* 9:495-503 (1998).
- Morris RD, Naumova EN. Carbon monoxide and hospital admissions for congestive heart failure: evidence of an increased effect at low temperatures. *Environ Health Perspect* 106:649-653 (1998).
- Peters A, Doring A, Wichmann HE, Koenig W. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *Lancet* 349:1582-1587 (1997).
- Keatinge WR, Coleshaw SRK, Cotter F, Mattock M, Murphy M, Chelliah R. Increases in platelet and red cell counts, blood viscosity, and arterial pressure during mild surface cooling: factors in mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter. *Br Med J* 289:1405-1408 (1984).
- Morgan G, Corbett S, Wlodarczyk J, Lewis P. Air pollution and daily mortality in Sydney, Australia, 1989 through 1993. *Am J Public Health* 88:759-764 (1998).
- Wong TW, Lau TS, Yu TS, Neller A, Wong SL, Tam W, Pang SW. Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Occup Environ Med* 56:679-683 (1999).
- Xu X, Gao J, Dockery DW, Chen Y. Air pollution and daily mortality in residential areas of Beijing, China. *Arch Environ Health* 49:216-222 (1994).
- Simpson RW, Williams G, Petroschovsky A, Morgan G, Rutherford S. Associations between outdoor air pollution and daily mortality in Brisbane, Australia. *Arch Environ Health* 52:442-454 (1997).
- Lee J-T, Shin D, Chung Y. Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea. *Environ Health Perspect* 107:149-154 (1999).
- Hong Y-C, Leem J-H, Ha E-H, Christiani DC. PM<sub>10</sub> exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Incheon, South Korea. *Environ Health Perspect* 107:873-878 (1999).

## EHP PUTS EVEN MORE ENVIRONMENTAL HEALTH INFORMATION RIGHT AT YOUR FINGERTIPS!



EHP online articles contain convenient links to PubMed—the National Library of Medicine's free online search service of more than 9 million citations! Search MEDLINE and Pre-MEDLINE (including links to other online journals and databases) for information directly related to each EHP article's topic!

Subscribe to EHP today at  
<http://ehis.niehs.nih.gov/>



**Minuta****Caso peruano: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).****1. Antecedentes**

En Perú, a fines de la década del 90, se establecen como objetivos ambientales los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA). En ese momento se hablaba de objetivos, porque se entendía que eran metas a ser alcanzadas por el conjunto de actividades de una zona (cuenca atmosférica).

Para elaborar estos Estándares de Calidad Ambiental, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) aprobó un mecanismo llamado Grupos de Estudios Técnicos Ambientales (GESTA) para elaborar estas normas. GESTA estaba conformado por representantes del gobierno, industria, sociedad civil, academia, etc.

En el 2001, luego de dos años de trabajo en debates técnicos y normativos se aprobaron los primeros Estándares de Calidad Ambiental en el aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el valor de 24 horas era 365 µg/m<sup>3</sup>; el valor ECA para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) anual era 80 µg/m<sup>3</sup>.

En la aprobación de la Ley General del Ambiente se señala que a partir de ese momento los ECA serán de cumplimiento obligatorio en todo el país. A partir del año 2008, cuando el Ministerio del Ambiente (MINAM) del Perú entra en funcionamiento, son aprobados los nuevos Estándares de Calidad Ambiental para Aire en agosto del 2008 (Decreto Supremo N°003-2008-MINAM). En estos se establece el valor ECA para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de 24 horas en 80 µg/m<sup>3</sup> a partir del 1 de enero del 2009 y que a partir del 1 de enero del 2014 será de 20 µg/m<sup>3</sup> (valor guía de la Organización Mundial de la Salud). El valor ECA para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) anual se elimina.

La industria indicaba que ninguna de las zonas, en que se encuentran 4 fundiciones en el Perú, iba a cumplir con el valor de 80 µg/m<sup>3</sup> para 24 horas y menos con el valor de 20 µg/m<sup>3</sup>. Atendido a lo anterior, la fundición de Ilo de la empresa Southern Copper se ha visto obligada a recortar producción cuando predicen que las condiciones meteorológicas serán desfavorables. Hay que considerar que para cumplir el valor de 80 µg/m<sup>3</sup> para 24 horas se dieron 4 meses para lograr el cumplimiento (agosto 2008 - 31 de diciembre 2008) y por esto la única opción que quedó fue reducir fusión.

El 1 de enero de 2014 entró en vigencia el valor de 20 µg/m<sup>3</sup> de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para 24 horas. Los operadores de las 4 fundiciones y la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) llevaron su preocupación e información técnica a diferentes Ministerios y niveles del gobierno, explicando que no hay tecnología en el mundo que permita cumplir continuamente con 80 µg/m<sup>3</sup> y menos con 20 µg/m<sup>3</sup>.

El Ministerio del Ambiente entrega como respuesta las normas complementarias (Decreto Supremo N°006-2013-MINAM), donde se señala que el valor de 20 µg/m<sup>3</sup> es obligatorio en todo el territorio nacional, exceptuando algunas ciudades (cuencas atmosféricas) como las de Ilo, La Oroya y Arequipa. La ciudad de Ilo tiene la única fundición de cobre en operación en el país; mientras la ciudad de La Oroya tiene una fundición polimetálica y en la ciudad de Arequipa el problema es el transporte.

Por lo anterior, las ciudades de Ilo, La Oroya y Arequipa deben cumplir con el valor de 80 µg/m<sup>3</sup> de dióxido de azufre para 24 horas, aunque no queda claro si se debe cumplir con el valor de 80 µg/m<sup>3</sup> en forma permanente o se deben implementar planes que permitan cumplir con el valor de 20 µg/m<sup>3</sup>.

En conclusión, es posible aseverar que la norma de calidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de Perú es un ejemplo de diseño de regulación que no considero algunos criterios regulatorios esenciales, tales como: principio de gradualidad y realismo, coherencia regulatoria, coordinación con otros instrumentos regulatorios, antecedentes y evolución de la regulación internacional.










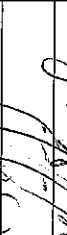






Minuta elaborada a partir de información entregada por CODELCO:

– Cristián Ibarra, coordinador del proceso de revisión de la norma primaria de calidad SO<sub>2</sub>, del Departamento de Normas.

"Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>"

FECHA: Jueves 19 de marzo de 2015 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	PEDRO SANTI	COCHILCO	PSANTIC@COCHILCO.CL	223828268	
2	Candina Gomez A	Min. Energía	cgomez@mimenergia.cl	23656876	
3	Nicolás Truelis	MMA	NTruelis@MMA.gob.cl		
4	SANDRA BRICEND	MMA	Sbricend@MMA.gob.cl		
5	FRANCISCO DONOSO G.	MMA	FDONOSO@MMA.gob.cl	25735880	
6	WALTER FOLCH	MINISAL	wfolch@minisal.cl	22540987	
7	Jenny Lopez F.	SECRETARÍA MEDIO AMBI.	jlopez.f@mma.gob.cl	2533814	
8	CONRADO RAVANAL	MMA	cravanal@mma.gob.cl		
9	SEBASTIÁN TOLUGIT	MMA	stolugit@mma.gob.cl		
10	Pamela Quellaus	MINECON	PQuellaus@minecon.cl	24733178	
11	Arturo Aguilar	IRA	AGUILAR@IRA.gob.cl	89712353	
12	PABLO SANCHEZ P.	MTT	psanchez@mtt.gob.cl		
13	Juanne Moreno A.	MMA	JMoreno@MMA.gob.cl	90019802	
14	Cristian Ibarra	MMA	CIBARRA@MMA.gob.cl		
15	CARMEN G. CONTRERAS	MMA	ccontreras@mma.gob.cl		
16	PRISCILA ULLORA	MMA	puல்லora@mma.gob.cl		
17					



**Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Fecha de reunión: 19-03-2015	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	---

**1. Asistentes del Comité Operativo**

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic Contreras	COCHILCO / Ministerio de Minería
2	Carolina Gómez A.	Ministerio de Energía
3	Walter Folch	Ministerio de Salud
4	Pamela Arellano	Ministerio de Economía
5	Pablo Salgado P.	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
6	Jenny Tapia F.	Ministerio de Medio Ambiente - Región de Antofagasta
7	Sandra Briceño	Ministerio de Medio Ambiente
8	Francisco Donoso G.	Ministerio de Medio Ambiente
9	Nicolás Trivelli S.	Ministerio de Medio Ambiente
10	Conrado Ravanal	Ministerio de Medio Ambiente
11	Artemio Aguilar	Ministerio de Medio Ambiente
12	Ivonne Moreno A.	Ministerio de Medio Ambiente
13	Priscilla Ulloa M.	Ministerio de Medio Ambiente
14	Cristián Ibarra F.	Coordinador revisión de norma, Ministerio de Medio Ambiente
15	Carmen Gloria Contreras	Jefa Departamento de Normas, Ministerio de Medio Ambiente
16	Sebastián Tolvett	Jefe División de Calidad del Aire, Ministerio de Medio Ambiente

**2. Objetivo de la reunión**

1. Presentar una propuesta de escenarios de los valores estándar anual, 24 horas y de 1 hora de la norma primaria de calidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
2. Presentar un avance del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma primaria de calidad de SO<sub>2</sub>, realizado por el Ministerio del Medio Ambiente

**3. Temas Tratados**

Se adjuntan a la presente acta las siguientes presentaciones que complementan el desarrollo de la reunión:

- a) Propuesta de escenarios de estándar anual, 24 horas y 1 hora de la norma de SO<sub>2</sub>
- b) Avance del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES), realizado por el MMA

000626

VTA

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

#### **4. Desarrollo de la reunión**

##### **4.1 Respecto a las fundiciones de cobre**

- El representante de COCHILCO menciona que la fundición Hernán Videla Lira (HVL) de ENAMI se encuentra estresada. Adicionalmente, se indica que el plan de inversión de la Fundición Hernán Videla Lira está retrasado para cumplir con el plazo de la norma de emisión para fundiciones de cobre (DS 28/2013).
- El representante de COCHILCO señala que en la Fundición de Ventanas (CODELCO) se utilizan criterios de operación para evitar que se repitan eventos como el episodio de La Greda y así mejorar su imagen ante la comunidad. El plan operacional utiliza un modelo de pronóstico meteorológico para adelantarse a las condiciones desfavorables en la atmósfera (baja dispersión) y así prevenir episodios de altas concentraciones de SO<sub>2</sub>, tomando medidas operacionales, como por ejemplo, la minimización del ingreso de aire soplado a los hornos.
- La fundición Hernán Videla Lira y la fundición Ventanas cuentan con una configuración tecnológica similar. Por lo tanto, si se realiza un plan de mejora en las instalaciones y en los criterios de operación de la fundición Hernán Videla Lira al nivel de lo que implementa la fundición de Ventanas, la fundición Hernán Videla Lira debería alcanzar una captura del 95% de SO<sub>2</sub>.

##### **4.2 Respecto al aumento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en Tocopilla**

- En la zona de Tocopilla no existen fundiciones de cobre, pero cuenta con 12 unidades termoeléctricas. Es así, que en el último año se ha registrado un aumento en las concentraciones de SO<sub>2</sub> y MP<sub>2,5</sub> en el aire, la profesional de la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta indica que es probable que este comportamiento obedezca a que las centrales termoeléctricas de la zona estén utilizando combustibles con alto contenido de azufre, como por ejemplo el petcoke con alto contenido de azufre. Sin embargo, cuando se encuentre en plena implementación la norma de emisión para centrales termoeléctricas, en julio del 2015, las emisiones de SO<sub>2</sub> deberían disminuir y por ende mejorar la calidad del aire respecto al SO<sub>2</sub>.

Cabe destacar que en la zona de Tocopilla no se han registrado episodios de SO<sub>2</sub>, es decir, concentraciones altas de SO<sub>2</sub> en el aire durante un corto período de tiempo.

#### 4.3 Respecto a los estándares de la norma primaria de calidad del aire de SO<sub>2</sub>

##### a) Norma anual de SO<sub>2</sub>

Los integrantes del Comité Operativo consideran que es factible rebajar a 60 µg/Nm<sup>3</sup> la concentración anual de SO<sub>2</sub>, debido a que mejora la protección de salud de las personas para los efectos crónicos del SO<sub>2</sub> y además es coherente con regulaciones como la norma de emisión de centrales termoeléctricas, la norma de emisión de fundiciones y el mejoramiento de combustibles.

##### b) Norma de 24 horas de SO<sub>2</sub>

Los integrantes del Comité Operativo consideran que cualquiera de los 2 escenarios propuestos para la norma de 24 horas de SO<sub>2</sub> es una mejora, respecto al valor actual de 250 µg/Nm<sup>3</sup>. El Comité Operativo considera que el escenario factible de implementar es el escenario 3 de 150 µg/Nm<sup>3</sup>, debido a que mejora la protección de salud de las personas y además es coherente con regulaciones como la norma de emisión de centrales termoeléctricas, la norma de emisión de fundiciones y el mejoramiento de combustibles.

##### c) Norma de 1 hora de SO<sub>2</sub>

Considerando que cualquiera de los 3 escenarios propuestos para la norma de 1 hora de SO<sub>2</sub> es una mejora significativa, debido a que actualmente no existe una norma de 1 hora para proteger la salud de las personas de efectos agudos de SO<sub>2</sub>. El Comité Operativo está de acuerdo que el escenario 1 para la norma de 1 hora (197 µg/Nm<sup>3</sup>) es menos factible de implementar que los otros escenarios, porque se contrapone con el criterio de coordinación entre las regulaciones vigentes, tales como, la norma de emisión de centrales termoeléctricas y la norma de emisión de fundiciones de cobre. Pues, a pesar que se implementen a plenitud las normas mencionadas anteriormente, en los plazos estipulados, existe una muy baja probabilidad de que las concentraciones de SO<sub>2</sub> cumplan el escenario 1.

##### d) Recomendaciones de la Organización Mundial de Salud

En el Comité Operativo surge la inquietud de considerar como escenarios los valores guías (metas) que propone la Organización Mundial de Salud (OMS), frente a esa inquietud se plantea que la OMS entrega recomendaciones a los países debido a que comprende que la realidad de cada país es diferente y señala textualmente lo siguiente:

*“Las normas nacionales varían en función del enfoque adoptado con el fin de equilibrar los riesgos para salud, la viabilidad tecnológica, los aspectos económicos y otros factores políticos y sociales de diversa índole, que a su vez dependerán, entre otras cosas, del nivel de desarrollo y la capacidad nacional en relación con la gestión de la calidad del aire. En los valores guía recomendados por la OMS se tiene en cuenta esta heterogeneidad y se reconoce, en particular, que cuando los gobiernos fijan objetivos para sus políticas deben estudiar con cuidado las condiciones locales propias antes de adoptar las guías*

000627

V.74

*Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente*

*directamente como normas con validez jurídica*". En este mismo sentido la OMS recomienda objetivos intermedios para seguir una senda de mejora en la protección de salud de las personas.

Adicionalmente, como ejemplo de falta de coherencia regulatoria, se menciona el caso de regulación de SO<sub>2</sub> ocurrido en Perú, donde consideraron como norma de 24 horas el valor guía de la OMS (20 µg/Nm<sup>3</sup>) y entrando en vigencia el 1 de enero de 2014. Al constatarse que esta norma no se podía cumplir en todo el territorio del país, el Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú desarrollo normas complementarias en la cual señalan que el valor de 20 µg/Nm<sup>3</sup> es obligatorio en todo el territorio nacional excepto en las ciudades (cuencas atmosféricas) de Ilo, La Oroya y Arequipa.

e) Criterios de excedencia

Los criterios de excedencia de la norma de 1 hora de SO<sub>2</sub> se revisarán en el próximo Comité Operativo.

f) Niveles de emergencia de SO<sub>2</sub>

Los niveles de emergencia de la norma de SO<sub>2</sub> se revisarán en el próximo Comité Operativo.

4.4 Respecto al AGIES de la norma de SO<sub>2</sub>

- El Ministerio del Medio Ambiente indica que se presenta un avance del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma primaria de SO<sub>2</sub>, y que se está trabajando en mejorar el documento de acuerdo a criterios como la coherencia de los instrumentos regulatorios.
- En el AGIES se identifican beneficios en salud como disminución en casos de mortalidad y morbilidad (efectos sobre los asmáticos, visitas a salas de emergencia, etc.), los cuales resultan de estudios toxicológicos como epidemiológicos<sup>1</sup>. También se identifican casos evitados por MP2,5 debido a que el SO<sub>2</sub> es un precursor de sulfuros que forman parte del material particulado<sup>2</sup>.
- En el AGIES se identifican que los costos de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> están relacionados a otros instrumentos regulatorios como la norma de emisión de centrales termoeléctricas y la norma de emisión de fundiciones de cobre y el mejoramiento de combustibles.
- En el AGIES se realiza un análisis de asignación de costos, indicando que cuando hay costos adicionales para cumplir con la norma, estos son asignados principalmente a la fundición HVL.

CGCF/PU/CIF/...

<sup>1</sup> Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Final Regulatory Impact Analysis (RIA) for the SO<sub>2</sub> National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).

<sup>2</sup> OPS, 2010, "Salud Ambiental de lo global a lo local", pág. 374.

## Reunión Comité Operativo

### Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

#### **Objetivo:**

- 1. Presentar propuesta de escenarios de estándar para la norma de SO<sub>2</sub>**
- 2. Presentar un avance del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES), realizado por el MMA**

19 de marzo, 2015

## **Contenido**

1. En qué estamos y próximas actividades
2. Contexto
3. Resumen estudio CENMA
4. Criterios de diseño regulatorio
5. Revisión de la norma
  - Escenarios de los estándares de calidad



000628

VFA,

## ¿En qué estamos?

- Finalizó estudio técnico científico, CENMA
- Informe Estimación del Riesgo atribuible al SO<sub>2</sub>, pasante doctorado en salud pública
- AGIES Institucional en estado de revisión
- Reuniones de trabajo con COCHILCO, CODELCO, MINSAL y Minería

## Próximas actividades e Hitos

### **Comité Ampliado, Seminarios para difundir el anteproyecto**

- Antofagasta, 26 de marzo
- Copiapó, 1° de abril
- Valparaíso, 9 de abril
- Santiago, jueves 16 de abril

**Comité Operativo**, miércoles 8 de abril, de 11:00-13:00 hrs.

Objetivo: Revisión de anteproyecto

**30 de abril, finaliza plazo para elaborar anteproyecto e iniciar consulta pública**

3

## 2. Recordemos el contexto de la revisión de la norma

4

# Evolución de la norma primaria de SO<sub>2</sub> en Chile

	1978	1991	2003
	Resolución Nº1.215 del Ministerio de Salud	Decreto Supremo Nº185 del Ministerio de Minería	Decreto Supremo Nº113 del MINSEGPRES
Estándar Anual	80 µg/m <sup>3</sup>	Se mantiene	Se mantiene
Estándar 24 horas	365 µg/m <sup>3</sup>	365 µg/m <sup>3</sup>	250 µg/m <sup>3</sup>
Niveles de Emergencia	-----	Alerta: 1962-2615 Advertencia: 2616-3923 Emergencia: ≥ 3924	Se mantiene

El estándar anual tiene más de 30 años. El estándar de 24 horas más de 10 años.  
No se cuenta con un estándar horario  
Destaca que la norma secundaria de SO<sub>2</sub> si establece estándar horario (700/1.000)

## 3. Resumen estudio CENMA

**“Análisis de antecedentes y evaluación técnica-económica para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)”. Informe elaborado por CENMA para el Ministerio del Medio Ambiente, 2014.**

## Resumen Estudio CENMA (1 de 2)

- Los antecedentes tanto toxicológicos como epidemiológicos, recogidos a nivel internacional y en el país muestran en forma consistente que la exposición a SO<sub>2</sub> atmosférico representa un peligro para la salud pública <sup>(1)</sup>.
- De las 10 zonas priorizadas en el estudio, asociadas a fuentes como termoeléctricas y fundiciones de cobre, solo las zonas de Quintero, Paipote y La Negra presentan las mayores concentraciones de SO<sub>2</sub> <sup>(2)</sup>.

Cabe destacar que el estudio consideró en la zona de La Negra, la estación Sur, la cual no tiene representatividad poblacional para SO<sub>2</sub>.

- Los escenarios propuestos de valores norma entregan **ganancias ambientales** en el territorio nacional. Las ganancias ambientales se entienden como externalidades positivas de una acción que no queda directamente reflejada en el impacto económico y social de la acción <sup>(3)</sup>.

Fuente: CENMA, 2014.

(1): página 201, (2) página 165, (3) página 381.

7

## Resumen Estudio CENMA (2 de 2)

- Los escenarios propuestos de la norma aumentan la **equidad** frente a la contaminación de SO<sub>2</sub> (justicia ambiental) <sup>(4)</sup>.
- Al analizar los escenarios normativos, el estudio entrega como resultado lo siguiente: <sup>(5)</sup>
  - **Norma Horaria:** Incorporación de una norma horaria en un nivel de 350 µg/m<sup>3</sup>.
  - **Norma Diaria:** Reducción de nivel de la norma diaria desde 250 a 125 µg/m<sup>3</sup>.
  - **Norma Anual:** Mantenimiento de la norma anual en 80 µg/m<sup>3</sup>.

Cabe destacar que este resultado deriva de un análisis multicriterio <sup>(6)</sup>, donde todos los criterios y supuestos tienen el mismo peso.

Fuente:

CENMA, 2014.

(4): página 381, (5) página 397, (6) página 392-393.

8

## 4. Criterios de diseño regulatorio

9

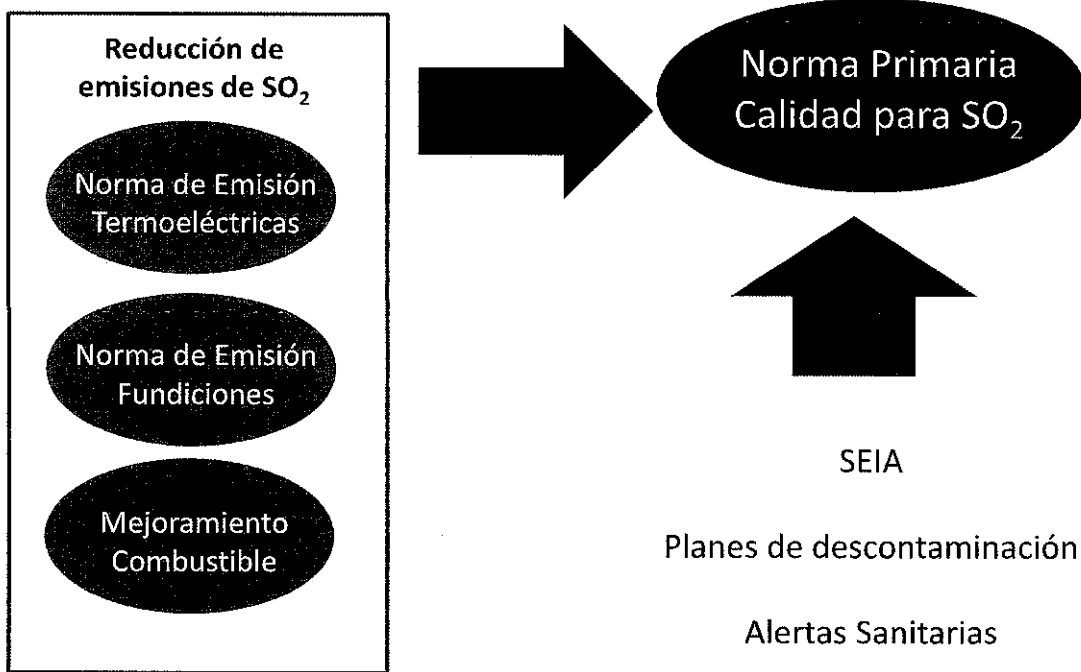
### Criterios de diseño regulatorio

- **Nueva evidencia en salud** sobre la exposición de corta duración
- **Coherencia y coordinación** con otros instrumentos regulatorios (normas de emisión termoeléctricas y fundiciones y normas técnicas que mejoran el combustible)
- **Gradualismo**
- **Principio de legalidad** gestión asociada al Decreto Alcaldicio de la Municipalidad de Quintero y de las Seremis de Salud de Atacama y de Valparaíso
- Concepto de **Ganancia Ambiental**
- Comprender la **asignación de costos** de la norma primaria que se revisa dada la aplicación de otras exigencias (por ejemplo norma fundiciones)

10

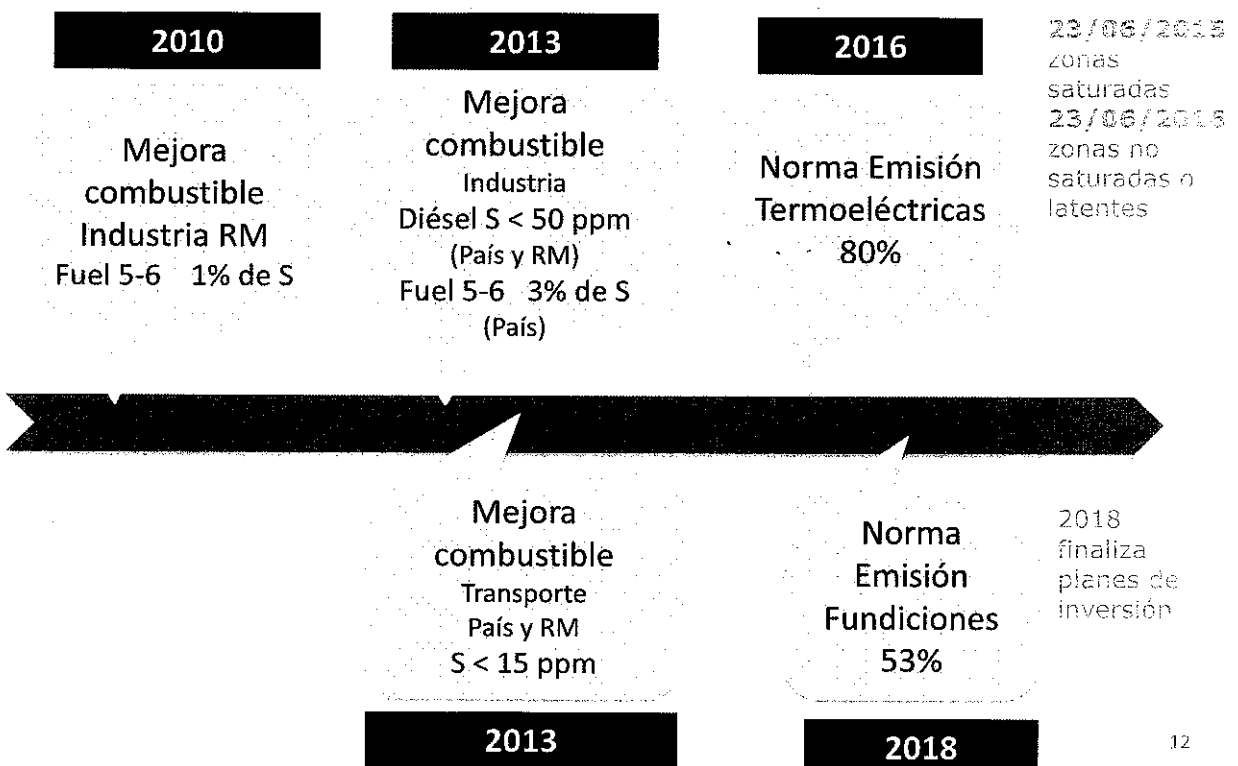
000630  
UTA

## Coordinación de la norma primaria de SO<sub>2</sub> con otros instrumentos de gestión ambiental



11

## Cronograma de implementación de otros instrumentos



12

## 5. Escenarios de los estándares de SO<sub>2</sub>

13

### Propuesta de escenarios de estándares de SO<sub>2</sub>

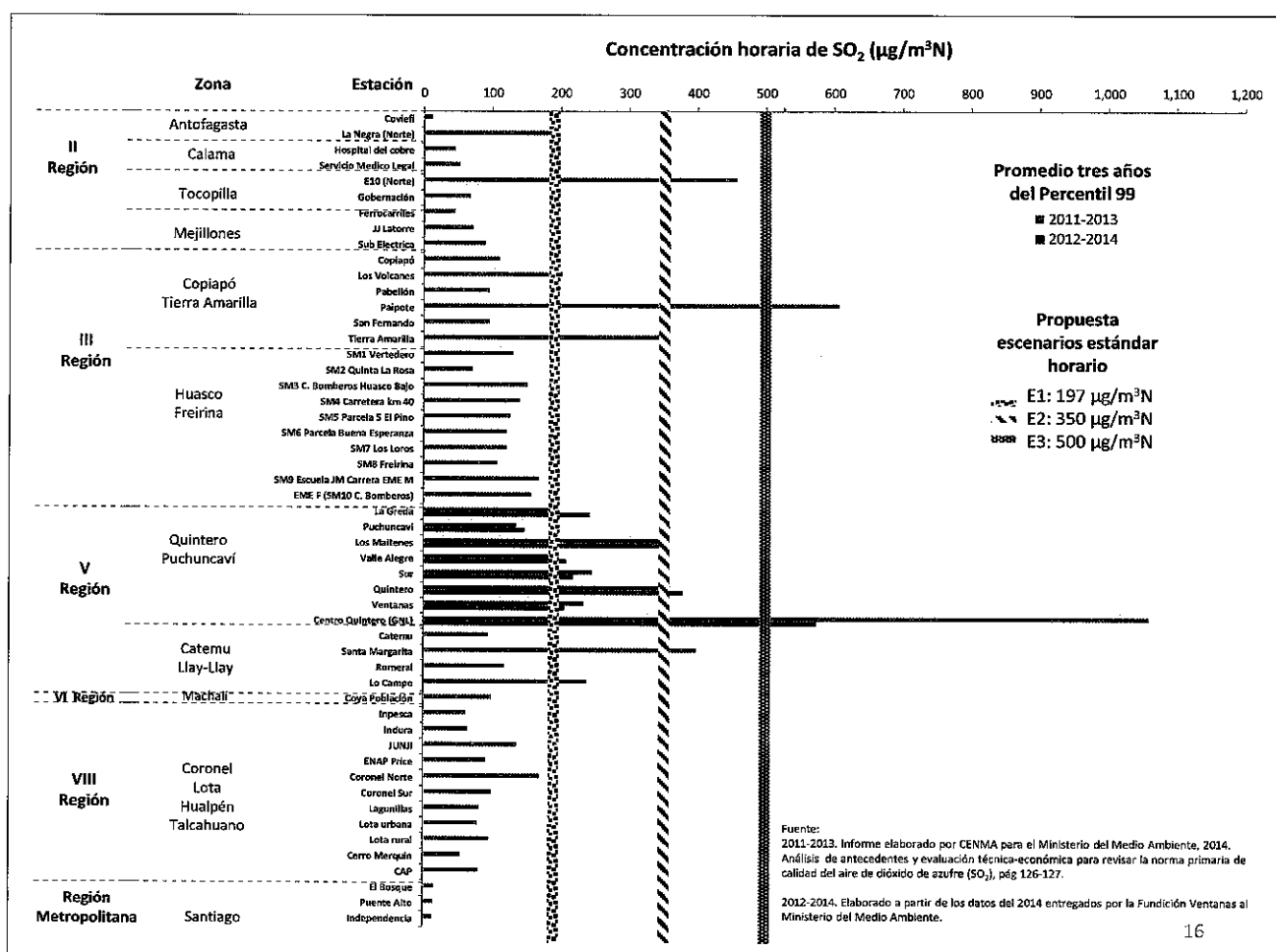
Estándar	1 hora	24 horas	Anual	Comentario
Unidad	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	
<b>Actual</b>	-- (1000/700)	<b>250</b> (365/260)	<b>80</b> (60/60)	Valor estándar norma primaria D.S. 113/2003 Norma secundaria (Norte/Sur) D.S. 22/2010
<b>E1</b>	<b>197</b>	--	--	Valor que no requiere establecer estándar de 24 horas y anual. Modelo EEUU.
<b>E2</b>	<b>350</b>	<b>125</b>	<b>60</b>	1 hora: Estándar Comunidad Europea 24 horas: Primer objetivo intermedio OMS Anual: Norma secundaria Chile
<b>E3</b>	<b>500</b>	<b>150</b>	<b>60</b>	1 hora: México (530) – China (zona urbana 500) 24 horas: China (zona urbana) Anual: Equivalente a norma secundaria chilena
<b>Criterio de Excedencia</b>	Percentil 99 de un año Promedio del percentil 99 de 3 años consecutivos	Promedio del percentil 99 de 3 años consecutivos	Promedio de tres años	
	Percentil 99,73 de un año Promedio del percentil 99,73 de 3 años consecutivos	Promedio del percentil 99,7 de 3 años consecutivos		

14

000631  
VTA

A continuación veremos la situación en que está el país respecto a los escenarios del estándar horario

15



16

## Zonas de interés de análisis de los escenarios de SO<sub>2</sub>

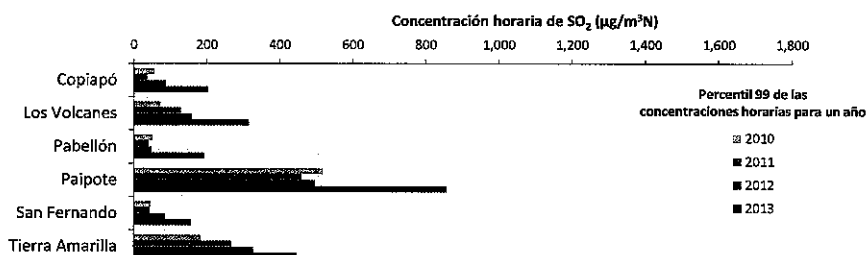


Zona priorizadas	Principales fuentes emisoras de SO <sub>2</sub>
Tocopilla	Termoeléctricas
Calama	Fundición Chuquicamata- Ministro Hales
Mejillones	Termoeléctricas - Planta de ácidos -Otras
Antofagasta - La Negra	Fundición Alto Norte
Copiapó - Paipote - Tierra Amarilla	Fundición Hernán Videla Lira (HVL)
Huasco	Termoeléctricas - CAP pellets de Fe
Catemu - Llay Llay	Fundición Chagres
Quintero - Puchuncaví	Termoeléctrica AES Gener Fundición Codelco Ventanas
Machalí - Coya	Fundición Caletones
Coronel - Lota - Hualpén - Talcahuano	Termoeléctricas Procesos calderas Siderurgia

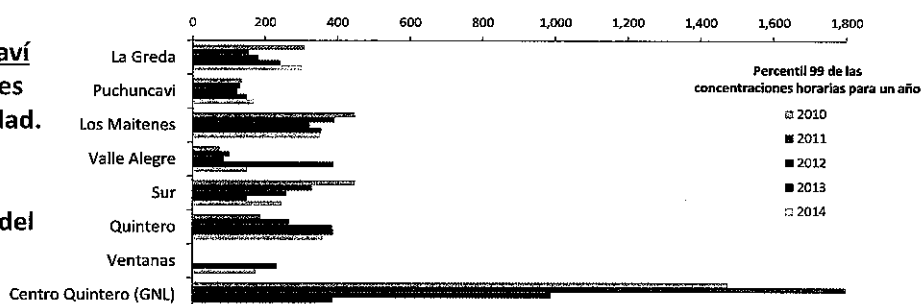
17

### Concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en Copiapó-Tierra Amarilla y Quintero-Punchuncaví

**Copiapó-Tierra Amarilla**  
Las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> han aumentado



**Quintero-Puchuncaví**  
Las concentraciones presentan variabilidad. Estación Centro Quintero (GNL) disminuye a partir del 2013



Fuente:  
2011-2013. CENMA, 2014, pág 126-127.  
2012-2014. Elaborado a partir de los datos del 2014 entregados por la Fundación Ventanas al Ministerio del Medio Ambiente.

18

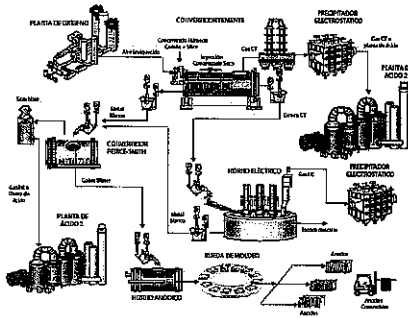


000632

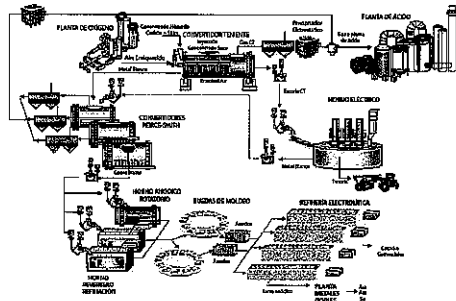
VTA.

## Configuración tecnológica similar entre las fundiciones Ventanas y HVL (paipote)

Fundición Hernán Videla Lira



Fundición Ventanas



Empresa	Fundición	Tecnología fusión	Nº	Tamaño LxD (m)	Capacidad fusión fundición	
					Nominal (tpcd)	Anual (t)
CODELCO	Ventanas	Convertidor Teniente	1	14x5	1.400	450.000
ENAMI	H. V. L.	Convertidor Teniente	1	14,9x3,8	1.050	357.000

Fuente: Antecedentes Técnicos y Económicos para elaborar una norma de emisión para Fundiciones de Cobre (2009).  
Preparado por el Departamento de ingeniería de Minas de la Universidad de Chile para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

19

## Se infiere que....

- Configuración tecnológica similar entre las fundiciones Ventanas y HVL.
- El plan de inversión que integrará Ventanas mejorará su desempeño ambiental, alcanzando un 95% de captura.
- Si la fundición HVL realiza el mismo plan de mejoras, alcanzaría un 95% de captura.
- Entonces, a similar porcentaje de captura, el patrón de emisiones de ambas fundiciones sería equivalente.
- Considerar que la fundición Ventanas al 2014, operó a un 94,6% de captura, se aprecia que en la calidad del aire de SO<sub>2</sub> hay una reducción.
- Al cumplir la fundición HVL la norma de emisión de fundiciones de cobre se esperarían mejoras en la calidad del aire en la zona de Paipote; sobretodo si solo hay un tipo de fuente relevante.

Fuente:

(1) Representantes del Comité operativo COCHILCO y MMA

(2) Supuesto utilizado en COPRIM, 2011.

20

**Muchas Gracias**

000000

000000

# Avance Preliminar AGIES Norma Primaria de SO<sub>2</sub>



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Ministerio del Medio Ambiente de Chile  
19 de Marzo de 2015

Gobierno de Chile

## Contenidos

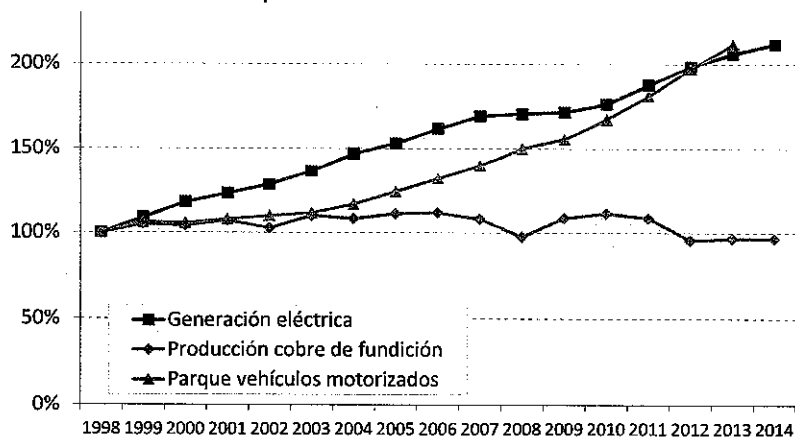
- Antecedentes de la norma
- Análisis de escenarios normativos
  - Metodología
  - Resultados
- Conclusiones

000634

VTA

## Antecedentes Proyecciones de crecimiento

- El desarrollo económico del país implica en una mayor actividad industrial
- Esto redundará en un aumento de emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera y un incremento de los impactos asociados.



## Antecedentes Instrumentos aprobados que regulan SO<sub>2</sub>

- Para enfrentar el problema, se han elaborado diversos instrumentos de reducción de SO<sub>2</sub> en el país.
- Al año 2019 estarán todos los instrumentos de gestión vigentes plenamente operando.

Instrumento regulatorio	Alcance	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
NE. Termoeléctricas	Nacional												
NE. Fundiciones													
Impuestos verdes													
↓S comb. transporte													
↓S comb. industria diésel													
↓S comb. industria	RM												
↓S comb. transporte													
↓S comb. industria diésel													
↓S comb. industria													

## Antecedentes

### Ejemplo: norma fundiciones

- ¿Cuál es el efecto de la reducción de emisiones de la norma de fundiciones?
  - La norma de fundiciones reduce aproximadamente un **47%** de las emisiones de SO<sub>2</sub> emitidas en la actualidad
  - Esta reducción de emisiones implica mejoras sustantivas en la calidad del aire y en los efectos en la salud aun no percibidas por la población

Indicador	Valor (MMUSD/año)
Beneficios	157
Costos	97

Fuente: AGIES Fundiciones (MMA, 2011). Se ajustó el valor de la vida estadística a 14.900 UF. Tasa de descuento: 6%. Anualización sobre horizonte de evaluación utilizado de 20 años. Se asocia sólo el beneficios producto de la disminución de SO<sub>2</sub>.

## Antecedentes

### Objetivos de la norma

- Objetivo de la norma: "proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire."
  - Incorpora un nuevo estándar horario de regulación
  - Actualiza los estándares diarios y anuales
- La coherencia con los otros instrumentos de gestión ambiental vigentes es un criterio adicional en el diseño de la norma.

000635

VTA

## Antecedentes Escenarios de norma a analizar

- El análisis del AGIES evalúa tres posibles escenarios de norma.

Estándar	1 hora	24 horas	Anual	Comentario
Unidad	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Valor Actual	-- (1000/700)	250 (265/180)	80 (80/60)	Valor estándar norma primaria (Norte/sur) Norma secundaria
Escenario 1 (E1)	197	--	--	El nivel horario es tan estricto que no requiere establecer estándar de 24 horas y anual.
Escenario 2 (E2)	350	125	60	1 hora: Estándar CE 24 horas: primer objetivo intermedio OMS Anual: norma secundaria Chile
Escenario 3 (E3)	500	150	60	1 hora/24 horas: China zona urbana Anual: equivalente a norma secundaria
Criterio de Excedencia	Percentil 99,73 de un año Promedio del percentil 99,73 de 3 años consecutivos	Promedio del percentil 99,7 de 3 años consecutivos	Promedio de tres años	

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

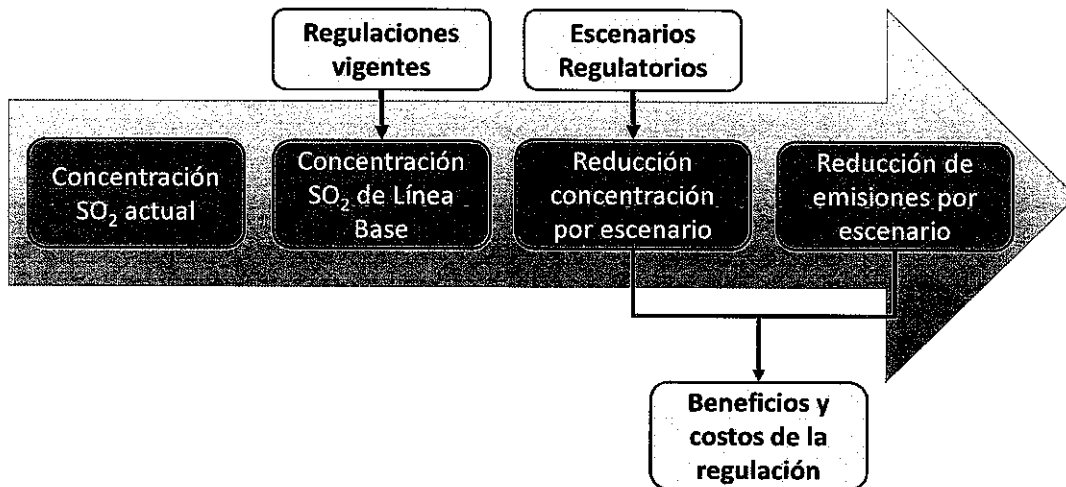


Ministerio del  
Medio  
Ambiente

## ANÁLISIS DE ESCENARIOS

## Metodología AGIES Diagrama general

- Corresponde a un análisis cualitativo y cuantitativo de beneficios y costos de manera secuencial
- Este análisis se realiza para cada escenario propuesto



## Metodología Línea base de concentración

- ¿Cómo se estima el efecto de las otras normas en la calidad del aire?
  - Supuesto: Reducción proporcional de la calidad a la reducción de emisión de las otras normas.

$$C_{LB} = (1 - \% \text{Reducción otras normas}) \cdot C_{Actual}$$

Donde:

- $C_{LB}$ : Concentración de línea base, considerando efectos de otras normativas.
- $C_{Actual}$ : Concentración actualmente monitoreada (estadígrafos de norma).
- $\% \text{Reducción otras normas}$ : proporción de las emisiones que reduce las normas de termoeléctricas y fundiciones.

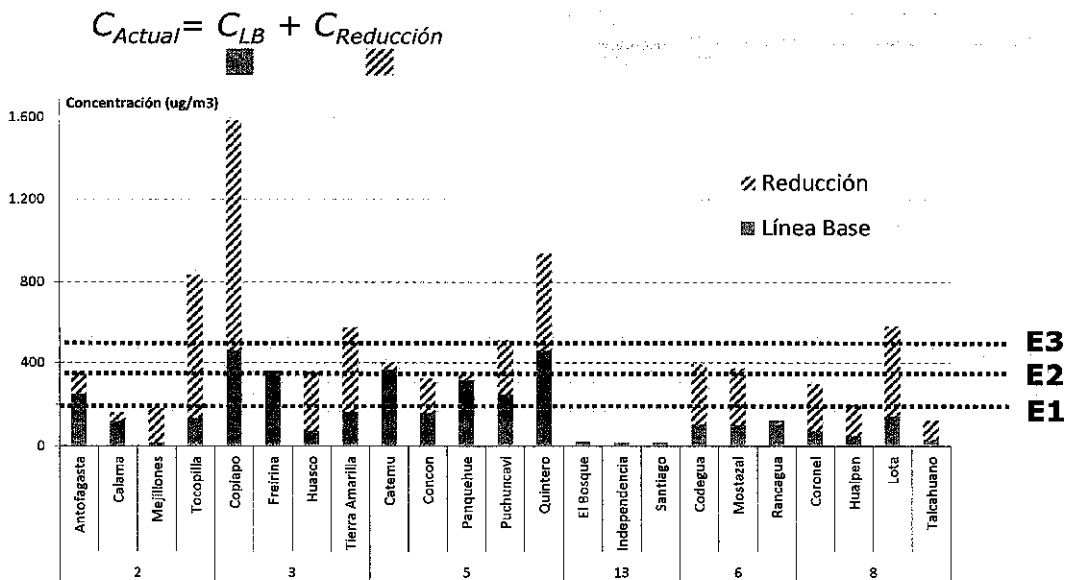
Fuente:

- Concentraciones: DINIA (2015) y Red SINCA últimos tres años de datos disponibles (2012-2014 o 2011-2013 según sea el caso)
- Emisiones: Fundiciones: AGIES norma I fundiciones (MMA 2012); Termoeléctricas: Valgesta Energía (2014) y KAS Ingeniería (2011); REFC (2011).



000636  
UTA

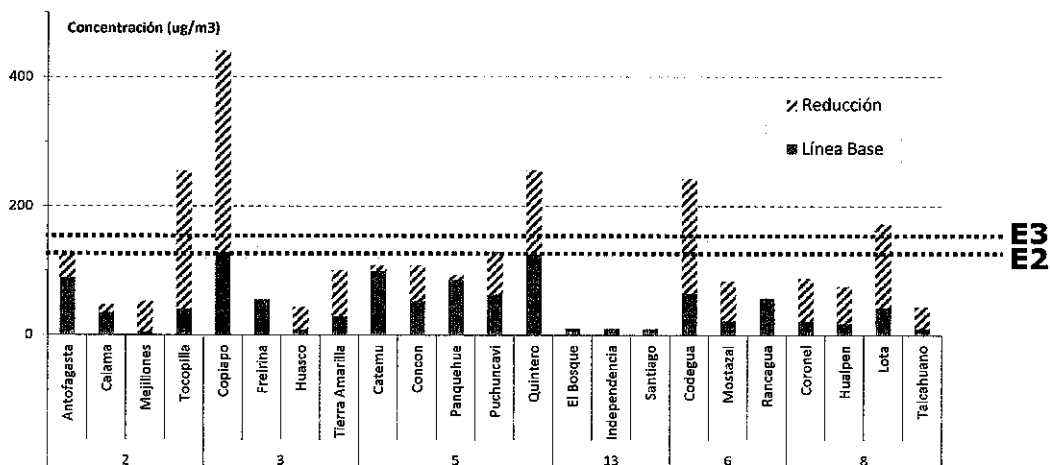
## Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma horaria



## Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma diaria

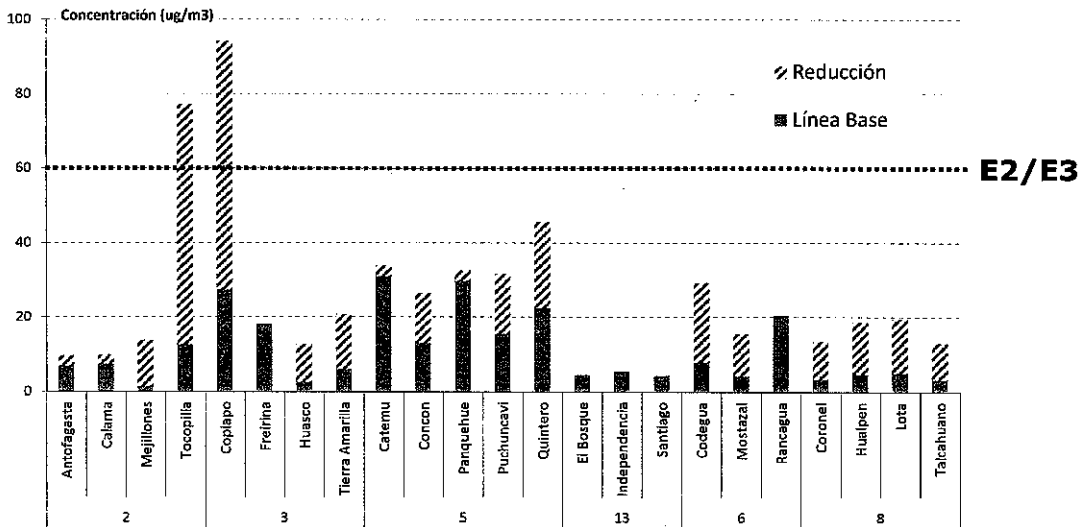
$$C_{Actual} = C_{LB} + C_{Reducción}$$

- $C_{Actual}$ : concentración actualmente monitoreada
- $C_{LB}$ : concentración de línea base simulada
- $C_{Reducción}$ : concentración que se reduce por efectos de otras normativas



## Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma anual

$$C_{Actual} = C_{LB} + C_{Reducción}$$



## Resultados Línea base y análisis de escenarios Resumen

- **E1** requiere de esfuerzos adicionales significativas en varias zonas del país.
- **E2** es un escenario intermedio, con algunas superaciones en norma horaria y diaria
- **E3** no posee exigencias adicionales por sobre las regulaciones vigentes no implementadas (termoeléctrica y fundiciones), por lo que es coherente con las otras regulaciones vigentes.

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antofagasta</li> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Panquehue</li> <li>• Puchuncavi</li> <li>• Quintero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Quintero</li> </ul>	
Diaria	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Quintero</li> </ul>	
Anual	N/A		

000637

VTA

## Beneficios

### Identificación – análisis cualitativo

- Efectos en salud:
  - Disminución en casos de mortalidad
  - Disminución en casos morbilidad (efectos crónicos de asma, efectos cardiovasculares, visitas a salas de emergencia)
- Otros efectos positivos
  - Mejora en la visibilidad, materiales (efecto corrosivo) y biodiversidad
  - Imagen país: recomendaciones de la OCDE y OMS
  - Establecimiento de límites de calidad para futuros proyectos (mejora potencial de calidad del aire)
  - Coherencia regulatoria a nivel nacional

\*Se considera tanto los efectos del SO<sub>2</sub> de manera directa y como como precursor del MP<sub>2,5</sub>

\*\* Se considera la población expuesta la totalidad de los habitantes de la comuna donde se realiza la medición

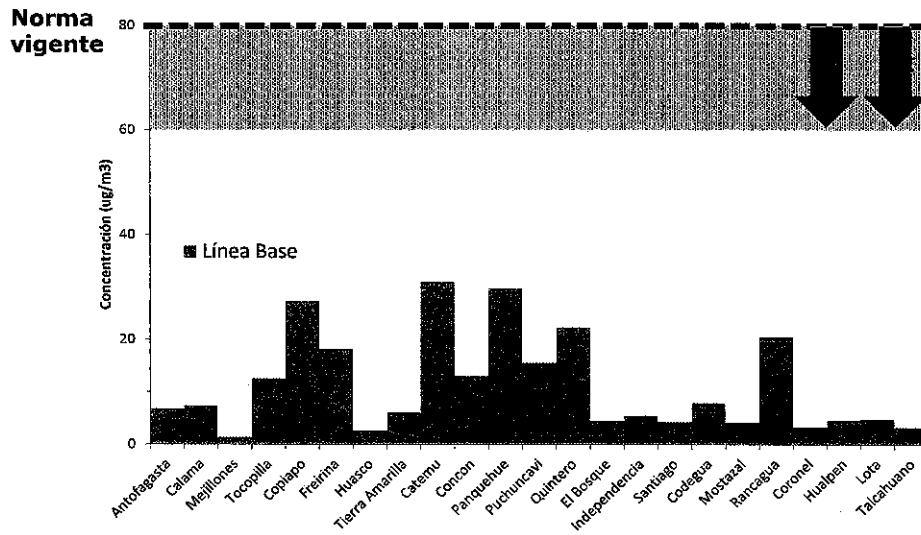
## Beneficios

### Identificación – análisis cualitativo

1. Coherencia regulatoria
  - Generación de estándar acordes con las exigencias de las normativas en curso
  - Fortalecimiento y credibilidad en la institucionalidad ambiental
2. Imagen país y compromisos internacionales:
  - OCDE 2011: "Progresar aún más en la puesta en práctica de programas de calidad del aire, incluidos los relacionados con la minería y los que se orientan al material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y al Ozono".
3. Mejoras de calidad potenciales
  - Aun cuando no exista diferencia con respecto a la LB, existe mejora potencial de calidad del aire ante futuros proyectos
  - El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental exige cumplimiento de las normas de calidad vigentes, por lo que los nuevos estándares permite exigir mejores tecnologías en los proyectos entrantes

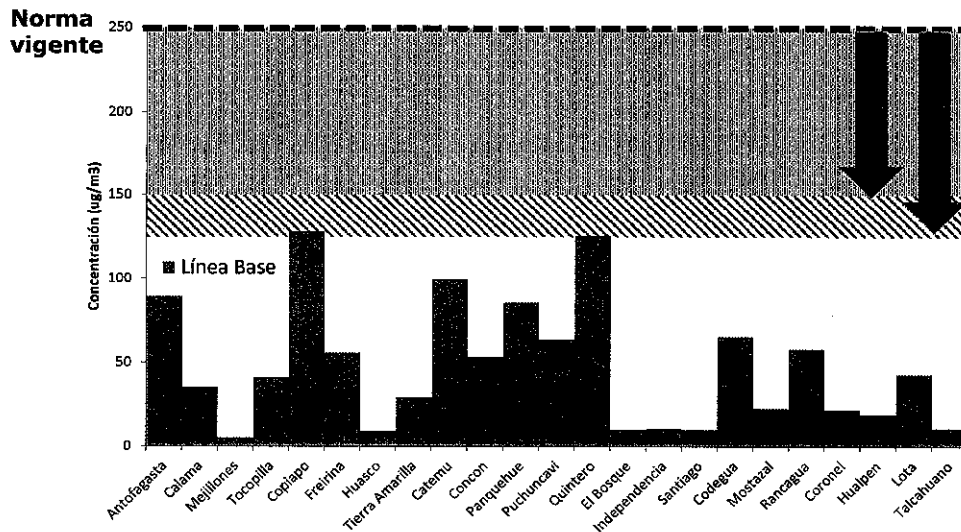
## Beneficios Identificación: mejora potencial (1)

- Ejemplo: norma anual



## Beneficios Identificación: mejora potencial (2)

- Ejemplo: norma diaria

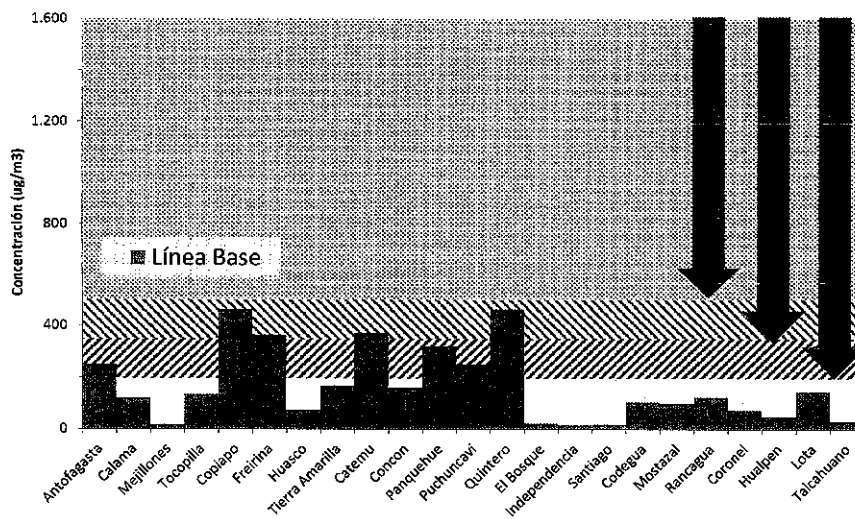


000638

VTA

## Beneficios Identificación: mejora potencial (3)

- Ejemplo: norma horaria (no existe norma vigente)



## Beneficios Cuantificación: reducción de casos

- Cuantificación de efectos en salud por mejoras en calidad del aire en SO<sub>2</sub> y como precursor de MP<sub>2.5</sub>
- Corresponde a la suma de casos anuales, período 2015-2024

Causa	E1	E2	E3
<b>Mortalidad</b>	47	13	-
<b>Asma crónica</b>	5	1	-
<b>AH: Cardiovascular</b>	2	0	-
<b>VSE: Asma</b>	6	1	-
<b>Días de actividad perdidos</b>	423	101	-
<b>Días de actividad restringidos</b>	2940	717	-

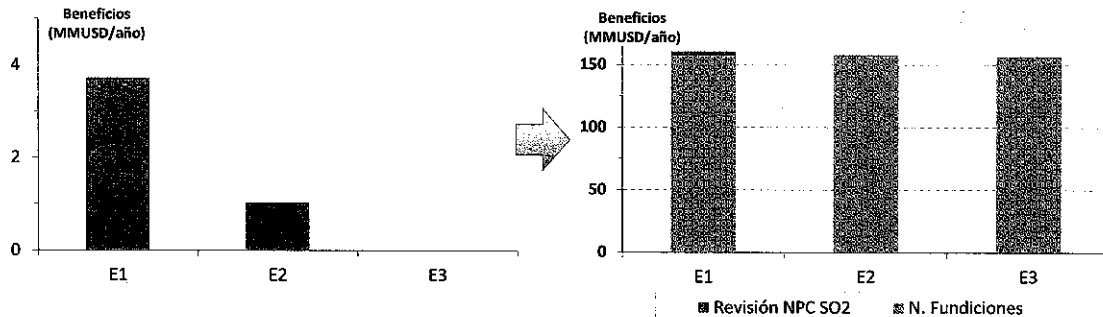
AH: Admisión hospitalaria

VSE: Visitas a salas de emergencia

Cuantificación por reducción de MP<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub>. Metodología aplicada según la Guía Metodológica de AGPS de Aire (NMA, 2012).

## Beneficios Valorización (MMUSD/año)

- E1 es el que posee mayores beneficios estimados producto de mayores reducciones de concentraciones de la norma horaria
- Notar que los beneficios valorizados son una proporción menor si son comparados con N.E. Fundiciones (~150 MMUSD/año)
- Este resultado se debe a que los casos de mortalidad evitada tiene una ponderación muy alta en las evaluaciones sociales
- Por limitaciones metodológicas e información, no todos los beneficios son evaluados



Anualización de beneficios de 10 años (2018-2027), considerando proyección de población. Valor de la vida estadística: 14.900 UI (2015), basado en Fraguier y Ortúzar (2002), proyectado según poder de paridad de compra. Tasa de descuento: 6%. Fuente: Elaboración propia.

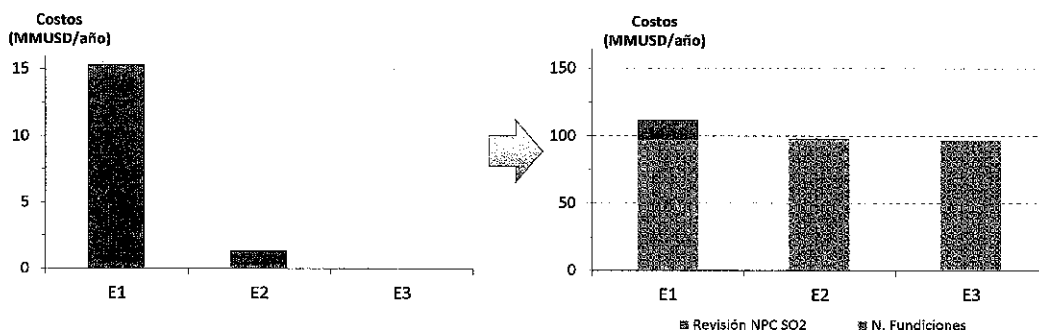
## Costos Horas de superación de norma

- Existirán costos adicionales en los escenarios:
  - A mayor número de eventos de superación de norma.
  - Se incrementan la magnitud de las superación.
- El E1 es significativamente el que produce mayores superaciones de norma.

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	450	52	0
Diaria	N/A	7	0
Anual	N/A	0	0
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>59</b>	<b>0</b>

## Costos Valorización (MMUSD/año)

- Se asume que un número de superaciones importantes implica inversiones adicionales en la fundición, producto de que son superaciones principalmente horarias.
  - E1 es el que posee mayores costos, únicamente por norma horaria dado que carece de niveles diarios y anuales
  - E2 posee costos significativamente menores que E1
  - E3 no implica en costos adicionales
- Los costos analizados son muy menores a los que las fundiciones tienen que implementar por la norma sectorial.



## Conclusiones Generales

- La revisión de la norma de SO<sub>2</sub> incorpora:
  - Niveles diarios y anuales más estrictos
  - Creación de una norma horaria para proteger a la población de efectos agudos
- Adicional a los beneficios por menor exposición al contaminante por parte de la población destacan:
  - Mejoras potenciales de calidad del aire
  - Consistencia normativa con estos otros instrumentos aprobados
  - Cumplimiento de compromisos internacionales

## Conclusiones

### Análisis de escenarios

- **E1** posee los mayores beneficios al requerir esfuerzos adicionales a los instrumentos vigentes.
- **E2** el equilibrado en beneficios y costos adicionales
- **E3** no demanda esfuerzos adicionales, con lo cual es el único escenario con coherencia regulatoria en relación a normas existentes.
- Las normas vigentes aun no implementadas posee órdenes de magnitud en beneficios e inversiones superiores por parte de los regulados, lo que representa la verdadera medidas para la reducción de SO<sub>2</sub>

Indicador	E1	E2	E3	N. Fundiciones
Beneficio valorizado (MMUSD/año)	3,7	1,0	0	157
Costo valorizado (MMUSD/año)	15,4	1,4	0	97
Razón beneficio costo	0,24	0,71	-	1,62

## Conclusiones

### Análisis de escenarios. Resumen.

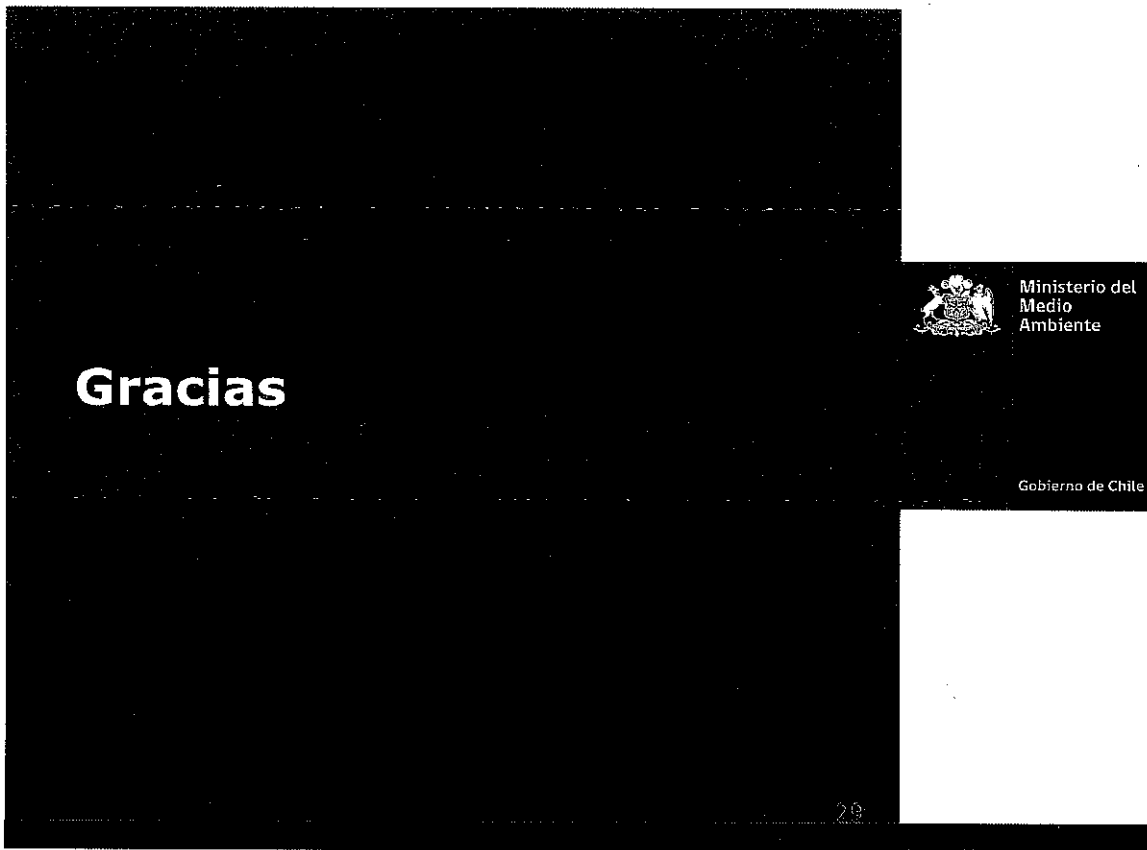
- En el análisis de escenarios, cada uno de ellos tienen ventajas y desventajas por sobre el otro.

Escenario	Aspectos positivos	Aspectos negativos
<b>E1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee los mayores beneficios entre los escenarios evaluados</li> <li>- Posee la mayor disminución de los estándares mejorando la exposición al contaminante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No posee un estándar diario ni anual</li> <li>- Genera los mayores costos para el sector regulado.</li> <li>- No es coherente con otras normativas de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> dado que implica en esfuerzos adicionales.</li> </ul>
<b>E2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee beneficios mayores a cero</li> <li>- Baja significativamente los estándares mejorando las exposición al contaminante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee costos mayores a cero</li> <li>- No es coherente con otras normativas de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> dado que implica en esfuerzos adicionales.</li> </ul>
<b>E3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay costos adicionales a las normas vigentes</li> <li>- Baja significativamente los estándares mejorando las exposición al contaminante.</li> <li>- Es coherente con otras normativas de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> dado que no implica en esfuerzos adicionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existen reducciones de emisiones adicionales a las normativas vigentes.</li> </ul>



000640

VTA



## Costos Análisis distributivo por fundición (USD/año)

- Se analiza los costos por cada una de las fundiciones.
- Los resultados obtenidos van acorde con la reducción de concentración proveniente del análisis de superación

Fundición	E1	E2	E3
Altonorte	-	-	-
Caletones	-	-	-
Chagres	0.2	-	-
Chuquicamata	-	-	-
HVL	1.4	1.4	-
Potrerosillos	-	-	-
Ventanas	13.7	-	-
<b>Total general</b>	<b>15.4</b>	<b>1.4</b>	<b>-</b>

### Información adicional

A continuación se muestra la frecuencia de excedencia permitida para el valor norma de SO<sub>2</sub> en diferentes países del mundo.

1. El proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2000. Capítulo 2.1, cuadro 2, página 15.

[http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/normas/2\\_1.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/normas/2_1.pdf)

## GUÍAS Y NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN EXTERIORES

Este capítulo describe los valores guías recomendados por la OMS y las normas de calidad del aire en exteriores fijadas en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. Se ha dividido en dos secciones: la primera, contiene las guías y normas de calidad del aire en exteriores para contaminantes tradicionales y la segunda, para contaminantes no tradicionales. La diferencia entre los contaminantes tradicionales y no tradicionales es que los primeros han sido estudiados extensivamente y existe amplia información sobre sus fuentes de emisión, niveles en el ambiente e impactos en la salud y los segundos, han comenzado a ser estudiados más recientemente y no cuentan con información tan amplia.

### 2.1 Guías y normas para contaminantes tradicionales

#### 2.1.1 *Guía de calidad del aire*

Es el estimado del nivel de concentración de un contaminante del aire al cual pueden estar expuestos los seres humanos durante un tiempo promedio determinado sin riesgos apreciables para la salud. Estos estimados son recomendaciones y no tienen respaldo legal.

#### 2.1.2 *Norma de calidad del aire*

Dispositivo legal que establece el límite máximo permisible de concentración de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

Esta sección describe los valores guía recomendados por la OMS y las normas de calidad del aire en exteriores fijadas en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea para seis contaminantes tradicionales: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), material particulado en suspensión (MP) y plomo. Las fuentes de información están indicadas en el anexo 1.

En 12 países de América Latina y el Caribe se han fijado normas de calidad del aire en exteriores para contaminantes tradicionales: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Jamaica, México y Venezuela. En este documento se presentan las normas de esos países con excepción de Jamaica.

Las variaciones en la norma para un contaminante entre diferentes países dependen principalmente del enfoque usado en el proceso de formulación y la forma en que se implementa la norma dentro de la estrategia del manejo de la calidad del aire. Por ejemplo:

- En algunos países se incluyen las consideraciones económicas en el proceso de fijación de normas mientras que en otros no.
- En algunos países la ley fija plazos específicos para el cumplimiento de las normas mientras que en otros, las normas son objetivos para lograr a largo plazo sin fecha límite.
- En algunos países se revisan las normas periódicamente mientras que en otros no. Además, dependiendo de la importancia del contaminante para el país, el proceso de revisión de la norma para cierto contaminante puede tener mayor o menor prioridad.
- En algunos países las normas se han clasificado en primarias y secundarias, mientras que en otros se han clasificado de acuerdo con otros parámetros como, por ejemplo, la región en la cual se deben cumplir.

### *Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro e inodoro en concentraciones bajas y de olor acre en concentraciones altas. Es producido por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre como el carbón y el petróleo y por varios procesos industriales, como la fundición de metales no ferrosos, la producción de ácido sulfúrico y la conversión de pulpa en papel.

Cuando el SO<sub>2</sub> y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera, se forma el trióxido de azufre, el cual se combina con agua para formar ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (MP<sub>10</sub>) y 2,5 micrómetros (MP<sub>2,5</sub>).

La exposición a SO<sub>2</sub> puede disminuir la función pulmonar, agravar enfermedades respiratorias preexistentes (especialmente bronquitis) y reducir la habilidad de los pulmones para liberar partículas extrañas. También puede contribuir al incremento de la mortalidad, especialmente si las concentraciones de MP también son elevadas. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO<sub>2</sub>. También es probable que los adultos mayores y niños sean sensibles a los efectos del SO<sub>2</sub>. La exposición de corto plazo a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> puede irritar el tracto respiratorio y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. El cuadro 1 presenta los valores guía para SO<sub>2</sub> recomendados por la OMS. Además, indica los niveles de SO<sub>2</sub> por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición. Los factores de incertidumbre se aplican debido al conocimiento incompleto sobre los agentes causantes y sus efectos. Estos factores permiten disminuir el riesgo del efecto provocado por un contaminante.

**Cuadro 1 - Valores guía para SO<sub>2</sub> recomendados por la OMS**

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Factor de incertidumbre	Valor guía ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo promedio de exposición
Cambios en la función pulmonar de los asmáticos	1000	2	500	10 minutos
Exacerbación de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	250	2	125	24 horas
	100	2	50	1 año

El cuadro 2 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempo promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida para las normas de SO<sub>2</sub> en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

**Cuadro 2 - Valores límite para la protección de la salud pública para las normas de SO<sub>2</sub> en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea**

País	Valor límite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>1</sup>	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Argentina	2620 <sup>2</sup>	1 hora	Ninguna
	780 <sup>2</sup>	8 horas	
	70 <sup>3</sup>	1 mes	
Belice <sup>4,5</sup>	30 (I), 80 (II), 120 (III)		Ninguna
Bolivia	365	24 horas	Ninguna
	80 <sup>6</sup>	1 año	
Brasil	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Chile	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Colombia	1500	3 horas	Solo una vez por año
	400	24 horas	
	100 <sup>6</sup>	1 año	
Costa Rica	1500	3 horas	Solo una vez por año
	365	24 horas	
	80 <sup>6</sup>	1 año	
Cuba	500	20 minutos	Ninguna
	50	24 horas	
Ecuador	1500	3 horas	Solo una vez por año
	400	24 horas	
	80 <sup>6</sup>	1 año	
México	341	24 horas	Solo una vez por año
	79 <sup>6</sup>	1 año	
Venezuela	80 – 365	24 horas	El valor 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 50% de las mediciones, el valor 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 5% de las mediciones, el valor 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 2% de las mediciones y el valor 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 0,5% de las mediciones por año

País	Valor límite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>1</sup>	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Canadá <sup>7</sup>	450 (deseable) 900 (aceptable)	1 hora	
	150 (deseable) 300 (aceptable) 800 (tolerable)	24 horas	
	30 <sup>6</sup> (deseable) 60 <sup>6</sup> (aceptable)	1 año	
China <sup>4</sup>	150 (I), 500 (II), 700 (III)	1 hora	Ninguna
	50 (I), 150 (II), 250 (III)	24 horas	
	20 (I), 60 (II), 100 (III) <sup>6</sup>	1 año	
Estados Unidos	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Japón	260	1 hora	Ninguna
	110	24 horas	
Unión Europea	350	1 hora	No más de 24 ocasiones por año
	125	24 horas	No más de 3 ocasiones por año
	20	1 año e invierno (del 1/10 al 31/3)	Ninguna

- Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
- Los valores de la norma son aproximados: 1ppm (1 hora) y 0,3 ppm (8 horas).
- Promedio aritmético mensual.
- (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
- El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
- Promedio aritmético anual.
- El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.

Los países han establecido métodos de referencia manuales y automáticos para el muestreo y análisis de SO<sub>2</sub>. El método de referencia de la Unión Europea es el automático basado en fluorescencia ultravioleta, mientras que el método de referencia establecido en las normas de Ecuador es el método manual basado en colorimetría con una muestra tomada en pararosanilina en forma continua durante 24 horas, al menos cada tres días. Para mayores detalles sobre los métodos de referencia, véanse los documentos de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Véase también: <http://www.iso.ch/cate/1304020.html> y los documentos sobre contaminantes criterio tradicionales de la EPA, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/so2.html>.

Varios países han establecido umbrales de alerta para el SO<sub>2</sub> en sus normas. Cuando las concentraciones de SO<sub>2</sub> los sobrepasan, se toman medidas inmediatas para reducir las emisiones y prevenir a la población. Por ejemplo, la Unión Europea ha establecido el umbral de alerta en 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registrados durante tres horas consecutivas. Otros países han establecido varios umbrales de alerta por encima de los cuales se toman medidas cada vez más estrictas. En la norma de Brasil son: 800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (atención), 1.600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (alerta) y



**“Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire SO<sub>2</sub>”**

FECHA: Miércoles 8 de abril de 2015 de 11:00 a 13:00 hrs.

LUGAR: San Martín N° 73, Ministerio del Medio Ambiente.

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	MAIL	FONO	FIRMA
1	PEDRO SANTO C.	COCHILCO	PSANTO@COCHILCO.CL	223828268	
2	Paola Selgado P.	MITT	pselgado@mit.gov.cl	224213413	
3	Siomara Gómez A.	Seremi VALPO.	siomara.gomez@mma.gov.cl	2517261	
4	Ana Soto VE.	Seremi Antofagasta	asoto.2@mma.gov.cl	2533814	
5	Alejo Aguilar M.	MMA	DAQUIVA2@MMA.GOV.CL	8742355	
6	CORDADO RAVAJAL	"	cravajal@mma.gov.cl	84187793	
7	Candace Gómez A	Min Energía	CGMZ@minenergia.cl	23656876	
8	Hermann Balde S.	Seremi Energía	HBAUDE@minenergia.cl	23656642	
9	Piusillo Wilson	MMA	wilson@mma.gov.cl	25735787	
10	Cristián Herrera	MMA			
11	Jorge Hobano A	MMA	inhobano@mma.gov.cl		
12					
13					
14					
15					
16					
17					





### Acta: Reunión Comité Operativo Norma Primaria de Calidad del Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Fecha de reunión: 08-04-2015	Hora: 11:00 a 13:00	Lugar: Ministerio del Medio Ambiente. San Martín 73, piso 3, Santiago.
---------------------------------	------------------------	---

#### 1. Asistentes del Comité operativo

N°	Nombre	Institución
1	Pedro Santic C.	COCHILCO/ Ministerio de Minería
2	Pablo Salgado P.	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
3	Carolina Gómez A.	Ministerio de Energía
4	Pamela Arellano	Ministerio de Economía
5	Siomara Gómez A.	Ministerio de Medio Ambiente - Región de Valparaíso
6	Ana Soto E.	Ministerio de Medio Ambiente - Región de Antofagasta
7	Artemio Aguilar	Ministerio de Medio Ambiente
8	Conrado Ravanal	Ministerio de Medio Ambiente
9	Priscilla Ujloa M.	Ministerio de Medio Ambiente
10	Francisco Donoso G.	Ministerio de Medio Ambiente
11	Cristián Ibarra F.	Coordinador revisión de norma, Ministerio de Medio Ambiente
12	Carmen Gloria Contreras	Jefa Departamento de Normas, Ministerio de Medio Ambiente

#### Justificación de inasistencia:

- Walter Folch del Ministerio de Salud, justificó su inasistencia por actividades simultáneas relacionadas con la alerta sanitaria de la Región de Atacama. Cabe destacar, que entregó con anterioridad opinión sectorial respecto al criterio de excedencia de la norma de 1 hora.

#### Visitas a la reunión:

- Hermann Balde A., Ministerio de Energía - Región de Valparaíso
- Ivonne Moreno A., Ministerio de Medio Ambiente

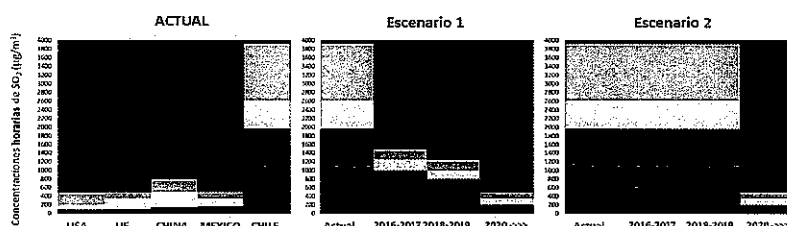
#### 2. Objetivo de la reunión

Con objeto de publicar el anteproyecto durante los plazos formales y en el término de la presente etapa, se requiere contar con la opinión de los integrantes del Comité Operativo respecto al borrador enviado al comité el 7 de abril de 2015, en particular de los Títulos II y Título III, que contienen: las normas primarias de SO<sub>2</sub> anual, de 24 horas y de 1 hora y los niveles de emergencia que originan episodios críticos para la norma de SO<sub>2</sub>.

#### 3. Desarrollo

Se adjunta presentación que complementa el desarrollo de la reunión.

##### 3.1 Opinión del Comité Respecto al Título III sobre niveles de emergencia que originan episodios de SO<sub>2</sub>



000645

VTA

Departamento de Normas  
División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente

Actualmente, los niveles vigentes de emergencia ambiental son tan tolerantes que no se alcanzan a registrar episodios de SO<sub>2</sub>, lo que conlleva a no materializar oportunamente una gestión frente a episodios.

#### Escenario 1. Propuesta escalonada de Niveles de Emergencia Ambiental para SO<sub>2</sub>

NIVEL DE EMERGENCIA AMBIENTAL	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	Desde la entrada en vigencia del decreto hasta el 31 de diciembre del 2017	Desde el 1° enero del 2018 hasta el 31 de diciembre del 2019	Desde el 1° enero del 2020 en adelante
	Concentración de 1 hora de dióxido de azufre en ppbv		
Alerta	382 - 477	306 - 381	76 - 133
Preemergencia	478 - 572	382 - 477	134 - 190
Emergencia	573 o superior	478 o superior	191 o superior

#### Escenario 2. Propuesta sin modificación de Niveles de Emergencia Ambiental para SO<sub>2</sub>

NIVEL DE EMERGENCIA AMBIENTAL	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN	
	Desde la entrada en vigencia del decreto hasta el 31 de diciembre del 2019, mantiene valores de emergencia del D.S. 113	Desde el 1° enero del 2020 en adelante
	Concentración de 1 hora de dióxido de azufre en ppbv	
Alerta	750 - 999	76 - 133
Preemergencia	1000 - 1499	134 - 190
Emergencia	1500 o superior	191 o superior

- El representante de COCHILCO y del Ministerio de Minería está de acuerdo con la meta del año 2020, pero argumenta que se alcance la meta con el escenario 2, dado que el escenario 1 no incluye un período de aprendizaje de adaptación respecto a la operación que deben internalizar las fundiciones Ventanas y Hernán Videla Lira (para cumplir con la norma de emisión de fundiciones de cobre), y generar los efectos que se esperan de los distintos instrumentos de gestión ambiental que aplican a la fuente.
- La representante del Ministerio de Economía está de acuerdo con la meta del año 2020 y escenario 1, pero confirmará esta opinión con su jefatura.
- El representante del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones está de acuerdo con la meta del año 2020 y escenario 1, debido a que los actuales valores de los niveles de emergencia son muy tolerantes.
- La representante del Ministerio de Energía está de acuerdo con la meta del año 2020 y escenario 1, debido a que la implementación de la norma de emisión de centrales termoeléctricas estará plenamente activa el año 2016.

Los coordinadores del Ministerio del Medio Ambiente, proponen la meta del año 2020 y el escenario 1, argumentando que:

- El escenario 1 asegura la coordinación con los plazos de implementación para dar cumplimiento a exigencias contenidas en otros instrumentos de gestión ambiental, tales como la norma de emisión para fundiciones y la norma de emisión para termoeléctricas.
- El escenario 1, minimiza los costos políticos, debido a que al contar con una opción escalonada, la institucionalidad ambiental, se hace cargo principalmente de: i) Gestionar acciones que minimicen la exposición al SO<sub>2</sub> de los grupos más vulnerables, ii) Se propone una actualización escalonada acorde a los

criterios usados para revisar la norma de calidad que corresponden a qué tan eficiente y efectiva ha sido en su implementación; iii) Se logra mayor coordinación e integración con otros organismos vinculados a la gestión de emergencias (como el Ministerio de Salud y los Municipios); y iv) Se prepara a la industria para que adapte su operación escalonadamente a la meta que se propone.

### 3.2 Opinión del Comité respecto al Título II de las normas primarias de SO<sub>2</sub> anual, de 24 horas y de 1 hora

Considerando los antecedentes y criterios para revisar la norma de SO<sub>2</sub>, todos los representantes del Comité Operativo manifiestan estar de acuerdo con los argumentos que sustentan los valores de los estándares propuestos en el anteproyecto, que corresponden a:

- 60 µg/m<sup>3</sup> para la norma de SO<sub>2</sub> anual
- 150 µg/m<sup>3</sup> para la norma de SO<sub>2</sub> de 24 horas
- 500 µg/m<sup>3</sup> para norma de SO<sub>2</sub> de 1 hora

Respecto a la revisión de los criterios de excedencia de las normas anual y de 24 horas, los representantes de COCHILCO, Ministerio de Minería, Ministerio de Salud, Ministerio de Transporte, Ministerio de Economía, Ministerio de Energía y Medio Ambiente, manifiestan estar de acuerdo con la propuesta.

Respecto a los criterios de excedencia de la norma de 1 hora, se plantean las siguientes reflexiones:

- i. El representante del Ministerio de Salud plantea las siguientes preguntas: ¿Por qué a una norma horaria se le aplicaría un criterio de un efecto crónico?. ¿Por qué esperar tres años para confirmar que no se cumple una norma horaria?.
- ii. El representante del Ministerio de Salud plantea que el sentido de usar promedios de tres años es porque se tienen menos datos (365), pero para una norma horaria se cuenta con 24 veces más datos (365 días \* 24 horas).
- iii. El representante del Ministerio de Salud señala que usar el promedio de tres años es un criterio que usa el Estado, con el fin de tomar una decisión con un buen nivel de confianza respecto a gatillar un proceso de declaración de saturación de una zona y posteriormente elaborar un plan. El nivel de confianza se vincula principalmente con la gestión asociada al control y aseguramiento de calidad de las mediciones; y a proceder, posteriormente, a elaborar un plan.
- iv. El representante de COCHILCO opina que el criterio de excedencia debe recoger las condiciones geográficas y meteorológicas que influyen localmente en la variabilidad de las concentraciones de SO<sub>2</sub> medidas en las estaciones de monitoreo, que se explica principalmente al comportamiento de los vientos.

Expuestos los argumentos anteriores, se resuelve que el Sr. Cristián Ibarra enviará una minuta que explicará los pros y contras de los criterios de excedencia de la norma de 1 hora, a los integrantes del Comité Operativo. El Comité está de acuerdo en emitir su opinión por e-mail y estima innecesario volver a reunirse en esta etapa de elaboración de anteproyecto.

Por último, se envió al Comité Operativo un borrador del anteproyecto de la norma primaria de SO<sub>2</sub>, por correo electrónico, el día martes 7 de abril del presente año, el plazo para recibir observaciones finaliza el día martes 14 de abril del 2015.

Se entiende que con esta reunión se han zanjado los temas más relevantes de la revisión de la norma, quedando pendiente la revisión del criterio de excedencia de la norma de 1 hora.

CGCF/PUM/CIF...

1000000

1000000

1000000

Reunión Comité Operativo  
**REVISION DE LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DE AIRE  
 PARA DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)  
 D.S. N° 113 del MINSEGPRES**

**Objetivo**

Generar un espacio donde los integrantes del Comité Operativo entreguen una opinión técnica, sobre:

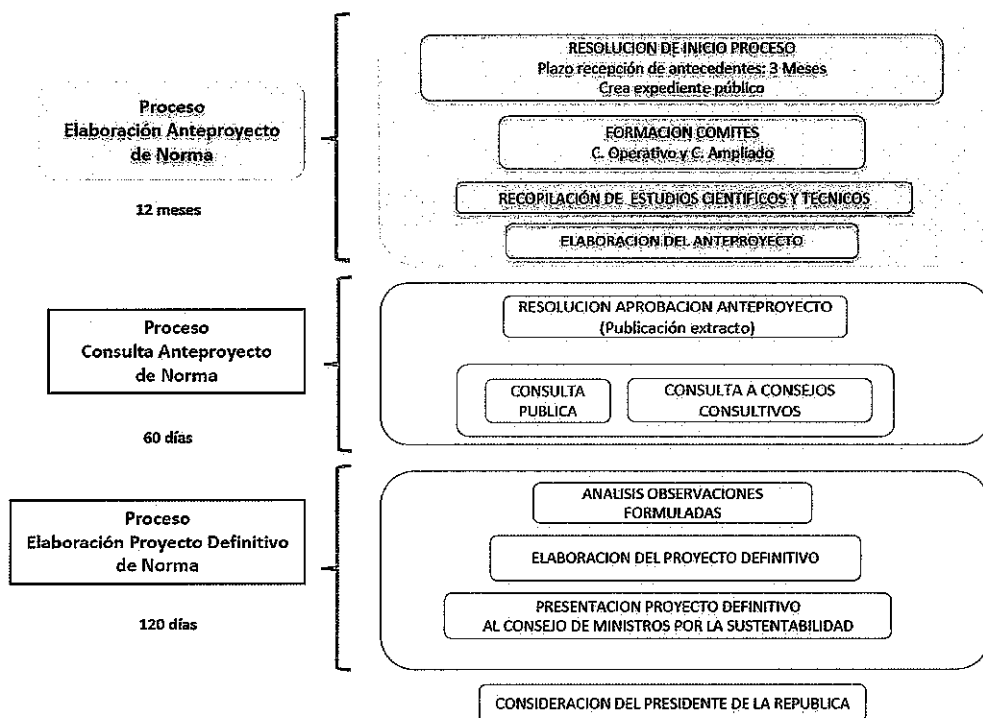
- Los niveles de emergencia para la norma de SO<sub>2</sub>
- Las normas primarias horaria, de 24 horas y anual de SO<sub>2</sub>

Con objeto de publicar el anteproyecto e iniciar la consulta pública a fines de abril. Fecha en que vence el plazo para elaborar el anteproyecto (30.04.2015).

8 de abril, 2015

**Reglamento para la  
 Dictación de Normas de Calidad y de Emisión**

D.S. N° 38/12 MMA



000647

v7A.

## Integrantes del Comité Operativo Revisión Norma de Calidad Primaria de SO<sub>2</sub>

### Comité Operativo

- María de la Luz Vásquez, Ministerio Minería
- Pedro Santic Contreras, COCHILCO
- Walter Folch, Ministerio Salud
- Carolina Gómez, Ministerio Energía
- Pamela Arellano, Ministerio de Economía
- Pablo Salgado, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

### Integrantes del Ministerio del Medio Ambiente

- Sebastián Tolvett
- Carmen Gloria Contreras
- Priscilla Ulloa
- Cristián Ibarra
- Jenny Tapia
- Elizabeth Suarez
- Siomara Gómez
- Cinthia Arellano
- Conrado Ravanal
- Artemio Aguilar
- Francisco Donoso
- Nicolás Trivelli

## 1. Niveles de emergencia para la norma de SO<sub>2</sub>

## Niveles de emergencia

La ley 19.300 establece que las normas primarias ***“definirán los niveles que originan situaciones de emergencias”***.

Sin establecer ninguna definición ni característica para ellos (artículo 32).

5

## Modelos para informar a la población sobre la calidad del aire

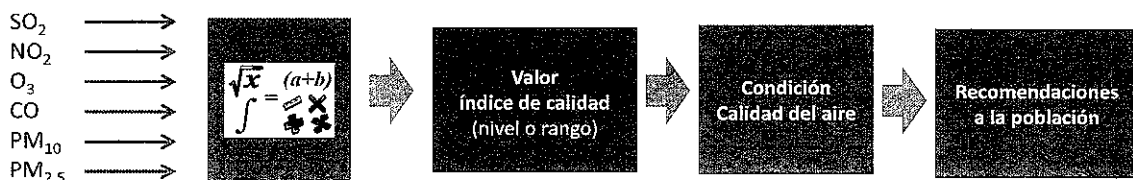
### Índice de calidad del aire

**Objetivo** Minimizar la exposición de las personas en episodios de contaminación.

**¿Cómo?** Informando al público sobre el ***estado de la calidad del aire*** de una manera sencilla y de fácil entendimiento.

A través de la definición de niveles que se establecen por formulas de calculo a partir de las concentraciones de los contaminantes.

Concentraciones  
(ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )



6

000648

VIA

## Algunos índices de calidad reportados en el mundo

Índice	Representa	País donde se implementa
AQI	Air Quality Index	Estados Unidos, Tailandia, Abu Dabi, China
API	Air Pollution Index	Hong Kong, China, Malasia
AQHI	Air Quality and Health Index	Canadá
CAQI	Common Air Quality Index	Unión Europea
DAQI	Daily Air Quality Index	Reino Unido
PSI	Pollution Standard Index	Singapur
CAI	Community Air Quality Index	Corea del Sur

Fuente: Clean Air Asia, 2013

En la practica todos los modelos persiguen el mismo objetivo

7

## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### Estados Unidos



- AQI (Air Quality Index, Índice de Calidad del Aire) (<http://www.airnow.gov/>)

Estados Unidos utiliza un algoritmo que determina la condición de calidad del aire: bueno, moderado, insalubre para grupos vulnerables e insalubre a partir de las **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Cuándo AQI esta en este rango:	Caracterizado por el color:	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub>	
			ppb	µg/m <sup>3</sup> N
0 - 50	Verde	Buena	0 - 35	0 - 92 (1h)
51 - 100	Amarillo	Moderado	36 - 75	94 - 197 (1h)
101 - 150	Naranja	Insalubre para grupos sensibles	76 - 185	199 - 484 (1h)
151 - 200	Rojo	Insalubre	186 - 304	487 - 795 (1h)
201 - 300	Purpura	Muy insalubre	305 - 604	798 - 1.580 (24h)
301 - 500	Marrón	Peligroso	605 - 1.004	1.582 - 2.626 (24h)

Nota: (1h) se usan concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

(24h) se usan concentraciones de 24 horas de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

8



## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### AQI Calculator: Concentration to AQI



Select a criteria pollutant and enter the pollutant concentration in the specified units above; the Air Quality Index and associated information are calculated below.

Select a Pollutant  
SO<sub>2</sub> - Sulfur Dioxide (1hr avg)

Units Required: ppb

Enter the Concentration: 190

AQI: 153      AQI Category:                     

Sensitive Groups	Health Effects Statements	Cautionary Statements
People with asthma are the group most at risk.	Increased respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing in people with asthma; possible aggravation of heart or lung disease.	Children, asthmatics, and people with heart or lung disease should limit outdoor exertion.

Los niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares deben limitar los esfuerzos al aire libre.

Aumento de los síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y sibilancias en personas con asma; posible agravamiento de la enfermedad cardíaca o pulmonar.

Fuente: [http://www.airnow.gov/index.cfm?action=resources.conc\\_aqi\\_calc](http://www.airnow.gov/index.cfm?action=resources.conc_aqi_calc)

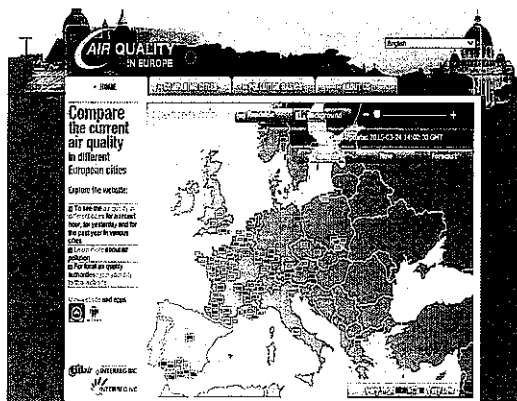
## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### Unión Europea



- CAQI (Common Air Quality Index) (<http://www.airqualitynow.eu/>)

CAQI está diseñado para presentar y comparar la calidad del aire en tiempo casi real. CAQI tiene 5 niveles, usando una escala desde 0 (muy bajo) a > 100 (muy alto). CAQI utiliza **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Cuándo CAQI está en este rango:	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> N
25 - 50	Bajo	51 - 100
50 - 75	Medio	101 - 350
75 - 100	Alto	351 - 500
> 100	Muy Alto	> 500

000649

VTA.

## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### México



- IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire) (<http://www.aire.df.gob.mx/default.php>)

México utiliza **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para estimar el Índice Metropolitano de Calidad del Aire.



Cuándo IMECA esta en este rango:

Condición de calidad del aire:

Concentraciones SO<sub>2</sub>  
ppm      µg/m<sup>3</sup>N

Efectos a la salud

0 - 50	Buena	0 - 0,065	0 - 170	Advertida para llevar a cabo actividades del aire libre
51 - 100	Regular	0,066 - 0,130	171 - 340	Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades
101 - 150	Mala	0,131 - 0,195	341 - 510	Causante de efectos adversos a la salud de la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma
151 - 200	Muy mala	0,196 - 0,260	511 - 680	Causante de mayores efectos adversos a la salud de la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma
> 200	Extremadamente mala	> 0,260	> 680	Causante de efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.

11

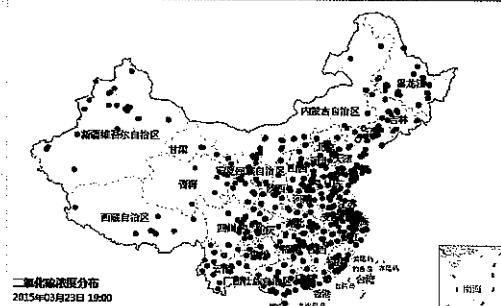
## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### China



- API (Air Pollution Index)
- AQI (Air Quality Index)

En el 2011 China comienza a utilizar AQI en vez de API, ambos indicadores se estiman a partir de las **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Condición de calidad del aire:		Rango del índice	Concentraciones SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> N
API (desde 2000)	AQI (desde 2011)		
Excelente	Excelente	0 - 50	0 - 150 (1h)
Buena	Buena	51 - 100	151 - 500 (1h)
Muy ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado	101 - 150	501 - 650 (1h)
Ligeramente contaminado	Moderadamente contaminado	151 - 200	651 - 800 (1h)
Moderadamente contaminado	Altamente contaminado	201 - 300	801 - 1.600 (24h)
Altamente contaminado	Severamente contaminado	> 300	> 1.600 (24h)

<http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>

Nota: (1h) se usan concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

(24h) se usan concentraciones de 24 horas de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

# Niveles de Emergencia de Chile para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

## Chile

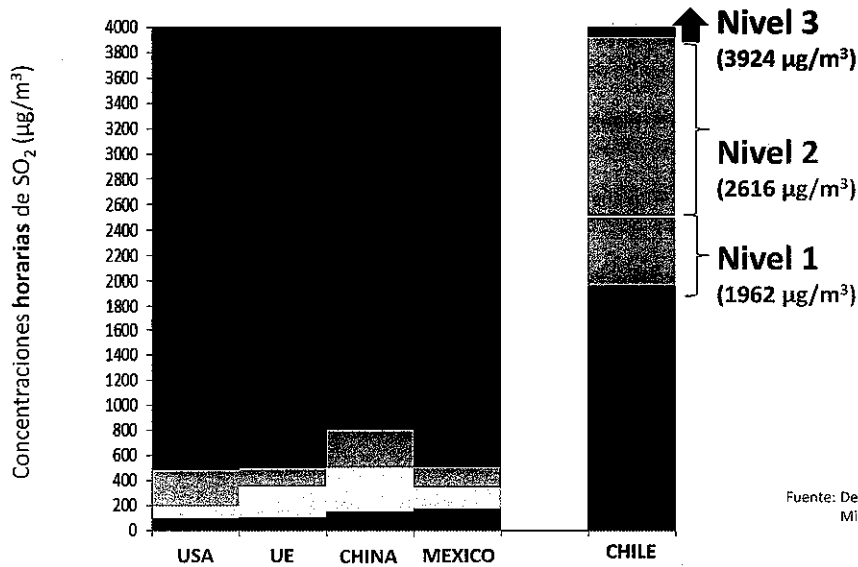


- Chile establece 3 niveles de emergencia a partir de **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

(DS185/1992; DS113/2003; <http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=>)

Nivel	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub>		Medidas de precaución
		ppbv	µg/m <sup>3</sup> N	
Nivel 1	Alerta	750 – 999	1.962 – 2.615	Ancianos y personas con enfermedades cardíacas y respiratorias deberán permanecer en sus casas. En ellas se deberán cerrar puertas y ventanas.
Nivel 2	Advertencia	1.000 – 1.499	2.616 – 3.925	Adicionalmente a lo anterior los escolares deberán suspender las clases de gimnasia y las actividades en el exterior.
Nivel 3	Emergencia	> 1.500	> 3.924	Adicionalmente a lo anterior, <b>todas las personas</b> deben permanecer en sus casas minimizando las actividades físicas, desplazándose sólo para concurrir a su trabajo o por razones de fuerza mayor.

## Comparación entre modelos de distintos países con Chile



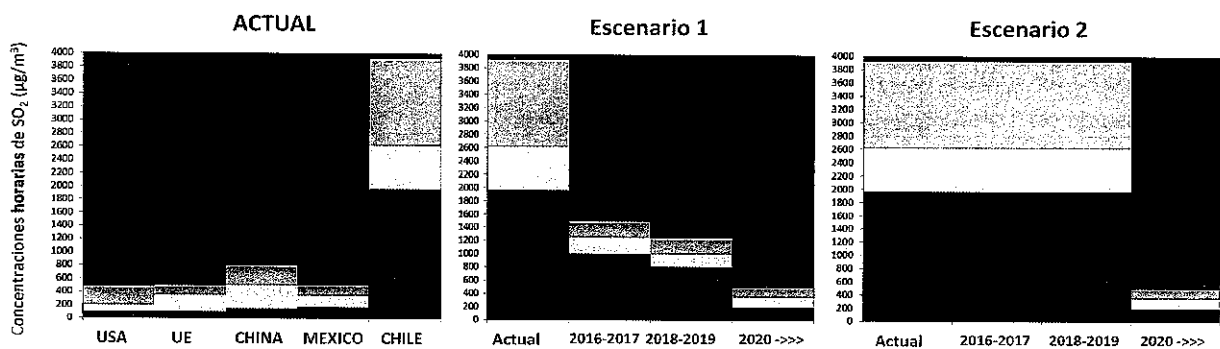
Fuente: Departamento de Normas  
Ministerio del Medio Ambiente

Moderado	Nivel aceptable, de cuidado para grupos vulnerables.
Insalubre población sensible	Nivel crítico para grupos vulnerables, produce irritaciones y efectos de salud en los grupos sensibles.
Insalubre	Nivel muy crítico para grupos vulnerables, repercusiones nocivas en miembros de grupos de riesgo (niños, de edad avanzada o personas débiles), también causa molestias desagradables en el público en general.
Muy insalubre	Nivel que puede tener un grave impacto en miembros de grupos de riesgo en caso de exposición aguda.
Peligroso	Nivel que puede tener efectos nocivos sobre la población en general.

000650

VTA.

## Opciones de Niveles de Emergencia



- Ambos escenarios tienen la misma meta al 2020
- Escenario 1 es escalonado hasta el 2020
- Escenario 2 mantiene estado actual al 2020

Fuente: Departamento de Normas División de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente

15

## ¿Ventajas y desventajas de cada opción?

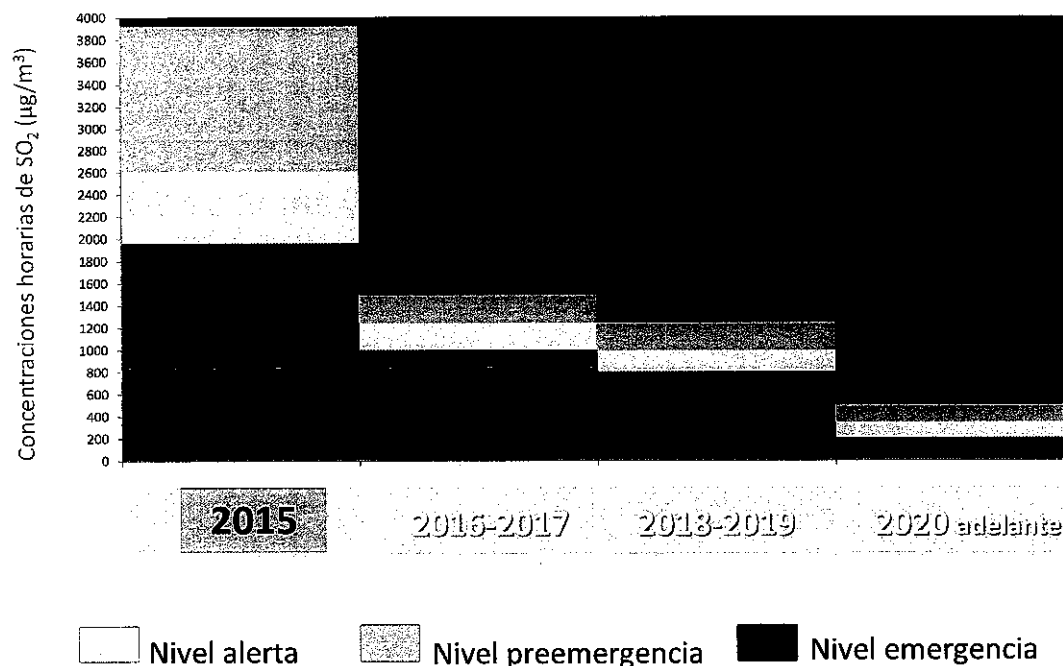
- No se puede distinguir por territorio dentro del país en una norma de calidad primaria.
- Los episodios en la zona de Ventanas se redujeron significativamente desde el año 2003. Por ejemplo, en los años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 se registro 1 episodio para cada año y el último episodio registrado ocurrió en mayo del 2013.
- Hoy en día, se están implementando los planes de inversión de las fundiciones de cobre y de las centrales termoeléctricas, con lo cual se espera que se reduzcan las emisiones de SO<sub>2</sub>, las concentraciones de SO<sub>2</sub> en el aire y la probabilidad de episodios de SO<sub>2</sub>.
- Ambos escenarios (E1 y E2) buscan reducir la exposición de las personas al SO<sub>2</sub> para el año 2020.
- A la fecha la gestión de episodios de SO<sub>2</sub> no ha significado la paralización de alguna de las fundiciones de cobre, pero si una merma en la producción. Tanto E1 como E2 mantendrían esta condición.
- E2 mantiene lo vigente hasta el 2020. Por lo tanto, no responde al objetivo de un proceso de revisión y actualización de una norma primaria de calidad del aire.
- E2 conlleva altos costos políticos.
- E1 incluye acercarse a la meta en forma escalonada. Es un escenario coherente con los instrumentos de gestión ambiental que se implementan a la fecha.
- E1 incorpora en su escalonamiento los plazos o la adaptación de los planes de inversión de las termoeléctricas y las fundiciones.

Técnicamente hay convergencia en lograr la meta al 2020.

La diferencia podría presentarse en la discusión de la forma de alcanzar la meta, considerando que es una política pública, principalmente entre los Ministerios de Salud, Minería y Medio Ambiente.

16

## Niveles de Emergencia a incorporar en el anteproyecto



17

**Artículo 6°.** Se definen los niveles que originarán situaciones de emergencia ambiental de dióxido de azufre, expresados en concentración de una hora y sus plazos de implementación de acuerdo a la siguiente tabla:

NIVEL DE EMERGENCIA AMBIENTAL	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	Desde la entrada en vigencia del decreto hasta el 31 de diciembre del 2017	Desde el 1° enero del 2018 hasta el 31 de diciembre del 2019	Desde el 1° enero del 2020 en adelante
	Concentración de 1 hora de dióxido de azufre en ppbv		
<b>Alerta</b>	382 - 477	306 - 381	76 - 133
<b>Preemergencia</b>	478 - 572	382 - 477	134 - 190
<b>Emergencia</b>	573 o superior	478 o superior	191 o superior

18

000651

VTA

## 2. Normas primarias horaria, de 24 horas y anual de SO<sub>2</sub>

19

### Evolución de la norma de SO<sub>2</sub> en Chile

	1978	1992	2003	2015
<b>Estándar µg/m<sup>3</sup></b>	Resolución Nº1.215 Ministerio de Salud	Decreto Supremo Nº185 Ministerio de Minería	Decreto Supremo Nº113 MINSEGPRES	<b>Anteproyecto</b>
<b>Anual</b>	80	Se mantiene	Se mantiene	↓ 60
<b>24 horas</b>	365	365	↓ 250	↓ 150
<b>1 hora</b>	No se estableció	No se estableció	No se estableció	500
<b>Niveles de Emergencia</b>	No se estableció	Alerta: 1.962-2.615 Advertencia: 2.616-3.923 Emergencia: ≥ 3.924	Se mantiene	Se actualizan

20

## Normas primarias de SO<sub>2</sub> del anteproyecto

Norma	Valor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Criterio de excedencia
Anual	↓ 60	Promedio aritmético de tres años de las concentraciones anuales o concentración anual $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
24 horas	↓ 150	Promedio aritmético de tres años del percentil 99,7 o el percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$
1 hora	500	Promedio aritmético de tres años del percentil 99,73 o el percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora $\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

21

## Láminas de apoyo

22

000652

VTA

### Comparación norma 24 horas de SO<sub>2</sub> y criterios de excedencia

Organismo/País	Norma 24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Criterio Excedencia	Días que se permiten sobre la norma en 1 año
Organización Mundial de Salud (OMS)	20	No se indica, pues cada país define sus criterios	No tiene
Estados Unidos (primaria)	No tiene	No tiene	No tiene
Comunidad Europea (primaria)	125	No más de 3 veces al año	3
China	150	(1) En consulta	(1) En consulta
México	288	No superar más de 1 vez al año	1
Chile primaria actual	250	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99	4
Chile secundaria zona sur	260	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99,7	1

Chile primaria propuesto 1	150	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99,7	1
propuesto 2	150	Percentil 99,7 de un año	1
propuesto 3	150	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99	4
propuesto 4	150	Percentil 99 de un año	4

(1) Se esta consultando en la embajada de China

23

### Comparación norma horaria de SO<sub>2</sub> y criterios de excedencia

Organismo/País	Norma Horaria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para 10 minutos	Criterio Excedencia	Horas que se permiten sobre la norma en 1 año
Organización Mundial de Salud (OMS)	500	No se indica, pues cada país define sus criterios	No tiene
Estados Unidos (primaria)	197	Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora máxima registrada cada día para 3 años consecutivos	4
Comunidad Europea (primaria)	350	No más de 24 veces al año	24
China	500	(1) En consulta	(1) En consulta
México	524	No superar más de 2 veces al año	2
Chile primaria actual	No tiene	No tiene	No tiene
Chile secundaria zona sur	700	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99,73	24

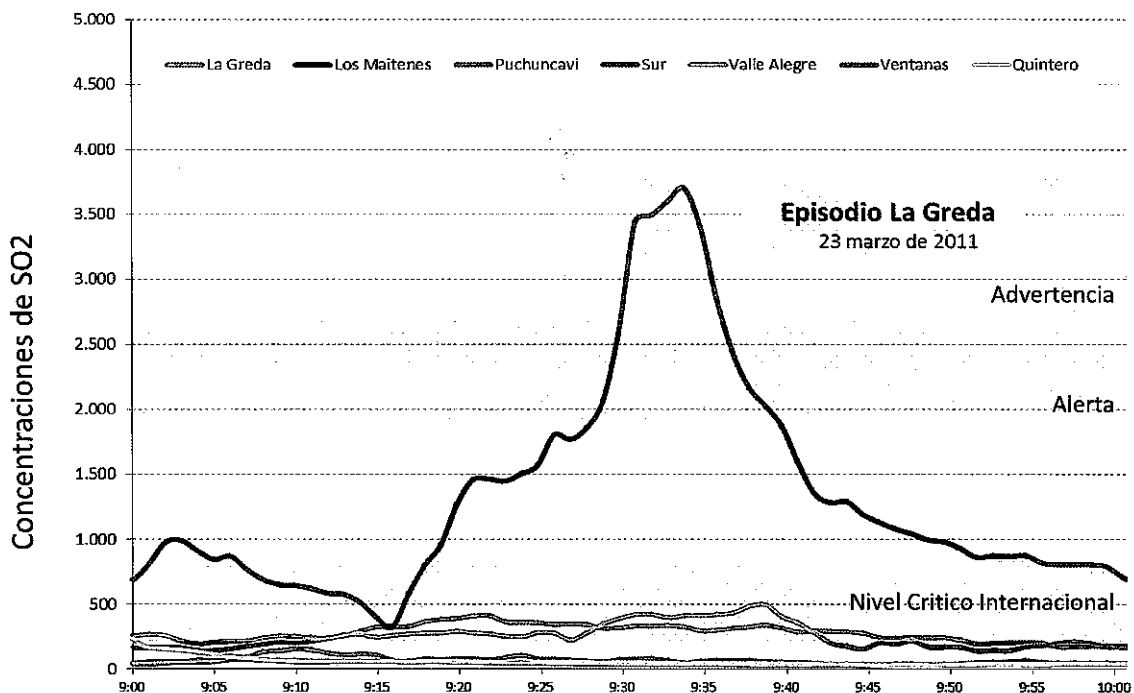
Chile primaria propuesto 1	500	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99,73	24
propuesto 2	500	Percentil 99,73 de un año	24
propuesto 3	500	Promedio aritmético de tres años del Percentil 99	88
propuesto 4	500	Percentil 99 de un año	88

(1) Se esta consultando en la embajada de China

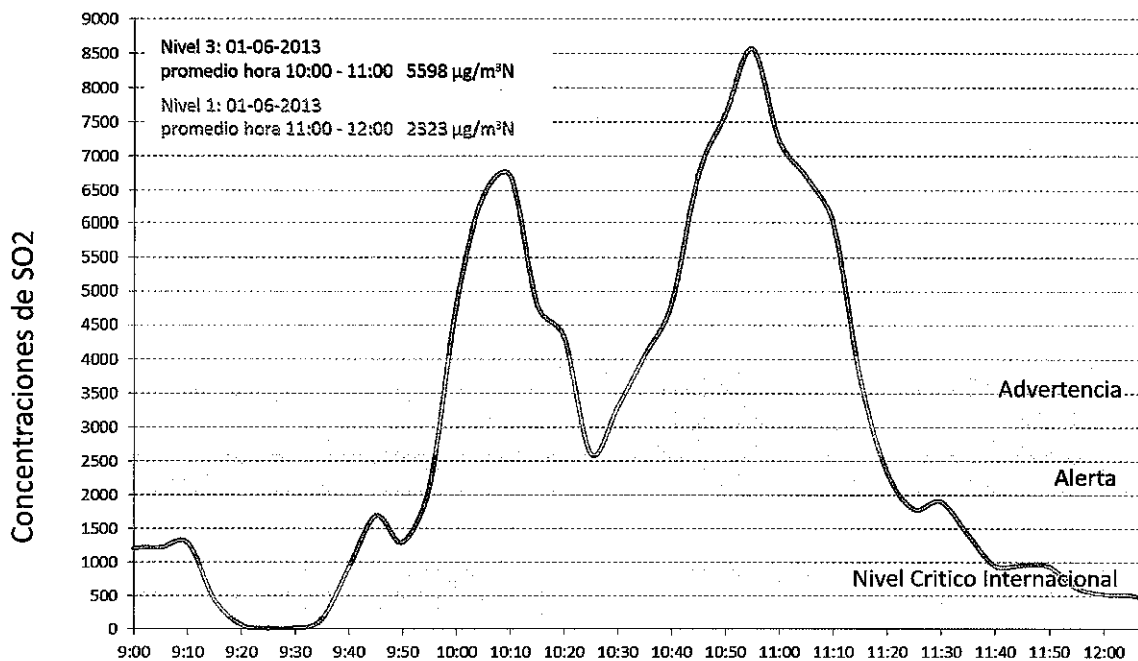
24



# Episodio de SO<sub>2</sub>, 23 de marzo de 2011



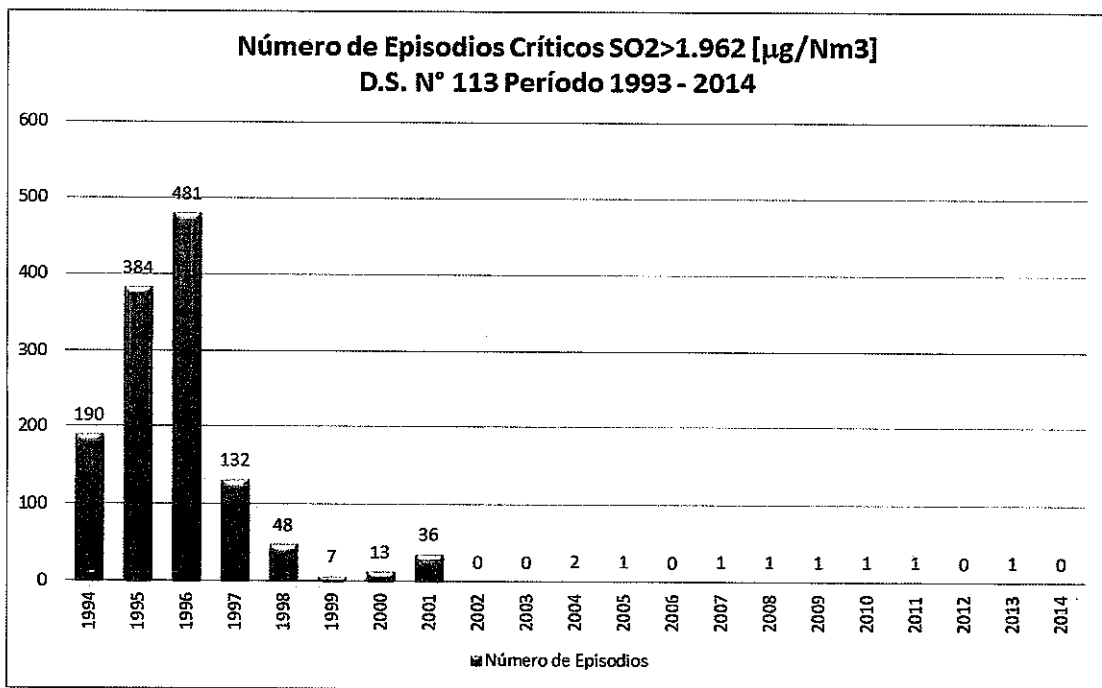
# Episodio de SO<sub>2</sub> Copiapó - Tierra Amarilla, año 2013



000653

VTA.

### Indicadores Ambientales – Episodios Críticos



Nota: Información proporcionada por CODELCO-Ventanas en reunión realizada el 13 de enero del 2015.

**Minuta: Criterios de excedencia para norma de 1 hora**  
**Revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**  
**(D.S. N°113/2003 MINSEGPRES)**

Este documento se envía a los integrantes del Comité Operativo de la revisión de la norma primaria de calidad para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para explicar las ventajas y desventajas de las propuestas de criterio de excedencia para la norma de 1 hora de dióxido de azufre.

Los integrantes del Comité Operativo enviarán su opinión por mail a los representantes del Ministerio del Medio Ambiente.

**1. Antecedentes**

Antecedentes Nacionales:

En Chile, hasta el momento no existe una norma primaria de 1 hora para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), pero si existe una norma secundaria de 1 hora para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), adicionalmente existe una norma primaria de 1 hora para dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y para monóxido de carbono (CO).

- La **norma secundaria de dióxido de azufre** (Decreto Supremo N°22/2010 del MINSEGPRES), establece en el artículo 6 que la norma secundaria para 1 hora en la zona sur del país será sobrepasada cuando el promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año sea mayor o igual a 700 µg/Nm<sup>3</sup>.
- La **norma primaria de dióxido de nitrógeno** (Decreto Supremo N°114/2003 del MINSEGPRES), establece en el artículo 4 que la norma primaria como concentración de 1 hora será sobrepasada cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario sea mayor o igual a 400 µg/Nm<sup>3</sup>.
- La **norma primaria de monóxido de carbono** (Decreto Supremo N°115/2002 del MINSEGPRES), establece en el artículo 4 que la norma primaria como concentración de 1 hora será sobrepasada cuando el promedio aritmético de tres años sucesivos, del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora registrados durante un año calendario sea mayor o igual a 30 mg/Nm<sup>3</sup>.

Antecedentes Internacionales:

- **Organización Mundial de la Salud (OMS):** no establece criterios para la superación de las normas debido a que indica que cada país debe definir sus criterios de excedencia.
- **Estados Unidos:** establece un criterio de excedencia para dióxido de azufre en concentración de 1 hora como: "El percentil 99 de las máximas concentraciones de 1 hora registradas cada día para 3 años consecutivos".
- **Comunidad Europea:** establece que no se debe superar la norma de 1 hora más de 24 veces en un año calendario.

000654

VTA.

Departamento de Normas, 14 de abril del 2015.

- **México:** establece que no se debe superar la norma de 1 hora más de 2 veces al año en un calendario.

En la tabla 1, se muestra una comparación de los distintos criterios de excedencia utilizados para la norma de 1 hora y el número de horas permitidas que pueden sobrepasar el valor norma en un año, lo anterior para distintos países y para diferentes contaminantes.

**Tabla 1: Comparación de criterios de excedencia para la norma de 1 hora.**

Organismo/País	Contaminante	Norma de 1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Criterio de excedencia	Horas que se permiten sobre la norma en 1 año
Organización Mundial de Salud (OMS)	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	500 para 10 minutos	No se indica, pues cada país define sus criterios	No tiene
Estados Unidos (primaria)	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	197	Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora máxima registrada cada día para 3 años consecutivos	4
Comunidad Europea (primaria)	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	350	No superar más de 24 veces al año	24
México	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	524	No superar más de 2 veces al año	2
Chile primaria actual	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	No tiene	No tiene	No tiene
Chile secundaria zona sur	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	700	Promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora	24
Chile primaria actual	Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	400	Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora máxima registrada cada día para 3 años consecutivos	4
Chile primaria actual	Monóxido de carbono (CO)	30.000	Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora máxima registrada cada día para 3 años consecutivos	4

## 2. Propuestas de criterio de excedencia para la norma de 1 hora de SO<sub>2</sub>

En la tabla 2, se muestran las propuestas de criterio de excedencia para la norma primaria de 1 hora de dióxido de azufre indicando sus ventajas y desventajas.

**Tabla 2: Propuestas de criterios de excedencia para la norma primaria de 1 hora de dióxido de azufre.**

Chile Propuesta Norma Primaria SO <sub>2</sub>	Norma de 1 hora (µg/Nm <sup>3</sup> )	Criterio de excedencia	Horas que se permiten sobre la norma en 1 año	Ventajas	Desventajas
<b>Propuesta 1</b>	500	Promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año	24	Permite realizar un análisis robusto de la calidad del aire debido a la cantidad de información recopilada	La norma de 1 hora se establece para proteger efectos agudos del SO <sub>2</sub> . Por lo tanto, esperar 3 años parece excesivo para comenzar a realizar acciones en la zona afectada
<b>Propuesta 2</b>	500	Percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas en un año calendario	24	Permite actuar en forma más oportuna para realizar acciones que permitan reducir las concentraciones de SO <sub>2</sub> en la zona afectada	Se corre el riesgo de iniciar un proceso de declaración de zona y posterior plan de prevención y/o descontaminación debido a un evento puntual y no por una situación permanente de la zona
<b>Propuesta 3</b>	500	Promedio aritmético de tres años calendario sucesivos de los valores del percentil 99 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año	88	Permite realizar un análisis robusto de la calidad del aire debido a la cantidad de información recopilada	Las propuestas 3 y 4 comparadas con los criterios de excedencia internacionales del SO <sub>2</sub> son más tolerantes con respecto al número de horas permitidas para superar la norma de 1 hora en un año.
<b>Propuesta 4</b>	500	Percentil 99 de un año	88	Permite actuar en forma más oportuna para realizar acciones que permitan reducir las concentraciones de SO <sub>2</sub> en la zona afectada	

Minuta elaborada por:

- Cristián Ibarra, responsable del proceso de revisión de la norma primaria de calidad SO<sub>2</sub>, del Departamento de Normas.
- Priscilla Ulloa, profesional del Departamento de Normas.
- Carmen Gloria Contreras, Jefa del Departamento de Normas.



**Seminarios**  
**Comités Ampliados Norma Primaria de Dióxido de Azufre**  
**Ministerio del Medio Ambiente – División de Calidad del Aire**  
**Departamento de Normas**

### 1. Invitación

El Ministerio del Medio Ambiente estima oportuno la realización de comités ampliados, con el objetivo de difundir a diversos grupos de interés sobre los avances, criterios y enfoque considerados para revisar la norma primaria de dióxido de azufre.

En particular, el proceso de revisión de la norma se reactivó en marzo del 2014 y como señala el artículo 7 del reglamento para la dictación de normas de calidad y de emisión (D.S. N°38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente), el Ministro puede convocar cuando estime conveniente a un comité ampliado constituido por los integrantes ajenos a la Administración del Estado.

Los antecedentes técnicos y económicos que sustentan la revisión y elaboración del anteproyecto de la norma, están disponibles en el expediente público, tanto para consultas en oficinas del Ministerio del Medio Ambiente o también para consultas en formato digital, en el link: <http://planesynormas.mma.gob.cl>

### 2. Objetivo

- Dar a conocer las etapas formales de revisión de una norma y los mecanismos para participar.
- Informar y difundir a diversos grupos de interés sobre los avances, criterios y enfoque considerados para revisar la norma primaria de dióxido de azufre.
- Generar un espacio de opinión y debate entre los grupos de interés con el fin de recoger las opiniones e inquietudes del anteproyecto de norma.

### 3. Programa (Flexible)

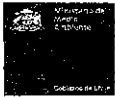
Hora	Tema
9:00 – 9:30	Inscripción
	Bienvenida y objetivos del seminario
9:30 a 9:40	<i>Palabras de bienvenida</i>
	Evidencia, enfoque y criterios de regulación a nivel internacional y nacional
9:40 a 10:10	<i>Evidencia de los efectos adversos sobre la salud del dióxido de azufre</i>
10:10 a 10:30	<i>Gestión integrada para reducir el dióxido de azufre en la atmósfera</i>
10:30 a 11:00	<i>Evolución y enfoque a nivel internacional y la propuesta para Chile de las normas de calidad primaria de dióxido de azufre</i>
11:00 a 11:15	Pausa
11:15 a 11:45	<i>Modelos para gestionar los niveles de emergencia de SO<sub>2</sub> y desafíos del modelo chileno</i>
	Evaluación económica de los escenarios propuestos
11:45 a 12:15	<i>Evaluación social y económica de los escenarios propuestos</i>
12:15-12:30	<i>Cierre del seminario</i>

000656

VTA

4. Lugares programados y/o desarrollados

Comuna	Fecha	Dirección/Observación
Copiapó	1 de abril	Suspendido indefinidamente debido a situación de catástrofe
Quintero	9 de abril del 2015	Ilustre Municipalidad de Quintero Av. Normandie N° 1916, Quintero
Santiago	23 de Abril del 2015	Auditórium CORFO Moneda N°921 - 2do piso, Santiago
Antofagasta	28 de abril del 2015	Hotel Antofagasta Balmaceda N°2575, Antofagasta



Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
del Ministerio del Medio Ambiente - División Calidad del Aire

Fecha : Jueves 9 de Abril de 2015  
Hora : 09:00 - 13:00 hrs.  
Lugar : Salón de Eventos Francisco Coloane - Calle Estrella de Chile N° 210, Quintero

N°	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
1	TANIA ZUNIGA	PTA. @KULI DDES POR EL DERECHO A LA VIDA	Puchuncaví	tanizuniga2012@gmail.com	[Firma]
2	Alfonso Ochoa	SECRETARÍA FETACON	Quintero	secFed@puquillo.com	[Firma]
3	Yolanda Janda	Comité Asesor La Boca	Quintero	yolinda.janda@hcl.cl	[Firma]
4	[Firma]	[Firma]	[Firma]	[Firma]	[Firma]
5	Carlos S. Silva	ANFO ANÁLISIS CUB	Quintero	carlos.silva@anfo.cl	[Firma]
6	P. Fernández	A.A.	Quintero	pfernandez@ard.cl	[Firma]
7	Victor Fernández	ITQ - Transparencia	Quintero	victorfernandez@itq.cl	[Firma]
N°	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
8	Franco Jeldes	DR. ESCALERA DIRECTOR DEPTO SALUD. IMB.	Quintero	francojeldes@imbc.cl	[Firma]
9	Jose Acero	SALUD. IMB.	Quintero	joseacero@imbc.cl	[Firma]
10	Concepción	I. MUNICIPALIDAD DE CONCEPCIÓN	Concepción	concepcion@concepcion.cl	[Firma]
11	ROBERTO MONMAYES F.	ASESOR BICENTAS UNIDAS	Quintero	roberto.monmayes@buc.cl	[Firma]
12	Claudia Escalera	Presidenta COSOC Nac. Minist. Energía	Quintero	claudiaescalera@gmail.com	[Firma]
13	Luz Ponce	ACCIÓN CONCIENCIA	Concepción	luz.ponce@gmail.com	[Firma]
14	[Firma]	[Firma]	Quintero	[Firma]	[Firma]
15	Evelyn Alfaro	USM	Vina del Mar	evelyn.alfaro@usm.cl	[Firma]
16	MARÍA ESCOBAR	USM	Vina del Mar	maria.escobar@usm.cl	[Firma]
17	Cherle Parronetti	COMITE DEFENSA LA GRADA	"LA GRADA"		[Firma]
N°	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
18	Alberto Guzmán	MOV. SOCIOAMBIENTAL VENTANAS	Ventanas	alberto.guzman@ventanas.cl	[Firma]
19	Roberto Palma	Univ. Valparaíso	Valparaíso	roberto.palma@uv.cl	[Firma]
20	JUAN MANRIQUE	RADIO PROPIO	OTRO	juanmanrique@gmail.com	[Firma]
21	ELIC BERTAL	LA GRADA	LA GRADA	elicbertal@gmail.com	[Firma]
22	Yolanda Uceda	J. Municipalidad Quintero	Quintero	yolanda@quintero.cl	[Firma]
23	Silvana Gomez	DUOC UC	Valpo		[Firma]
24	Alejandra Arellano	DUOC UC	Valpo	alejandraarellano@gmail.com	[Firma]
25	Franco Ravelo	DUOC UC	Valpo	franco@duoc.cl	[Firma]



000657  
VTA

25	Dagmar Gómez Palma	/	Asistente	dagmar.gomez@comuna.cl	[Firma]
27	Christian Toledo	/	Asistente	christian.toledo@comuna.cl	[Firma]
Nº	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
Nº	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
Nº	NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
48					
49					
50					
51					
52					
53					



Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
del Ministerio del Medio Ambiente - División Calidad del Aire

Fecha : Jueves 9 de Abril de 2015

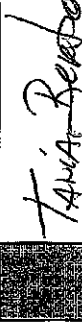
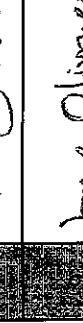

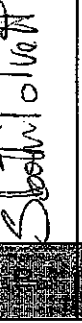

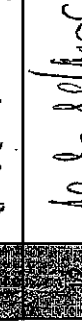

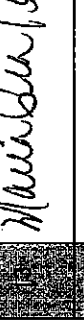
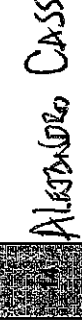
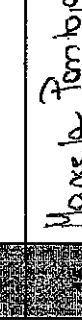
Hora : 09:00 - 13:00 hrs.

Lugar : Salón de Eventos Francisco Coloane - Calle Estrella de Chile N° 210, Quintero

NOMBRE	CARGO	DIRECCIÓN COMUNA	CONTACTO TELEFÓNICO	FIRMA
EDUCACIÓN	LA ESCUELA	LA ESCUELA	bened.eric@educ.mec.cl	
PEDRO SANTICCI	COMISIÓN CHILENA DEL CONDRE	AGUSTINAS 1161, P. 104 SANTIAGO	PSANTICCI@COULICO.CL	
Carmen Glotterant	MMA	Stgo	cgloetterant@mma.gob.cl	
José Luis Mantecón Representante Honorario de Chile Paro	Representante Honorario Chile Paro	Quintero	jose.luis.mantecón@gmail.com	
Confesor Silva Lirio	Concejal	Quintero	enferero.silva@quintero.cl	
Hugo Rojas Salvo	Alcalde	Quintero	hugo.rojas@municipi-quintero.cl	
Mónica Coriasco	Alcalde	Quintero	monica@municipi-quintero.cl	

000658

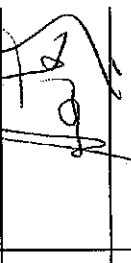







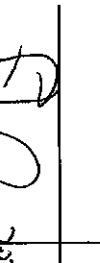
000658  
VTA.

NOMBRE	CARGO	DIRECCIÓN COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
Tania Beabola	Secretaria del Municipio	Villaparriso	tbabola@mun.villaparriso.cl	
Jorge Olivares T.	Secretaria de Energía	Villaparriso	olivaresj@mun.villaparriso.cl	
Stewart Toluett C.	JEFE DIVISION CALIDAD DE AIRE	SANTIAGO	stoluet@mun.santiago.cl	
Juan Villalobos	Asesor	Ventana - Quilicura	Juan.Villalobos@mun.ventana.cl	
Alfredo Sotomayor	Sind. N°1 Comuna Ventana	Puchuncaví	asotomayor@mun.ventana.cl	
Mauricio Tapia	Codeco	Puchuncaví	mtapia@mun.puchuncavi.cl	
Alexandro Cassi	Codeco	Puchuncaví	alexander.cassi@mun.puchuncavi.cl	
Marcela Ferrero	Codeco	Puchuncaví	mferrero@mun.puchuncavi.cl	
Carlos Domínguez	CONFEDERACION TRABAJADORES DEL GOBIERNO, CTC.	Quilicura	dominguezctc@mun.quilicura.cl	
Hernán Ramírez Buzza	Asesor Técnico	Puchuncaví	hramirez@mun.puchuncavi.cl	

NOMBRE	CARGO INSTITUCION	DIRECCION COMUNA	CORREO ELECTRONICO	FIRMA
VICTOR JAIME G	SEREMI DE SALUD	VALPARAISO	victor.jaime@enssalud.gov.cl	
Catalina Diracos D.	M. PUCHUNCANI	Puchuncavi	medicambionle@ www.puchuncavi.cl	
ANARO VERDESOM.	ASIVA	VIÑA DEL MAR	AVERDES@ASIVA.CL	
ANSELLO FLORES A.	ENAPREFINERAS S.A.	CONCON	aflores@enaprefineras.cl	
SILVANA CALDE	ENAP REFINERAS S.A	CONCON	sogalde@enaprefineras.cl	
Nancy Vilches B.	Nelson S.A	Puchuncavi	nancy.vilches@nelson.cl	
Regina Kaplan E	Presidente de Club Atlético Unión Junta de Adelanto.	Auniteno	reg.kaplan@comunicacion.cl	
RODRIGO CALZEMAS FARIAS	SECRETARIO GENERAL SINDICATO N°101 CODELCO VENTANAS	Puchuncavi	RCA12D@CODELCO.CL	
NELSON BERNAL R	PRESIDENTE SINDICATO ARAUCANIA CODELCO VENTANAS	PUCHUNCAVI	SINDICATO.SOCOMA@EMAIL.COM CAPATAZ4268@PAHOD.EJ	
OSCAR BAUHA	JEFE GABINETE SEREMIA ECONOMIA	VALPARAISO	obtura@economia.cl	

000659  
VTA.

NOMBRE	ASOCIACIÓN	DIRECCIÓN	CORREO ELECTRÓNICO	SEMA
Ramón Quirós Ospece	Presidente Sindicato de Trabajadores Ospece SA.	Domino Costero 1111 Vincennes	ramos@copece.cl	
Mariette Aros Escobar	Coordinadora Tesis Ambiente y Comunidades PVSA	Caminio Obisporo S/N Las Urrutias - Puchumari	MARIETTE.AROS@PVSA-CL	
Uruete Palma Berni	Ingeniero Externo Ambient	Flo. Soza leu S/N 1060 Urua del Pua	Uguzumcoy@cooblo.cl	
André Picaut	Sope medio ambiente AES Gener	Ruta F30-E-5/h	andre.picaut@aes.com	
Nilka Loren	AES Gener	Ruta F30-E-5/h	nilka.ker@aes.com	
Luis Cataldo L	AES GENER	Ruta F-30-E S/N	LUIS.CATALDO@AES.COM	
Katherine Ananda Q	Servicio de Estudios y Ambiental LTDA.	Pje. Jose IGNACIO IRIETA 3492. Urua del Pua.	ciclogenesias@gmail.com	
Elvett Espinoza T.	Servicio Meteorológico y Ambiental Ltda.	Pje. JOSE IGNACIO IRIETA 3492 GOMEZ CARREDO VIA DEL MAR	ciclogenia@gmail.com intuologic@ciologenis.net	
Felipe Davison	Unión Puerto General.	B. Puchumari	felipe Davison@puc.com	
Victor Agoson 6	Homecenter Ritopoe Montoya	Luis Lossino 1678	Vimargo@hotmail.com	

N°	NOMBRE	CARGOS Y UNIÓN	DIRECCIÓN LOCAL	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
	Marta Krueger Schiuffino	Representante Org. Comunitarios Pichuncaví	Pichuncaví	martakrueger@hotmail.com	
	NARLOS E. VIEIRA RIVERA	SERVICIO PERSONAL CAPATAZ COM. MUNICIPIO AMBIVENTURA	PICHUNCAVÍ	VARIOS E. VIEIRA@hotmail.com	
	La He Alvaroz R.	Coord. Comunitaria en el desarrollo de vide	Pichuncaví	Kalvaroz e htmal.com	
	Bernio A. Machado	Director de Historia del Museo de Pichuncaví	Pichuncaví	mismachado.bernio@gmail.com	
	Gonzalo Sánchez-Vera	DIRECTOR ESCUELA DE NIÑAS UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	VIA DE MAR	gsanchezvera@santotomas.cl	
	Isabel Casado	COORDINADORA MUNICIPAL S. TOCUMÁN	VITA DEL MAR	icasado@santotomas.cl	
	Jocelina Zora	Escuela de Geología Universidad S. Toamas	VIA DE MAR	zora@santotomas.cl	
	EDUARDO RIVEROS	MUNICIPALIDAD DE PICHUNCAVÍ	PICHUNCAVÍ	RIVEROS E MUNICIPALIDAD	
	Consuelo Vargas	EX COORDINADORA MEDIO AMBIENTE MUNICIPAL Concepción	CONCÓN	C. VARGAS@CONCON.cl	

**"Seminario Comité Ampliado de la Norma Primaria de SO2"**

FECHA : 23/04/2015  
 HORA INICIO : 9:00 horas  
 HORA TÉRMINO: 13:00 horas  
 LUGAR : Auditorio CORFO

N°	NOMBRE	INSTITUCION	DIRECCION	FONO	FIRMA
1.	Nadya Deforo Espinoza	Enami F4VL	Comuna Pilsbuck SIN COPPO	052253523	<i>[Firma]</i> ENAMI. U
2.	Claudia Ayala Poillike	ENAMI	Ncc Juen Y19 Santiago	24351285	CAZORA ENAMI. U
3.	Viviana Rojas Poncebello	ARCTEC Ltda	Poros 1361 Santiago	2515557	<i>[Firma]</i>
4.	Margarita Foa A.	A mec. Foster wheelen	Apoquindo 3520	29577049	<i>[Firma]</i>
5.	FAMILIO FERRER DE ZETA	Apolo Americas.	7 de Uchubun # 281	022308632	<i>[Firma]</i>

Nombre	Institución	Dirección	Fono	Firma
6. Germán Oyola F.	CELULOSA ARAUCO	Av. San Andrés 43 Concepción	2167145	
7. WALTER TORRES R.	FACTORA S.p.A	A. PUELLO 200	95378292	
8. Christopher López	KAS Ingeniería	Stre. Beñe y Chibarro 3824	56391176	
9. Armando Valenzuela	AL Prospects	Avenida 251 of 701	26718323	
10. Mariló Puente Leiva	Aes Geotec	Boque Norte 532, Pta 19	93444475	
11. RODRIGO CAROLINA MANTOZ	JHG INGENIERÍA	JOSÉ DOMINGO GÓMEZ 2802	65961067	
12. J. ALBERTO BRANCO C.	JHG INGENIERIA	J. DIEGO CANTAS 2802	97303167	
13. GOR VALDEBENSITE	HMA	SAN MARTIN 73	98267592	
14. SUSANA NÚÑEZ	CODECO	HUERTOS 1270	97704963	
15. CESAR Sánchez Amada	SPK CONSULTING	Abramo 2939	4890844	
16. HOWARD SCHUCHTER C	AMEC	ARREANDO 3846	22957442	
17. ALEX ILLG E R	HUGO PETERSEN SPA	Padre Dominián de Venster	9270 0305	

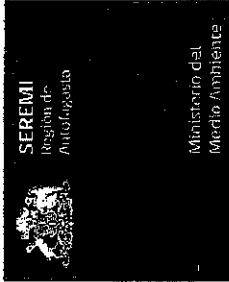
2251 of B32  
Vista cura



18	M <sup>a</sup> Republica Ruiz Tapie B	Factorial	maria republica Ambiental Factorial ambiental.cl	92696604	
19	ANDREA MUÑOZ	Factorial	andrea@factorial ambiental.cl	96790397	
20	JAVIER MANCILLA MUÑOZ	AMEC FOSTER WHEELER	JAVIER MANCILLA @AMECFW.COM	872043097	
21	David Guerschá Perra	Proust Consultores	dguersch@proust.com	62090200	
22	VILLENTE GERMÁN	CODELCO	vgerman04@code.cl	8823227	
23	Lesly Alvarado Cerdá	Gestión Ambiental SA	lsharado@gsasa.cl	97201965	
24	SERGIO MONARRES SILVA	Sindicato N°1 CODELCO JUTANOS	sergio.monares@ codeco.cl	82881226	
25	Orlando Tapia Urbey	ING. CIVIL	orotapia@gmail.com	9326502	
26	Alfonso Glade C.	EUERSIS	aglade@eudata.cl	94691502	
27	José Soto Flores	Ministerio Medio Ambiente	JT Soto @ m. cl	91555820	
28	VICTOR ALON LÓPEZ	MMA	Vlopez@mma.gob.cl	2528558	

000000

	Nombre	Institución	Dirección	Fono	Firma
40	Leticia Chavarria M.	Subsecretaría del Medio Ambiente	San Martín N° 73	78919679	
41	CINTHIA ANJANO	SENEMIRIOBANS VI	CAMPESINOS PRODUCCION	782-2545600	
42	Sebastián Reubert Vidal	GeoAire.	12 Concepción 191.	-	
43	JUAN PABLO DOMINGA	Unión Juvenil Cosmopolitas	Antes de Zueco 144	78633147	
44	Peterio Aguilar M.	MMA	S. Martín 73.	89222355	
45	CONRADO RAUAVAL	"	"	-	
46	Franisco Doroso G.	MMA	"	25735380	
47	Roberto Urquiza	MMA	"	-	
48	Pedro SAN HUAGA	CREATIVE	LA COMERCIAL 191 of 108	2073238	
49	Marcela Fernandez Indurain	Los Longinos Torres	Los Longinos Torres	99696699	
50			Ofc		



**SEMINARIO COMITE AMPLIADO NORMA PRIMARIA DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)**

Fecha: 28 de Abril de 2015

Hora Inicio: 09:00 Hrs.

Hora Término: 13:00 Hrs.

Lugar: Salón Cerro Moreno, Hotel Antofagasta

NOMBRE	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	E-MAIL	TELÉFONO	FIRMA
Fernando Amador Albornoz	Municipalidad de Serenísima	Delvador Albornoz	FernandoAmador@munisig.cl	87680735	
Valen ZHIGUEY FERNÁNDEZ	EGRESADA UCN	LIANES #2120	KZHIGUEY@EMAIL.COM	67682686	KZHIGUEY
MARÍA FERNANDA HENDRIQUEZ F.	PARICULAR		MFHENDRIQUEZ@GMAIL.COM	52392543	
KARINA ANAYA López	CEA / SERVICIO MORSA AMBIENTE	José Manuel Carama N° 1821 3° piso	KANAYALOGON@CEL	2533808	KANAYALOGON
Fenny Zapata Nieto	Seremi Salud	Matta n° 1999	fenny.zapata@corchilud.cl	655097	
CRISTIAN AHEEN	SEREMI SALUD	Matta 1999	CRISTIAN.AHEEN@PREBSAUD.FUVE.cl	2655010	
Lyzette Saavedra	SQM	Amibol Puro 3228	lyzette.saavedra@sgm.com	2412567	
MARICELA DE LA CRUZ	STA	WASHINGTON 2365	MARICELA.DELACRUZ@SMA.GOB.CL	-	
Carolina Norero C		Avenida Argentina 0110	CARITO.ONCE.HOTMAIL.COM	98743203	
Daniela León Portella	Egresada UCN	Don Milenko #380	dlep004@alumnos.ucn.cl	99121453	
Nº de la Hubler Cominada	Sera Garda SQM	Cal. Borgoño 800 PISO 1º	mugeles.guipada@SQM.cl	7665377	Mugeles

000665



**SEMINARIO COMITE AMPLIADO NORMA PRIMARIA DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)**

Fecha: 28 de Abril de 2015

Hora Inicio: 09:00 Hrs.

Hora Término: 13:00 Hrs.

Lugar: Salón-Cerro Moreno, Hotel Antofagasta

000665 4TA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	E-MAIL	TELÉFONO	FIRMA
Karla Arzum y	SOS-CIM mty S	Av. Ruta del cobre 400.	Karla.Arzum@sos.com	75298533	
Ricard Parra T.	Altonorte	Ruta-5 norte Km 1348, Alto	Ricard.Parra@kicore.cl	2628191	
Jennifer Benítez Guerra	Rockwood Lino	Sector La Negra sitios 1 y 2	jennifer.benitez@rockwoodlithium.com	2351066	
Marcos Camusso T.	Ultrasonics Aricaes	Av. Concertacional 0500	marcoscamusso@ultrasonics.cl	2353064	
RICARDO MERINO LÓPEZ	MOLY NOR	Av. Pícolunación Lumbajudi Hill 6400 MEJ. CHUBES	R.MERINO@MOLYNOR.CL	83721054	
Marcos Clavero U.	Alto de Mefilones S.A.	Avenida Centenario #2800 Mefilones	marcos@alto-mefilones.cl	+5695339105	
JUAN PABLO ARDOYO L.	DIVISIÓN INDUSTRIA HACES CODECO	CHAMA	jarro@codeco.cl	67792480	
Rebeca Veas	ENAPEX S.A.	Av. Costanera Norte 300	rebeca.veas@enapex.com	6488094	
Miguel Tapia O.	RES Gener S.A.	Septima Industrial Mefilones Industria 2/4 Jorjillo	Miguel.Tapia@res.com	2492400	
Paula Bedregal A.	Eléctrica Angamos S.A.	Septima Industrial 1100, Mefilones	carvajal.pbedregal@ees.com	2689924	

Carla Perez CEA - Lantares 76492555  
Carla Perez @ yando.es

SEMINARIO COMITE AMPLIADO NORMA PRIMARIA DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

Fecha: 28 de Abril de 2015

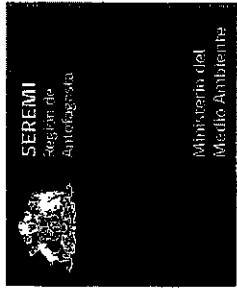
Hora Inicio: 09:00 Hrs.

Hora Término: 13:00 Hrs.

Lugar: Salón Cerro Moreno, Hotel Antofagasta



NOMBRE	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	E-MAIL	TELÉFONO	FIRMA
Roberto Quiroz	Molyneux	su problema con concierto #6400	Roberto.Quiroz@molyneux.cl	65205567	
Francisco Aparicio G.	Molyneux	<del>su problema con</del> As. Antofagasta	Francisco.Aparicio@molyneux.cl		
Bárbara Salazar D.	Molyneux	As. Antofagasta	BARBARA.SALAZAR@molyneux.cl	95639824	
Cristián Mandoza F.	GSATecoma	Avenida Costanera Norte, 2500 Mejillones	cimfe@gsat.com.cl	552357200	
Constanza Farina Barza	SEA Antofagasta	República de Coahuila 0336 Antofagasta	cfarina@sea.gob.cl	55-2467600	
Johanna Lady C.	GNL Mejillones	Avenida Puerto 1 N° 8000, Mejillones	johanna.lady@gnl.cl	55-2564923 780 89 759	
Horacio Fuentes E.	I.M. Municip. Antofagasta	Juan Antonio Riquelme #200	AFFRATES@mejillones.cl	55-2557321 76235233	
Colón Urquiza	ALCOBORTE		colos.kenza@alcoorte.cl	90785537	
Marcelo Quiroz P.	ITM Ltda.	Granados 5482 Dpto 25	msb001@gmail.com	62540174	
IVO MICEVIC	INPATTEL	CAS INDUSTRIAS 341	MICEVIC@INPATTEL.CL	538100	



**SEMINARIO COMITE AMPLIADO NORMA PRIMARIA DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)**

Fecha: 28 de Abril de 2015

Hora Inicio: 09:00 Hrs.

Hora Término: 13:00 Hrs.

Lugar: Salón Cerro Moreno, Hotel Antofagasta

NOMBRE	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	E-MAIL	TELÉFONO	FIRMA
Nancy Gótz B.	CONAF	Av. Aguirre 200	nancy.gotz@conaf.cl	2383320	
Beatriz Helena	Ude Antof - CREA	Av. Fongaromo 601	beatriz.helena@udea.cl	2637072	
Laura Aparicio	CETA		laura.aparicio@buenavista.cl	78950066	
Pedro Ulloa	E-CL	Costanera Oriente 4000.	pedro.ulloa@e.cl	979 8870	
Priscilla Ulloa	MMA	San Martín 73.	priscilla.ulloa@mma.gob.cl	25735784	
EDUARDO TRUJAS	DCH		eduardo.trujas@dch.cl	77074874	
CAROLINA BERNARDE	CODECO		carolina.bernarde@codeco.cl	75480260	
Carmen Contreras	MMA	Sgo	carmen.contreras@mma.gob.cl	78882471	
Sebastian Tolvett	MMA	Sgo			
Cristian Ibarra	MMA	Sgo	cristian.ibarra@mma.gob.cl		

Jenny Topie SEREMI DEL MEDIO AMBI. APFA jtopie.2@mma.gob.cl 2533814

Ana Soto Seremi del Medio Amb. Antof a.soto.2@mma.gob.cl 2533814



## Normas de Calidad de aire

Marcelo Mena Carrasco, PhD  
Subsecretario del Medio Ambiente

## La desigualdad también se expresa en medio ambiente



### MEDIO AMBIENTE

La desigualdad también se expresa en el medioambiente. El deterioro ambiental y la contaminación afectan con mayor severidad la calidad de vida de la población más vulnerable. Tenemos el deber de cambiar esta realidad. La sustentabilidad exige no sólo equilibrar crecimiento económico y protección ambiental, sino también, hacerlo con equidad social. Este será el eje de nuestra gestión: lograr mayor equidad ambiental.

En materia ambiental hemos avanzado. En el período 2006-2010, cuando estaba presente con fuerza la demanda de mejores formas de protección ambiental, las respuestas buscadas se orientaron a aquello que se estimó era el paso inicial de un "nuevo trato ambiental": crear una nueva institucionalidad y regulación ambiental que entregara mayor jerarquía política al tema medioambiental. Resultado de ello fue la creación del Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Asimismo, se sentaron las bases para la creación de un juzgado especializado que tuvo como resultado la creación de los Tribunales Ambientales.

Hoy el desarrollo sustentable que nuestra ciudadanía reclama, implica un actuar decidido del Estado para conservar el patrimonio natural y cultural, hacer un uso racional de los recursos, impulsar una mejor calidad de vida y generar una visión y ocupación equilibrada y equitativa de los territorios, atendiendo la voz de nuestra gente que legítimamente exige mayor participación en las definiciones sobre los proyectos que inciden en su calidad de vida o que alteran zonas de gran valor ecológico.

**Un nuevo y activo rol del Estado inspirado en la equidad ambiental y el bien común**

El desarrollo sustentable al que aspiramos requiere un nuevo y activo rol del Estado. El Estado no puede renunciar a su obligación de propiciar un desarrollo sustentable y por ello debemos entregarle las herramientas necesarias para adoptar decisiones en beneficio de la sustentabilidad y del bien común, en forma preventiva

y correctiva. Reconocemos el aporte a la sustentabilidad que crecientemente realiza el sector privado, pero no es suficiente. El Estado está llamado a ser el protagonista en la solución a la desigualdad y ello requiere mucho más que generar marcos regulatorios. El Estado requiere facultades respecto de la propiedad y gestión de los recursos naturales estratégicos y no renovables.

El Estado debe abordar el ordenamiento territorial, en un proceso amplio y convocante, donde como sociedad definamos aquello que estamos dispuestos a incentivar en nuestros territorios, con una mirada integral que contemple lo ambiental, social y económico.

En materia de fortalecimiento institucional, es necesario evolucionar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), a la luz de los objetivos iniciales que nos movieron a presentar la reforma a la institucionalidad ambiental en nuestro Gobierno, e impulsásemos con decisión los cambios necesarios que aseguren a todos los ciudadanos, organizaciones y empresarios, una institucionalidad validada desde el punto de vista técnico. Asimismo, reforzemos la Superintendencia del Medio Ambiente dándole presencia organizada en cada región del país.

También es clave enfrentar las consecuencias del cambio climático que, como sabemos, implica impactos para nuestro país. Debemos generar políticas consistentes y por ello fortalezcamos el rol del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad que impulsa políticas y regulaciones con ojo en la sustentabilidad y en concordancia con medidas para hacerse cargo de los efectos del cambio climático.

**Participación Ciudadana, Descentralización y Ordenamiento Territorial**

Como se indicó en el capítulo de Ciudad, Vivienda y Territorio impulsásemos un Plan de Ordenamiento Territorial, con participación ciudadana, que permita establecer un nuevo equilibrio entre las requerimientos del crecimiento económico, las necesidades de las comunidades y el respeto y cuidado por el medio ambiente. Adicionalmente,



000667 VTA

Crisis ambiental en La Greda y sus consecuencias en zonas circundantes:

# La grave contaminación de Ventanas que la normativa chilena permite y que podría extenderse hasta Maitencillo y Concón

Este país se subestima las normas internacionales que respaldan la salud humana y la ley es permisiva comparada con la de EE.UU. y de Europa. No se sabe hasta qué punto la contaminación ya que sólo se mide en el entorno cercano de las plantas industriales de la bahía de Quilman. Expertos y autoridades locales sospechan que podría afectar otras localidades del entorno.

**El** problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

Según los datos de la estación de monitoreo de la zona de Ventanas, el nivel de contaminación se ha elevado considerablemente en los últimos días, lo que ha generado preocupación en la población local.

El problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

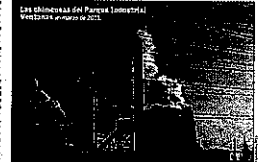
Según los datos de la estación de monitoreo de la zona de Ventanas, el nivel de contaminación se ha elevado considerablemente en los últimos días, lo que ha generado preocupación en la población local.

El problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

Según los datos de la estación de monitoreo de la zona de Ventanas, el nivel de contaminación se ha elevado considerablemente en los últimos días, lo que ha generado preocupación en la población local.

## Qué provocan las emisiones de gases en los seres humanos

Las emisiones de gases en los seres humanos pueden provocar problemas de salud, especialmente en personas con enfermedades respiratorias. Los gases más comunes son el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno.



Las emisiones de gases en los seres humanos pueden provocar problemas de salud, especialmente en personas con enfermedades respiratorias.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

## 43 personas debieron ser atendidas de urgencia: Alumnos de La Greda sufren por tercera vez intoxicación por azufre

Gobierno inició exhaustiva investigación en las seis empresas que producen elementos contaminantes en Puchuncaví.

Por tercera vez en lo que va del año salieron del colegio camino al consultorio de Ventanas. Esta vez fueron 43 las personas (33 alumnos, 7 profesores, 3 apoderados y 2 manipuladoras de alimentos) de la escuela La Greda que debieron ser atendidas por fuertes síntomas de intoxicación por azufre.

El episodio se produjo a eso de las 10 de la mañana, cuando los alumnos de curso básico del plantel ensayaban una gala gimnástica en el patio. Allí comenzaron a sentir fuertes mareos, dolores de cabeza, vértigos y ardor estomacal a raíz de los gases que emanan de las vecinas industrias de Ventanas.

El incidente, José Colla, explicó que la situación probablemente se produjo porque las condiciones del viento llevaron el humo de las chimeneas en dirección a La Greda.

Enfatizó que si se establecen esas situaciones se pudo prevenir, se aplicaron drásticas sanciones. La fundición y refinación de concentrado de cobre de Codelco -que produce 20 mil de las 31 mil toneladas de dióxido de azufre que se liberan anualmente-



Los apoderados reaccionaron con molestia por el nuevo episodio y sólo vino por ser en el consultorio colateral a los niños pequeños con la leyenda "Código de azufre", lo que ocasionó una horda.

**130** alumnos  
estaban en la escuela de La Greda, que deberá ser cerrada el próximo mes.

**500** azufre  
separan al colegio de la chimenea de la fundición de Puchuncaví y otras 29 industrias.

**26** personas  
sufrieron intoxicación por una nube de gas que se acumuló en el patio y 42 en marzo.

El problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

Según los datos de la estación de monitoreo de la zona de Ventanas, el nivel de contaminación se ha elevado considerablemente en los últimos días, lo que ha generado preocupación en la población local.

El problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

## Fiscalía cierra investigación por muerte de 22 ex operarios de Enami

La Fiscalía de Chile cerró una investigación al tribunal para el señalamiento de la causa respecto de 22 ex operarios de esa empresa por contaminación, según una reciente investigación por el Ministerio Público. Esto, porque no se pudo establecer un nexo causal entre sus afecciones y la contaminación: algunos de los trabajadores fallecieron a causa de cáncer o por patologías que no son causadas por contaminación, y otros sólo laboraron algunos meses en la refinería. En otros casos, entre los cuales está el único operario vivo del listado de presuntas víctimas, se continuó la indagación.

El subsecretario de Medio Ambiente, Ricardo Izarrabal, sostuvo que "el diagnóstico (sobre la contaminación de las empresas) está claro hace mucho tiempo, pero lamentablemente el Ministerio del Medio Ambiente está de nuevo al tanto de lo que se está haciendo en esta zona".

## Tratamiento

Algunos niños y niñas debieron ser hospitalizados y otros recibir un tratamiento para superar las molestias provocadas por los gases. El problema de contaminación ambiental en la zona de Ventanas, en la bahía de Quilman, se ha agravado en los últimos días por la presencia de un episodio de contaminación que se ha extendido a las localidades de Maitencillo y Concón.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

## La contaminación atmosférica es el principal desafío para la autoridad ambiental en Chile.

La contaminación atmosférica es responsable de al menos **4.000 muertes prematuras** a nivel nacional.

Estrategia 2014-2018 diseñada abordar 87% de estos casos.



Hoy **10 millones de personas** en el país están expuestas a una concentración promedio anual de MP2,5 superior a la norma.



MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

## Descontaminar es sano para la gente, sano para la economía (Mejoras a salud para un PIB Verde)

MORTALIDAD GLOBAL POR CONTAMINACION ATMOSFERICA

7 M de muertes globalmente



causa 1 de cada 8 muertes



Efecto	Casos evitados por año al cumplir norma
Mortalidad Prematura	4070
Admisiones hospitalaria	2.400
Visitas a sala de emergencia	127.000
Días de trabajo perdidos	871.000
Días de trabajo con restricción de actividades	3.730.000
Costos x Contaminación	8.000 MMUSD/año

60% de las muertes son p



enfermedades Cardiovasculares

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

000668 VTA

Norma termoeléctricas demostró que se podía justificar la norma más exigente de este lado del hemisferio, sin tener que ser un país desarrollado.

#### Fundamentos.

- Reducción de 83% PM, 70% NO<sub>x</sub>, 72% SO<sub>x</sub>, 5% mercurio.
- Evitará 282 muertes al año, beneficios de 332 millones USD/año. Costo anualizado de 152 millones USD
- 2.2 veces más beneficios que costo.
- Impacto en tarifa máximo 1.8USD/MWh (menos de 1%)



# 14 planes para 77 comunas 87% de riesgo ambiental

Declaración Zonas	Anteproyectos	Proyectos Definitivos
<b>Valdivia (2016)</b> S: MP10 Diaria, S: MP2.5 Diaria	<b>Temuco y Padre Las Casas (Mayo 2015)</b> S: MP2.5 Diaria	<b>Andacollo (2014)</b> S: MP10 Anual
<b>Los Ángeles (2016)</b> S: MP10 Diaria, S: MP2.5 Diaria	<b>Osorno (Junio 2015)</b> S: MP10 Diaria, S: MP2.5 Diaria	
<b>R.M.(2016)</b> S: MP2.5 Diaria	<b>Ventanas , Quintero, Puchuncaví, Con. (2016) Reformulación</b> S: MP2.5 L: MP10 Anual, L: SO2 Anual	
<b>Gran Concepción (2016)</b> S: MP2.5 Diaria	<b>Coyhaique (Septiembre 2015)</b> S: MP10 Anual, S: MP10 Diaria	
<b>Coyhaique (2017)</b> S: MP2.5 Diaria	<b>Talca y Maule (Agosto 2015)</b> S: MP10 Anual, S: MP10 Diaria	
<b>Curicó (Diciembre 2017)</b> S: MP10 Diaria, S: MP2.5 Diaria	<b>Chillán y Chillán Viejo (Septiembre 2015)</b> S: MP10 Diaria, S: MP2.5 Diaria, L: MP10 Anual	
	<b>Huasco (2016)</b> L: MP10 Anual	

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

"Sin energía, no habrá crecimiento y sin sustentabilidad, tampoco. Porque no podemos crecer a costa del medioambiente, o hipotecando el futuro de Chile"

- **Presidenta Michelle Bachelet Jeria**

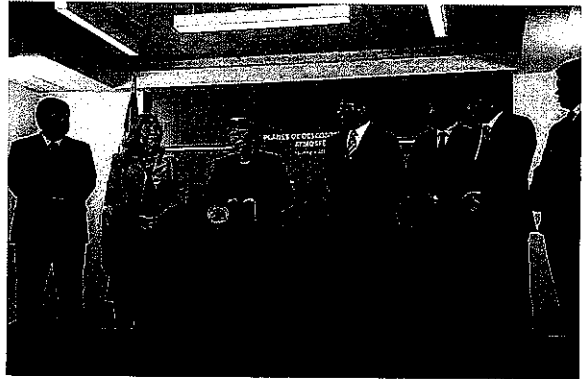


MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

000669 VTA.

## Compromiso por el aire limpio.

- Compromiso expreso de presidenta por tomar las medidas necesarias para limpiar el aire de Chile, desde Arica a Punta Arenas.



MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE





**Gracias**

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

# Evidencia de los efectos adversos sobre la salud del dióxido de azufre



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Marcelo Mena Carrasco  
Subsecretario del Medio Ambiente

Gobierno de Chile

## Programa ambiental del gobierno

Selección de algunos ejes:

- Un activo rol del Estado inspirado en la equidad ambiental y el bien común
- Participación Ciudadana
- Ciudad y Territorios Sustentables con Buena Salud y Calidad de Vida
- Una Sociedad Responsable

“Aceleraremos la elaboración y  
revisión de normas de emisión  
de aire así como de normas de  
calidad”

Programa de Gobierno Michelle Bachelet, 2014 – 2018.  
<http://www.minsepres.gob.cl/wp-content/uploads/2014/04/ProgramaMB.pdf>

000671 VTA

## ***Normas de calidad primaria: ¿para qué?***

*Instrumento de Gestión Ambiental para proteger la salud de las personas*

### **Normas de calidad primarias vigentes en Chile**

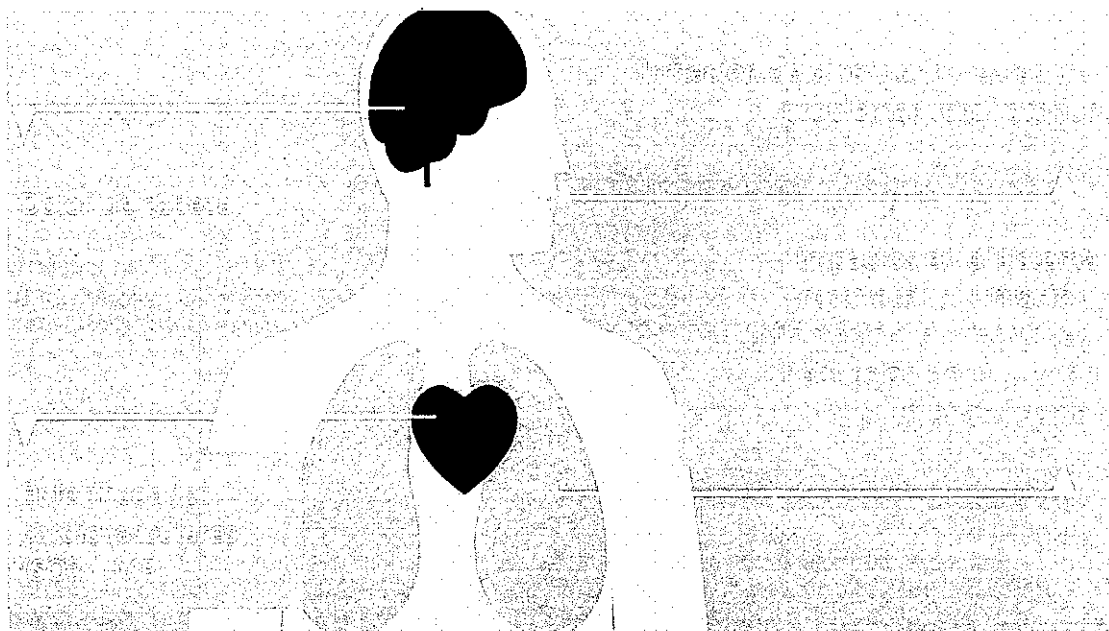
- Plomo
- Ozono (O<sub>3</sub>)
- Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)
- Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Material Particulado MP2.5



**Evidencia científica  
de los efectos  
adversos del SO<sub>2</sub>  
en la salud de las  
personas**



## ¿Cuáles son los Efectos del Dióxido de Azufre en la Salud?



La evidencia indica que la exposición a concentraciones de  $\text{SO}_2$  en el aire, produce efectos agudos y crónicos

### Efecto Crónico



### Efecto Agudo

Bajas concentraciones  $\text{SO}_2$  que se mantienen por varios años

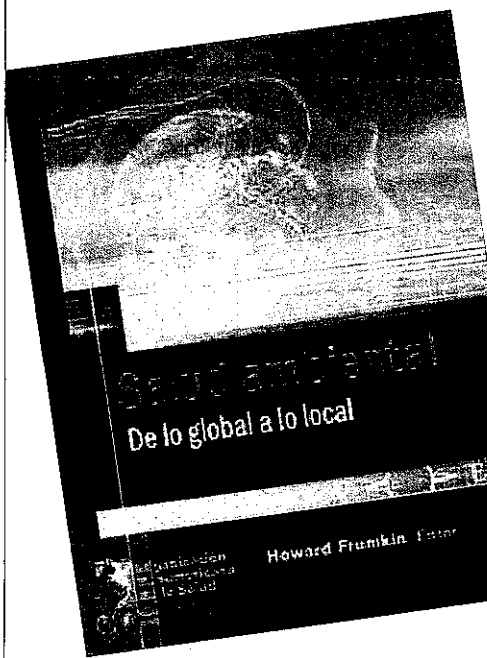
- Enfermedades respiratorias como el asma crónica.
- Enfermedades cardiovasculares
- Aumento de la mortalidad

Altas concentraciones  $\text{SO}_2$  que duran un corto período de tiempo

- Dolor de cabeza
- Irritación de ojos
- Irritación de la nariz
- Irritación de la garganta (tos)
- Ataque de asma
- Otras afecciones respiratorias

000672

## No es fácil separar los efectos del SO<sub>2</sub> en la Salud Fuerte correlación con el MP

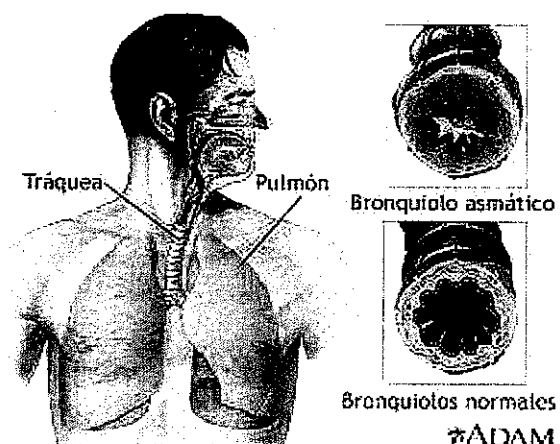


*“...Es difícil atribuir estas asociaciones reportadas únicamente al SO<sub>2</sub>, porque el SO<sub>2</sub> es un precursor de la materia particulada y generalmente existe como el componente de una compleja mezcla de contaminantes, relacionada con la combustión”*

Fuente: OPS, 2010, “Salud Ambiental de lo global a lo local”, pág. 374

## Enfermedad que más se asocia con el SO<sub>2</sub>: Asma

*“El asma es una enfermedad crónica que se caracteriza por ataques recurrentes de disnea y sibilancias, que varían en severidad y frecuencia de una persona a otra.”*

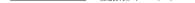


Enfermedad crónica frecuente en los niños  
OMS calcula que actualmente hay 235 millones de pacientes con asma en el planeta.

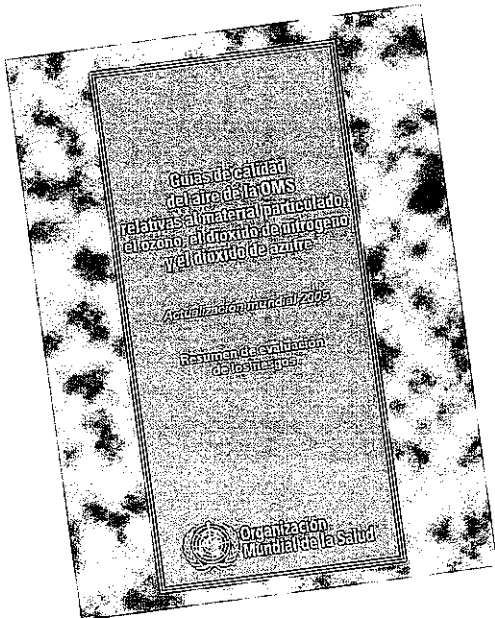
# Efectos en salud en grupos de población a una concentración controlada de SO<sub>2</sub>

## Evidencias de estudios:

- Más afectados al aumento del SO<sub>2</sub> son los individuos con enfermedad respiratoria pre-existente como **asmáticos, niños y adultos mayores**
- Los estudios controlados de exposición a corto plazo de SO<sub>2</sub> se focalizan en asmáticos haciendo ejercicio
- Los asmáticos presentan una broncoconstricción moderada a exposiciones desde concentraciones de 520 µg/m<sup>3</sup>N durante 10 minutos



Organización Mundial de la Salud

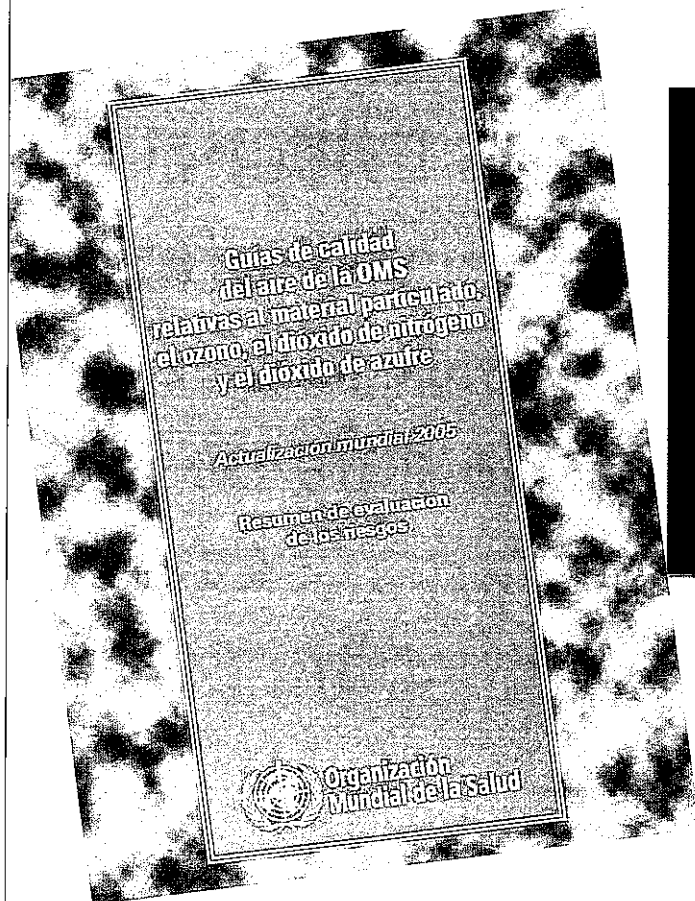


Evidencia científica considerada en la guía de la OMS para SO<sub>2</sub>

000673<sub>VIA</sub>

*“Las presentes guías tienen por objeto informar a los encargados de la formulación de políticas y proporcionar objetivos apropiados para una amplia variedad de opciones en materia de políticas en relación con la gestión de la calidad del aire en diferentes partes del mundo”.*

*Fuente: Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Organización Mundial de la Salud, 2006*



**Guías de calidad del aire  
Dióxido de Azufre - SO<sub>2</sub>**

20 µg/m<sup>3</sup>, media 24 horas

500 µg/m<sup>3</sup>, media 10 min

## Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para SO<sub>2</sub>

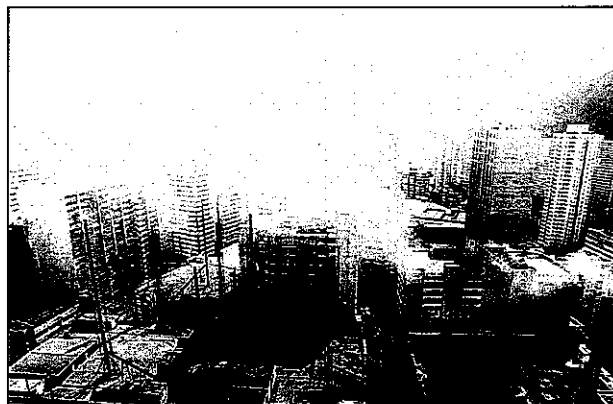
	Promedio de 24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio de 10 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	125	–	
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	–	Objetivo intermedio basado en el control de las emisiones de los vehículos de motor, las emisiones industriales y/o las emisiones de la producción de energía. Éste sería para algunos países en desarrollo un objetivo razonable y viable (se podría alcanzar en pocos años), que conduciría a mejoras significativas de la salud, las cuales, a su vez, justificarían la introducción de nuevas mejoras (por ejemplo, tratar de conseguir el valor de la GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	20	500	

### Evidencia Científica:

#### Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study

Hedley et al., 2002, Lancet

Antes



Después



1 de Julio 1990, reducción importante del contenido de azufre del combustible de 0.5%

000674<sup>4</sup> VIA

### **Evidencia Científica:**

**Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study** Hedley et al., 2002, Lancet

- **Reducción de los efectos adversos en salud:**
  - Mortalidad cardiovascular y respiratoria
  - Bronquitis crónica en niños

Intervención de Hong-Kong demuestra beneficios en salud que se pueden lograr al bajar las concentraciones de SO<sub>2</sub> a niveles de alrededor de 8 ppb (aprox. 20 µg/m<sup>3</sup>).

### **Evidencia Científica:**

**A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared.**

Wong et al., 2002, Environ Health Perspect

- Analiza series cronológicas sobre hospitalizaciones por enfermedades cardíacas y respiratorias en Hong Kong y Londres.
- No se obtuvo ninguna prueba de un umbral para los efectos en la salud para concentraciones de SO<sub>2</sub> durante 24 horas del orden de 5 a 40 µg/m<sup>3</sup>.

**Desde el 2007:****Reciente evidencia científica de los efectos adversos del SO<sub>2</sub> en la salud de las personas**

- **Mortalidad General** : Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, van Staa T, Cook DG, Anderson HR. *Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort*. Am J Respir Crit Care Med. 2013;187(11):1226-33.
- **Mortalidad Infantil** : Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P, Busby A, Dolk H. *Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities*. J Epidemiol Community Health. 2007;61(8):719-22.
- **Asma**: Pan G, Zhang S, Feng Y, Takahashi K, Kagawa J, Yu L, et al. *Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China*. Respir Med. 2010;104(12):1903-11.
- **Visitas a urgencia por asma**: Ito K, Thurston GD, Silverman RA. *Characterization of PM<sub>2.5</sub>, gaseous pollutants, and meteorological interactions in the context of time-series health effects models*. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007;17 Suppl 2:S45-60.

Paper revisados y utilizados en el Informe de Pasantía (Marzo 2015): "Estimación cuantitativa de riesgo atribuible a SO<sub>2</sub> en zonas vulnerables de Chile", elaborado por Macarena Valdés, Programa de Doctorado en Salud Pública, Universidad de Chile.

**Desafíos en la revisión de la norma de SO<sub>2</sub>**

	1978	1992	2003	2015
<b>Estándar <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Resolución N°1.215 Ministerio de Salud	Decreto Supremo N°185 Ministerio de Minería	Decreto Supremo N°113 MINSEGPRES	<b>Revisión de Anteproyecto</b>
<b>Anual</b>	80	Se mantiene	Se mantiene	↓
<b>24 horas</b>	365	Se mantiene	↓ 250	↓
<b>1 hora</b>	No se estableció	No se estableció	No se estableció	<b>Establecer una norma horaria</b>
<b>Niveles de Emergencia</b>	No se estableció	Alerta: 1.962-2.615 Advertencia: 2.616-3.923 Emergencia: $\geq 3.924$	Se mantiene	<b>Actualizar</b>

000675

Seminario - Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
Ministerio del Medio Ambiente  
Jueves 23 de Abril  
Auditorium CORFO. Moneda 921, 2do piso. Santiago

# Evidencia de los efectos adversos sobre la salud del dióxido de azufre



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Marcelo Mena Carrasco  
Subsecretario del Medio Ambiente

Gobierno de Chile



# Gestión integrada para la reducción del dióxido de azufre en la atmósfera

Priscilla Ulloa  
MSc Ingeniería Ambiental  
Departamento de Normas  
División Calidad del Aire y Cambio Climático

## Contenidos

¿Qué es el Dióxido de Azufre?

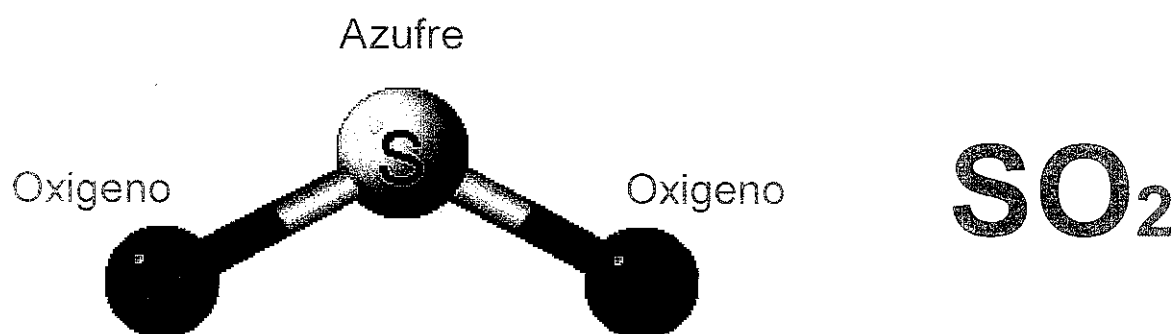
¿Cómo llega el Dióxido de Azufre al Aire?

¿Qué pasa con el Dióxido de Azufre cuando está en el Aire?

¿En qué consiste la gestión para reducir el SO<sub>2</sub> ambiental?

000676  
UTA

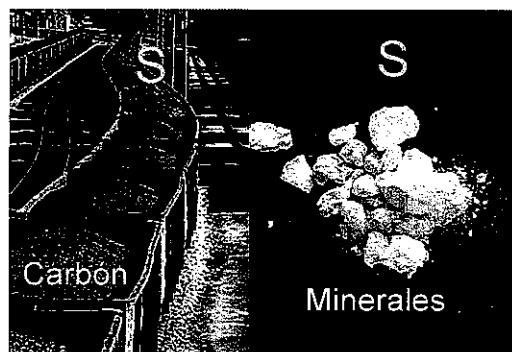
# ¿Qué es el Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>?



**Gas incoloro, contaminante, muy reactivo**  
**Uno de los seis contaminantes en el aire más importantes que se regula**  
**Un precursor de particulado fino**

# ¿Cómo llega el Dióxido de Azufre al Aire?

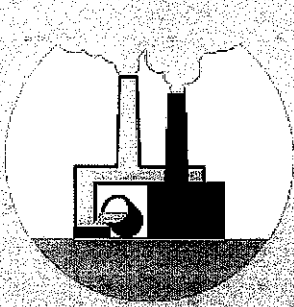
Combustión de combustibles y minerales que contienen azufre S



Fuente: OPS, 2010, "Salud Ambiental de lo global a lo local", pág. 373.

000677

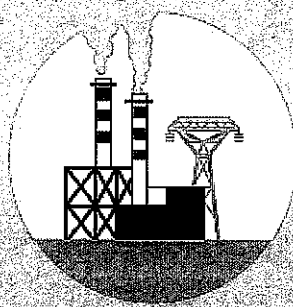
ACTIVIDADES que aportan emisiones de SO<sub>2</sub> en el país



**Fundiciones de cobre**

7 Fundiciones de cobre

Minerales alto contenido de azufre  $\geq 30\%$

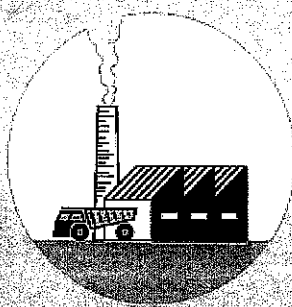


**Termoeléctricas**

76 Unidades de termoeléctricas

Carbón con azufre  $< 1\%$

Petróleo N°5 y N°6 con azufre  $< 3\%$



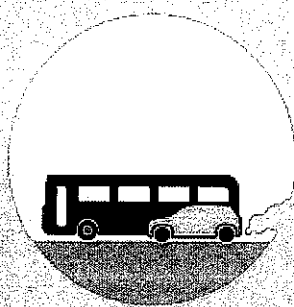
**Otras Industrias**

Diversos y numerosos rubros

Carbón con azufre  $< 1\%$

Petróleo N°5 y N°6 con azufre  $< 3\%$

Combustible Diésel industria  $< 50\text{ppm}$



**Transporte**

Aumento significativo cada año del parque vehicular

Combustible Diésel  $< 15\text{ppm}$

Ministerio del Medio Ambiente

¿Qué pasa con el Dióxido de Azufre cuando está en el aire?

# Se puede decir que se distinguen 3 formas de reacción del SO2 en el aire :

- En períodos de corta duración y a escala local  
**Ácidos - SO2**
- En períodos de larga duración, a escala local y/o regional  
**Ácidos, sulfatos**
- En períodos de muy larga duración, a escala continental  
**Ácidos, sulfatos**

## ¿Qué pasa con el Dióxido de Azufre cuando está en el aire?

### Registan primera emergencia ambiental del año en Paipote

**INQUETUD.** Se registran límites sobre lo establecido en la norma. El gobierno convocará el tema con el nivel central.

**Paipote, 18 de mayo de 2014.**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

**Atacama**

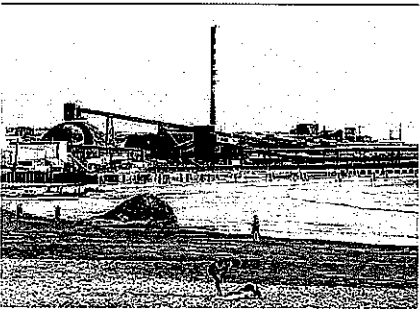


Foto: La Tercera. Ventanas cerradas en la V Región, centro de Paipote, por contaminación.

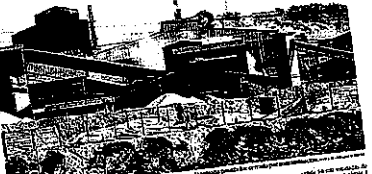


Foto: La Tercera. Ventanas cerradas en la V Región, centro de Paipote, por contaminación.

### Corte ordena a Codelco Ventanas paralizar obras tras intoxicación en escuela

**El tribunal resolvió el recurso de protección y de amparo y hecho por contaminación ambiental en la comuna de Paipote.**

**La suspensión de la función impactará directamente en la mañana siguiente, que coincide con la apertura de la escuela.**

**El Tribunal de Garantía de Quintero fijó la audiencia de notificación para el 15 de marzo.**

**El abogado de la empresa dijo que colaborarán en la investigación y reiteró que fue un hecho puntual.**

**El SO2 en altas concentraciones y cortos periodos puede producir neblinas ácidas a baja altura e impactar a poblaciones cercanas**

Fuentes: 1. Diario de Atacama 18 de mayo 2014, pág. 6 2. Diario La Tercera, 22 diciembre 2011 pág. 37 3. Diario La Tercera 31 de marzo 2011, pág. 6.

000678<sub>VTA</sub>

¿Qué pasa con el Dióxido de Azufre cuando está en el aire?



**SO<sub>2</sub> contribuye a la formación de partículas finas, que viajan lejos de su lugar de origen**



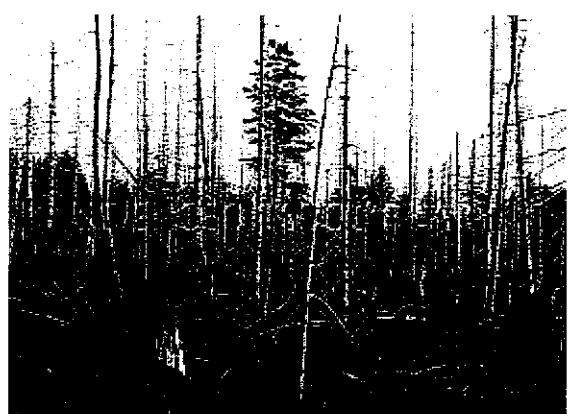
Fuente: OPS, 2010, "Salud Ambiental de lo global a lo local", pág. 373 - 374.

¿Qué pasa con el Dióxido de Azufre cuando está en el aire?

**El SO<sub>2</sub> puede convertirse en ácido sulfúrico, contribuyendo a la acidificación**



**How acid rain affects stonework.**  
The picture on the left was taken in 1908.  
The picture on the right was taken in 1968

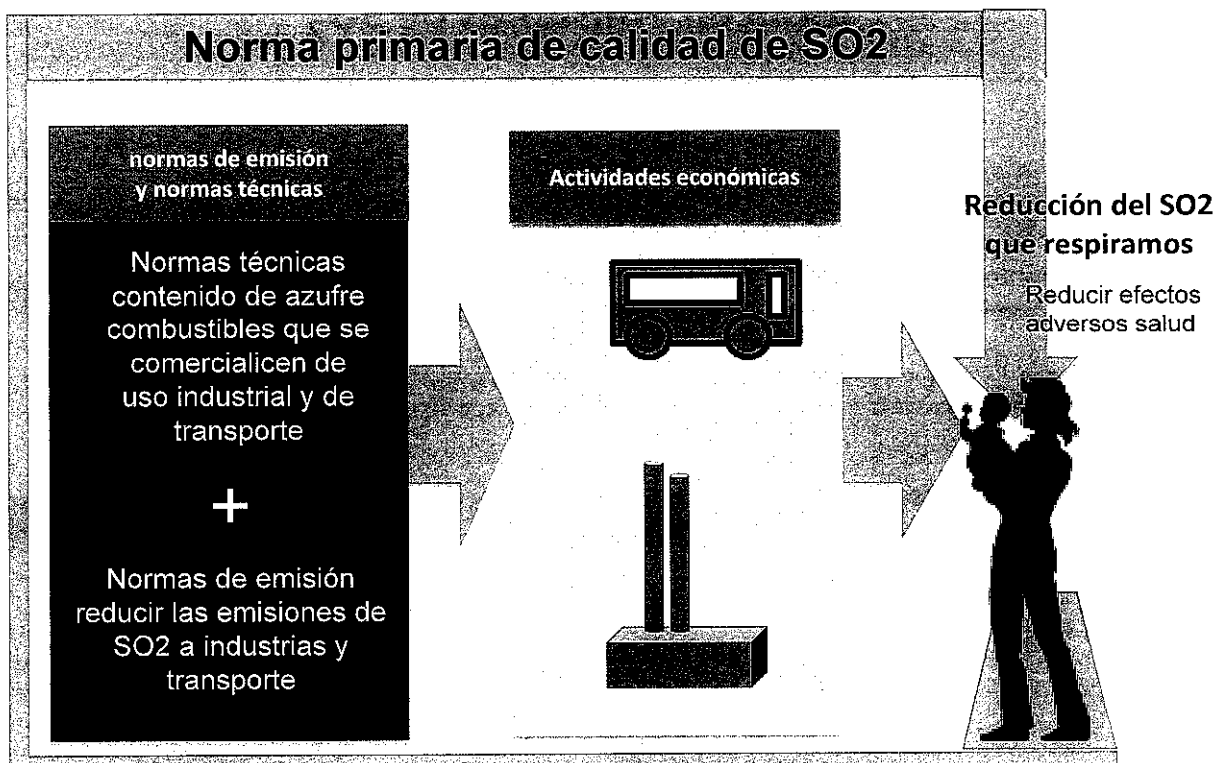


**SO<sub>2</sub> se convierte en lluvia ácida que daña la vegetación**

Fuente: OPS, 2010, "Salud Ambiental de lo global a lo local", pág. 373 - 374.

# ¿En qué consiste la gestión para reducir el SO<sub>2</sub> ambiental en el aire que respiramos?

En términos simples la gestión para reducir el SO<sub>2</sub> en el aire...

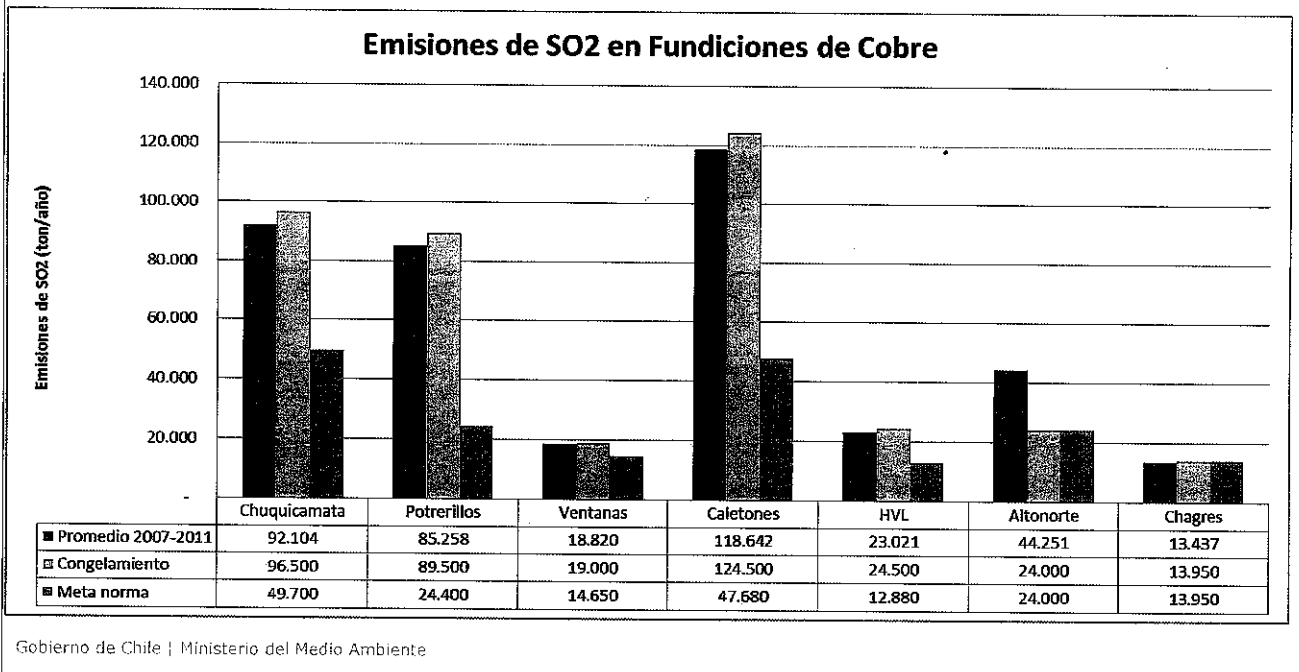


Fuente: Departamento de Normas, MMA

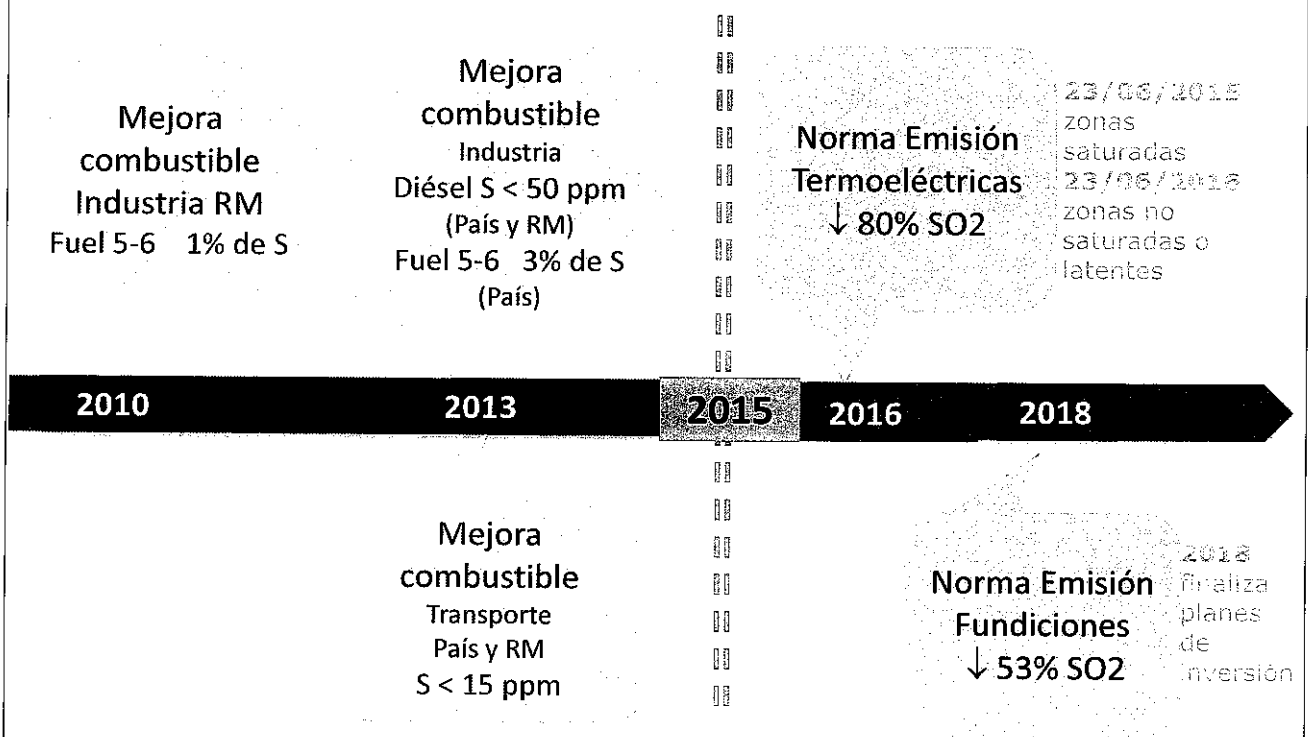
000679

vTA

## Efecto en la **norma primaria de calidad** de SO<sub>2</sub> producto de la reducción de SO<sub>2</sub> por la **norma de emisión** para fundiciones



## Calendario de implementación de otros instrumentos que reducen emisiones de SO<sub>2</sub>

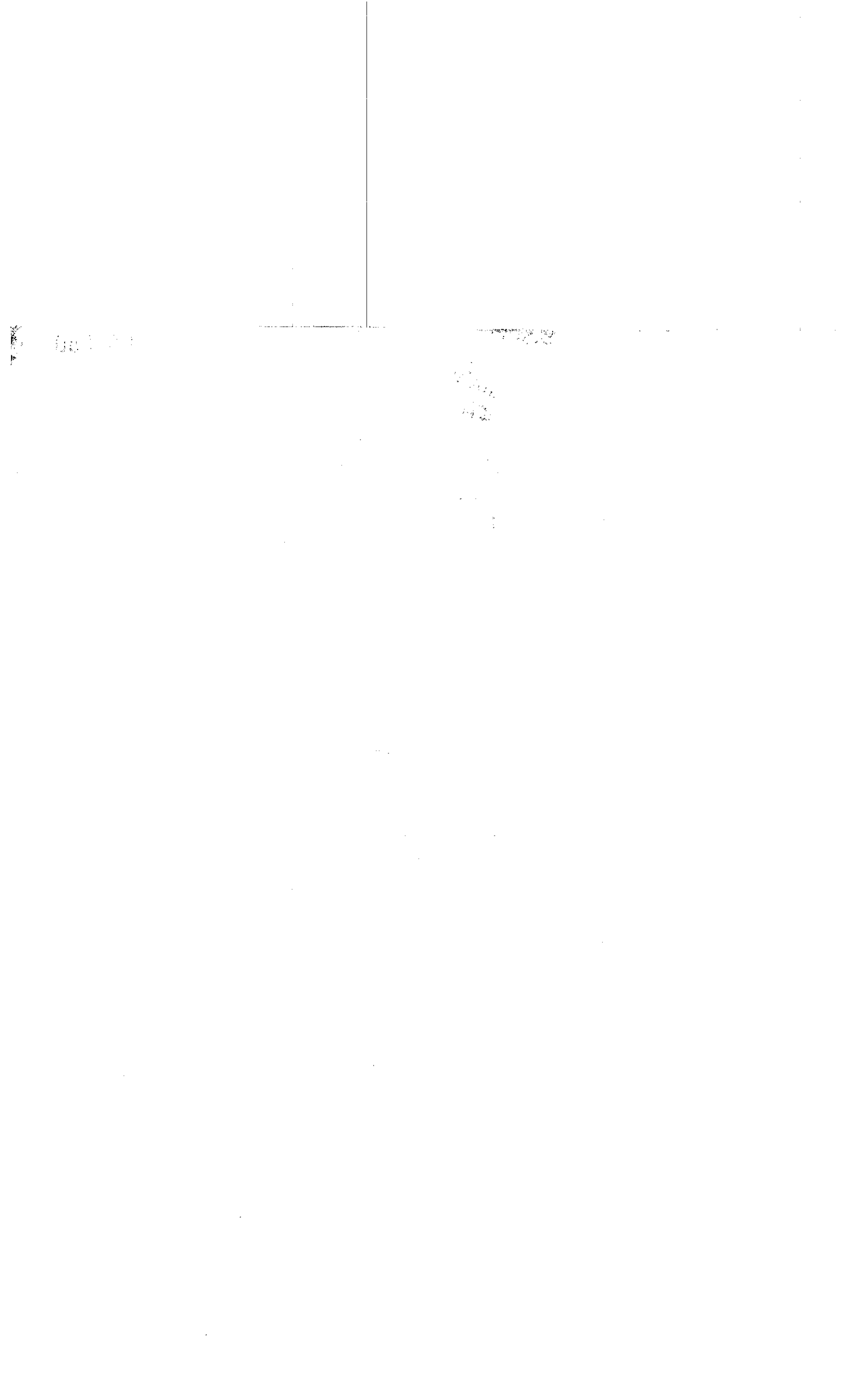




Seminario - Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
Ministerio del Medio Ambiente  
Jueves 23 de Abril  
Auditorium CORFO. Moneda 921, 2do piso. Santiago

# Gestión integrada para la reducción del dióxido de azufre en la atmósfera

Priscilla Ulloa  
MSc Ingeniería Ambiental  
Departamento de Normas  
División Calidad del Aire y Cambio Climático



## **Evolución y enfoque a nivel internacional y propuesta para Chile de las normas de calidad primarias de dióxido de azufre**

Carmen Gloria Contreras  
Master Políticas Públicas  
Jefa Departamento de Normas  
División Calidad del Aire y Cambio Climático

### Objetivo de la presentación:

Revisión norma  
primaria de  
calidad del aire  
para dióxido de  
azufre (SO<sub>2</sub>)



Normas de 1  
hora, 24 horas  
y anual de SO<sub>2</sub>



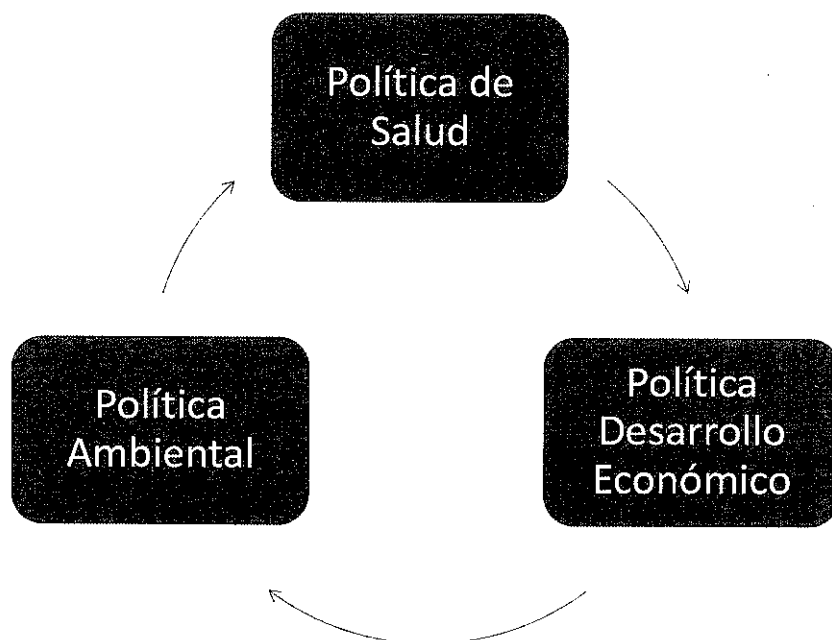
Niveles de  
Emergencia

000681

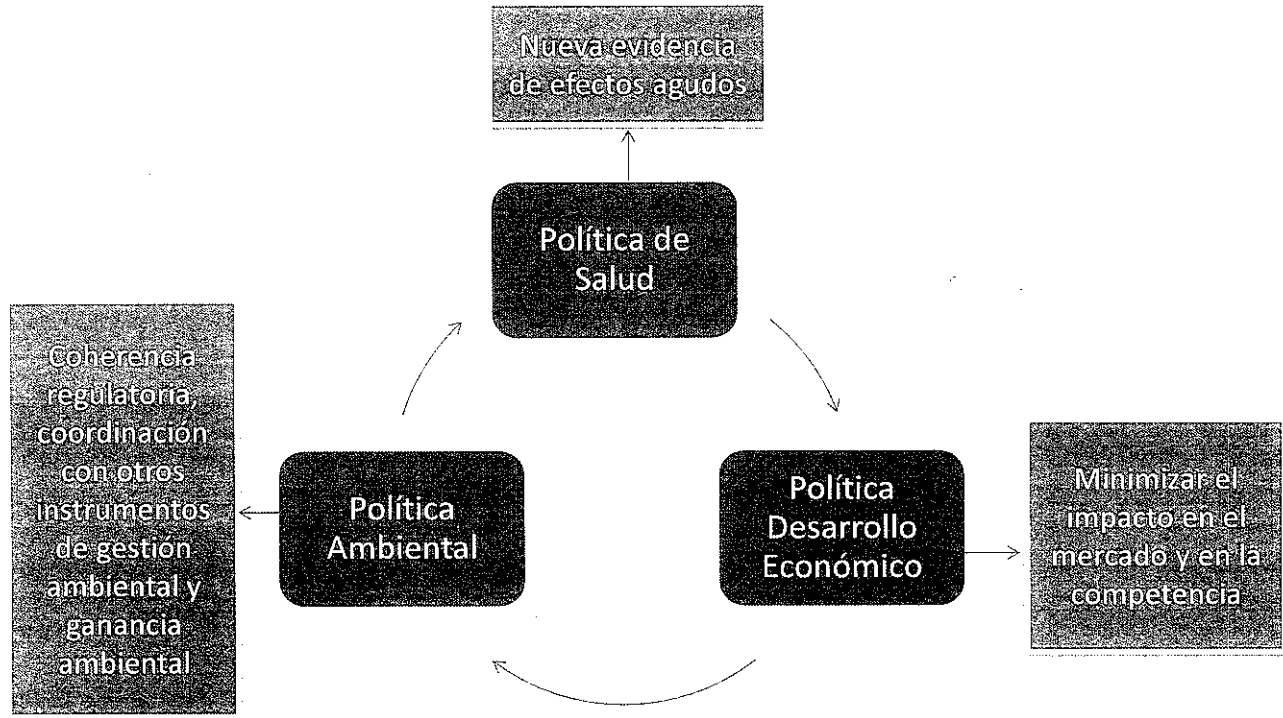
MA

# Criterios y enfoque para revisar la norma primaria de SO<sub>2</sub>

**Criterios para revisar la norma primaria de SO<sub>2</sub>**  
Conciliar distintos objetivos de política pública



# «Un activo rol del Estado inspirado en la equidad ambiental y el bien común»



## Criterios para revisar la norma primaria SO2

Coordinación con otros instrumentos de gestión ambiental

Plazos para que las actividades económicas integren planes de inversión para cumplir con normas de emisión

Termoeléctricas ya cuentan con norma de emisiones nocivas

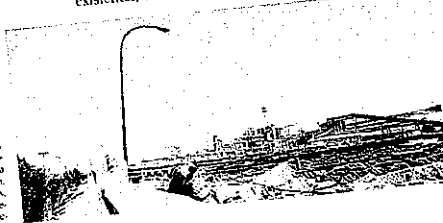
Nueva norma para fundiciones reduciría en 53% emisiones promedio de dióxido de azufre

Empresas deberán instalar un sistema de monitoreo de contaminantes.

Una agresiva disminución en las emisiones es lo que busca el anteproyecto de Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Plomo. Emisiones de Arsenico publicada hoy en el diario oficial por el Ministerio del Medio Ambiente, con lo cual se da inicio al proceso de consulta pública que tendrá una duración de 60 días hábiles, para luego elaborar el proyecto definitivo que se llevará al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad hacia fines del próximo año.

El documento busca crear una norma que regule las emisiones de dióxido de azufre (SO2) que generan las fundiciones de cobre. En la actualidad las emisiones de este contaminante no están reguladas caso a caso mediante planes de descontaminación. En el país, hay diez fundiciones, cuatro de ellas —Chuquiaguata, Cateñones, Potosillos y Ventanas— propie-

La publicación establece parámetros que consideran una tasa de captura del 95% de emisión anual de dióxido de azufre (SO2) y arsénico (As) para las fundiciones existentes, con un plazo de cumplimiento de cinco años.



to del límite actual, y una disminución del 53% en las emisiones promedio de los últimos 5 años.

Para el arsénico, disminuye el 58% respecto del límite actual y 37% de reducción respecto a la cantidad año 2015.

Con la vigencia del límite mencionado 810 ppm de SO2, se reduce entre un 80% y un 95% el número de horas que se superado dicho está-

**Ministerio: Una fundición contamina igual que toda termoeléctricas**

De acuerdo a la cartera de María Ignez Benítez, las fundiciones de cobre son las principales emisoras de dióxido de azufre (SO2) en el país. Por la Fundición de Cateñones en

FAMILIA 2014/1402

Prácticamente la totalidad de las termoeléctricas tendrán que adaptarse a la nueva norma de emisiones que obliga a la reducción de material particulado (PM) debido de rango (NOx) y debido de azufre (SO2). Todos los componentes dañinos para la salud y que afectan principalmente a las personas que viven entre Antofagasta y Valparaíso.

La nueva normativa fue publicada ayer en el Diario Oficial y comienza a regir inmediatamente.

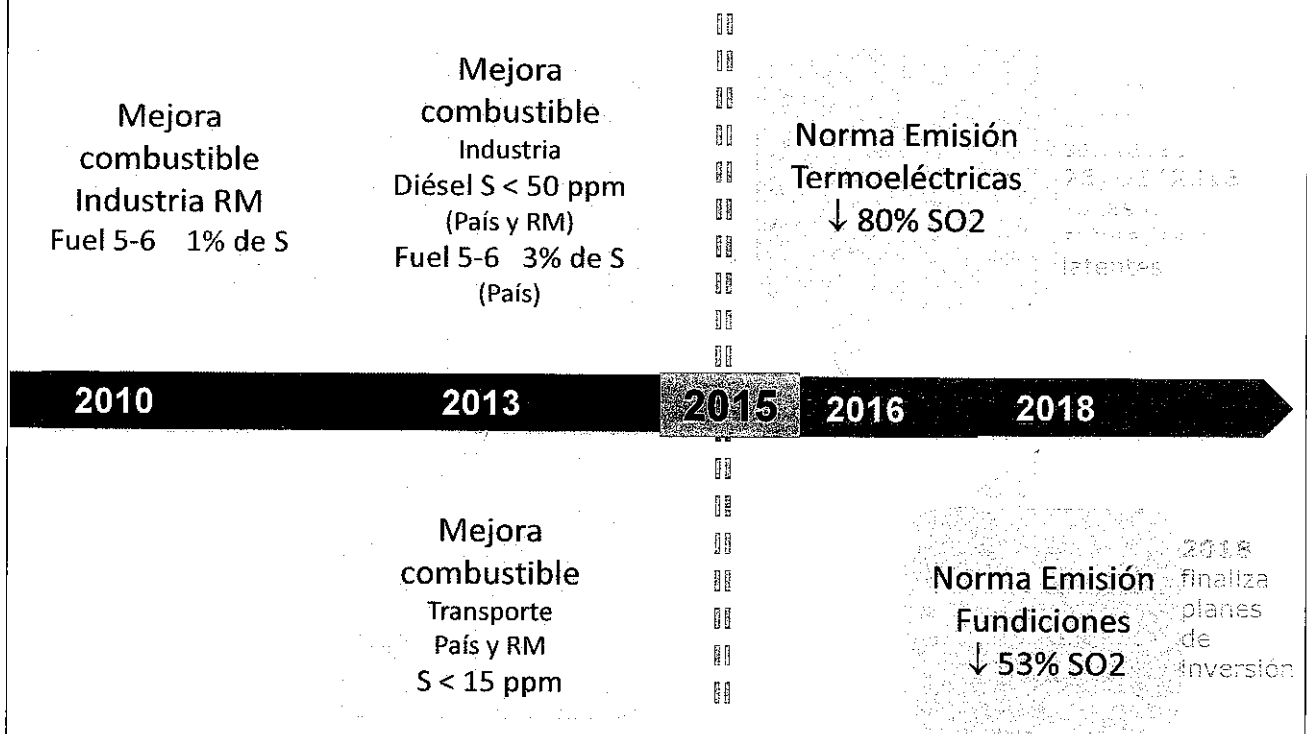
De las termoeléctricas que funcionan a carbón o petróleo Petropower cumple con la norma de dióxido de azufre. La que más emite es Chilecoda con 3.260 mg/m3 y deberá bajar a 400 mg/m3.

Y en lo referido a emisión de nitrógenos, estas termoeléctricas tiene el parámetro un poco mejor. De las 15 a carbón, siete cumplen con la norma, mientras que Movelcom es la que emite mayor cantidad de este contaminante.

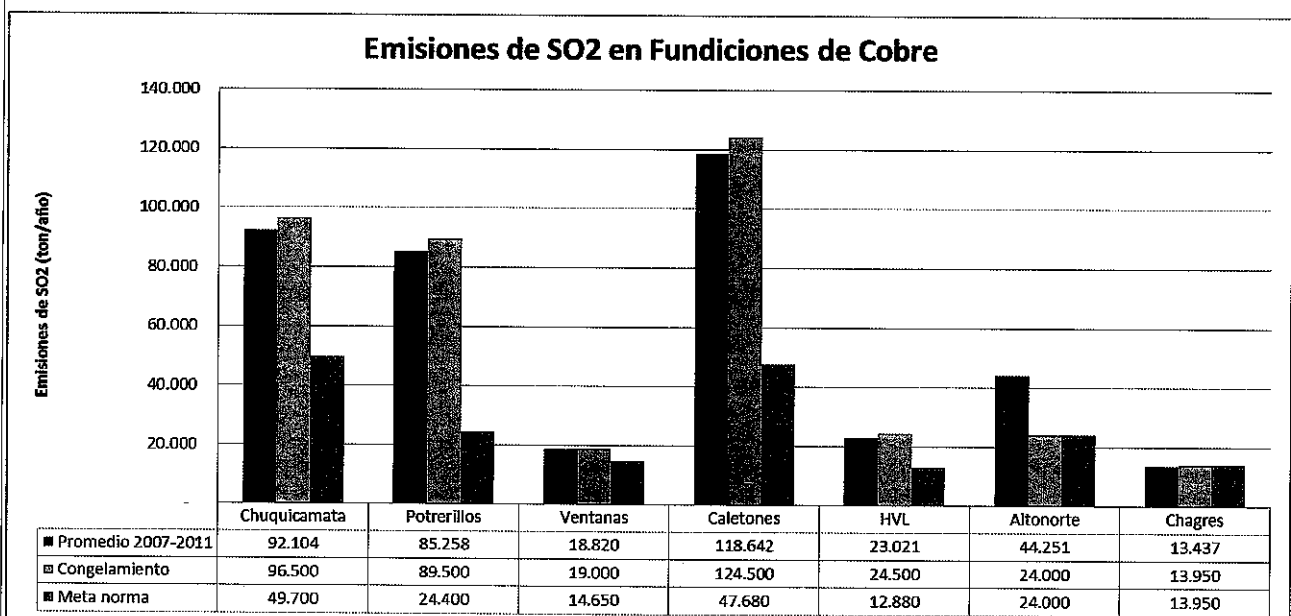
Junto con disminuir estos elementos

000682  
VTA

## Calendario de implementación de otros instrumentos que reducen emisiones de SO<sub>2</sub>



## Reducción esperada de SO<sub>2</sub> por fundición:



## Criterios para revisar la norma

### Asignación de **costos** y **beneficios**

- Costos internalizados en planes de inversión en **termoeléctricas** debido a la norma de emisión para termoeléctricas
- Costos internalizados en planes de inversión en **fundiciones** debido a la norma de emisión para fundiciones de cobre
- **Beneficios:** Ganancia Ambiental – Agenda Ambiental avanza con otras políticas públicas

9

### Alcance geográfico de los beneficios Norma Fundiciones

#### Macrozona Norte:

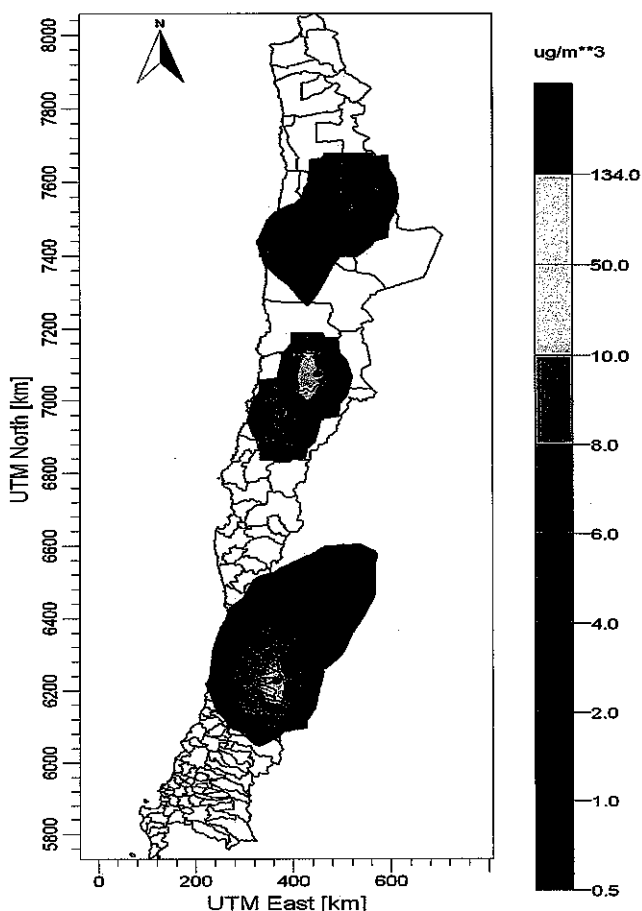
- Región de Antofagasta
- Región de Atacama

#### Macrozona Central:

- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Región de O'Higgins
- Región del Maule

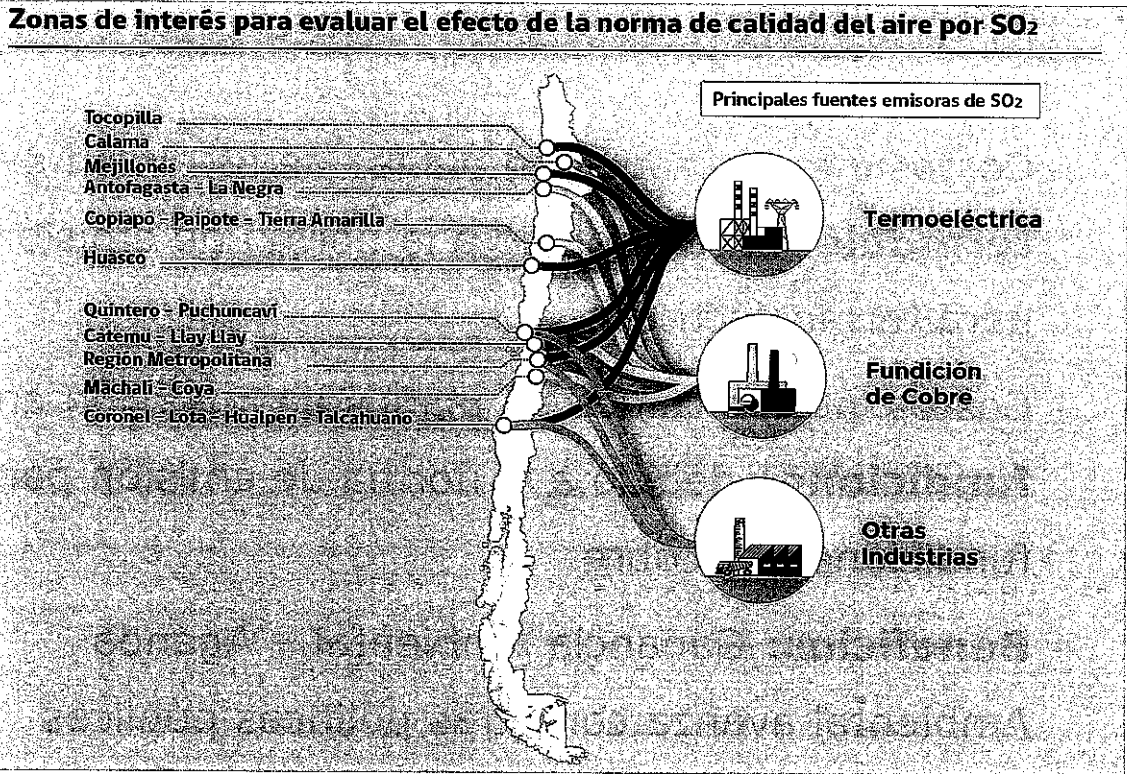
Distribución espacial de la diferencia de las concentraciones anuales de  $\text{SO}_2$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del escenario 95% de captura y fijación de  $\text{SO}_2$  con respecto al caso base

Fuente: Estudio MMA - Geoaire 2011.



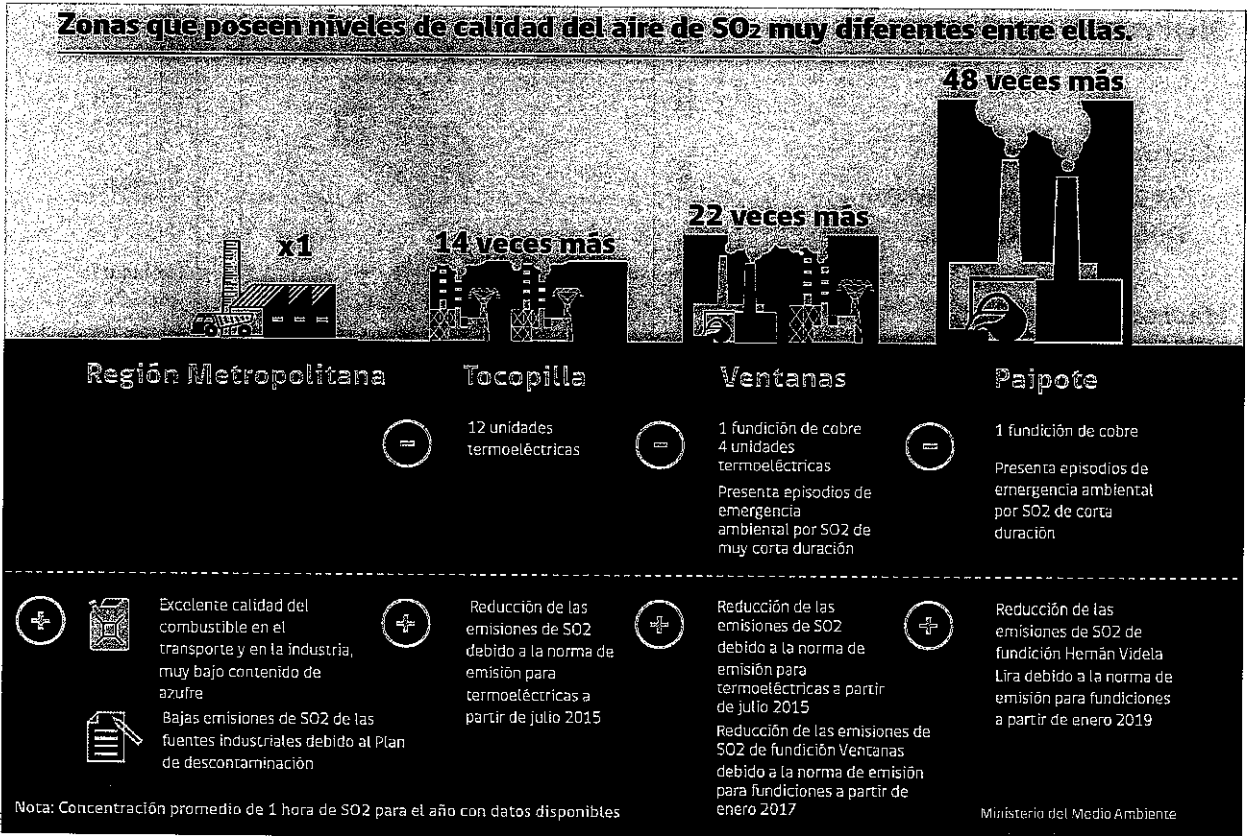
000633

**Criterios para revisar la norma:**




Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

**Criterios para revisar la norma:**





# Evolución de las normas de calidad primarias de SO<sub>2</sub> a nivel internacional y en Chile

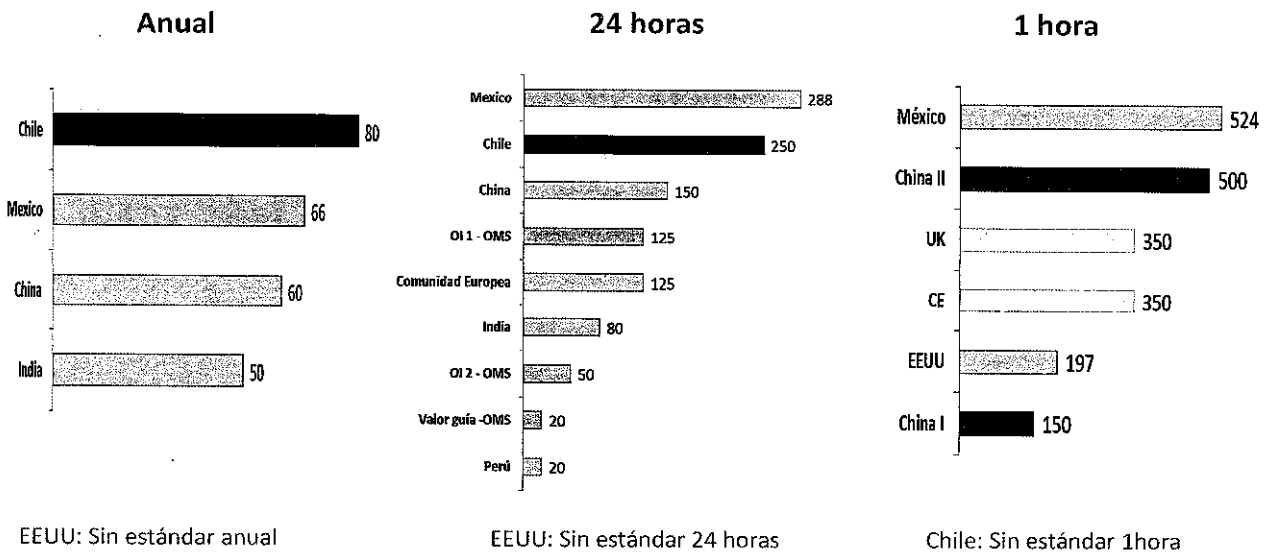


Organismo/País	10 minutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Anual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Entrada en vigencia
Organización Mundial de Salud	500		20		2005
OMS Objetivo Intermedio 1			125		2005
OMS Objetivo Intermedio 2			50		2005
Comunidad Europea		350	125	No establece	2008
Estados Unidos		197	No establece	No establece	2010
México		524	288	66	2011
China, zona pristina		150	50	20	2016
China, zona urbana		500	150	60	2016
Chile primaria	No establece	No establece	250	80	2003

000634

VTR

## Comparación con estándares internacionales de SO<sub>2</sub> (µg/Nm<sup>3</sup>)



### Caso 1: Unión Europea



CE: 28 países

Se establecen estándares de SO<sub>2</sub> 24 horas y 1 hora, dando un plazo de 6 años

Entra en vigencia los estándares de SO<sub>2</sub> 24 horas y 1 hora

Se mantienen los estándares de SO<sub>2</sub> y se cumplen en toda la U.E.

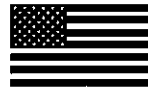
1999

2005

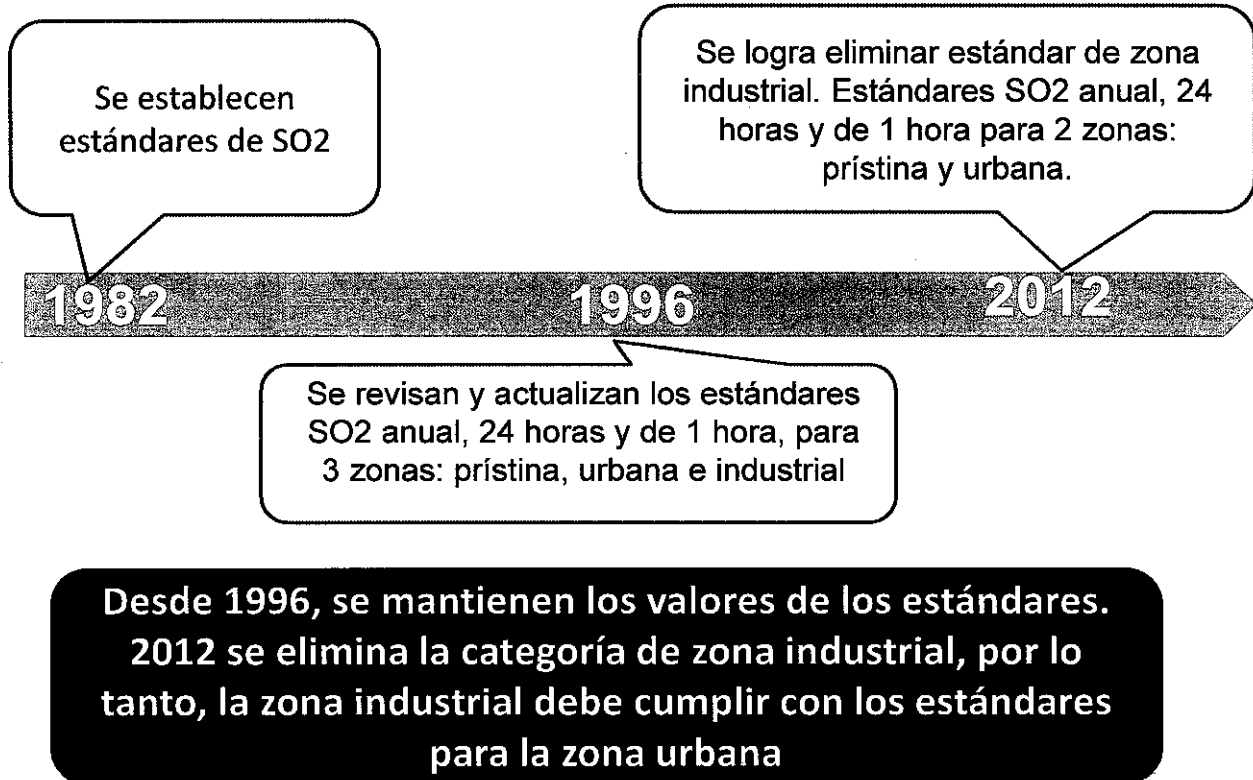
2015

Los países europeos comenzaron a establecer normas de calidad de SO<sub>2</sub> desde los 70s  
Es de interés por la lluvia ácida

## Caso 2: Estados Unidos (EPA – US)



## Caso 3: China



000685

## Caso 4: Chile



	1978	1992	2003	2015
<b>Estándar <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Resolución N°1.215 Ministerio de Salud	Decreto Supremo N°185 Ministerio de Minería	Decreto Supremo N°113 MINSEGPRES	Revisión de Anteproyecto
<b>Anual</b>	80	Se mantiene	Se mantiene	↓
<b>24 horas</b>	365	Se mantiene	↓ 250	↓
<b>1 hora</b>	No se estableció	No se estableció	No se estableció	Establecer norma horaria
<b>Niveles de Emergencia</b>	No se estableció	Alerta: 1.962-2.615 Advertencia: 2.616-3.923 Emergencia: $\geq 3.924$	Se mantiene	Actualizar

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

### Otro antecedente:

### Comparación entre norma primaria y secundaria de SO<sub>2</sub> en Chile

Chile	1 hora $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entrada en vigencia
primaria	No se establece	250	80	2003
Secundaria zona norte	1.000	365	80	2010
Secundaria zona sur	700	260	60	2010

# Escenarios de normas de 1 hora, 24 horas y anual de SO<sub>2</sub>

## Escenarios de estándares de SO<sub>2</sub>

	1 hora	24 horas	Anual	Comentario
	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	
<b>actual</b>	No se establece (1000/700)	250 (365/260)	80 (80/60)	Valor estándar norma primaria D.S. 113/2003 Norma secundaria (Norte/Sur) D.S. 22/2010
<b>E1</b>	197	--	--	Valor que no requiere establecer estándar de 24 horas y anual. Modelo EEUU.
<b>E2</b>	350	125	60	1 hora: Estándar Comunidad Europea 24 horas: Primer objetivo intermedio OMS Anual: Norma secundaria Chile
<b>E3</b>	500	150	60	1 hora: México (530) – China (zona urbana 500) 24 horas: China (zona urbana) Anual: Norma secundaria chilena

000686

7A

## Desafíos en la revisión y actualización de la norma

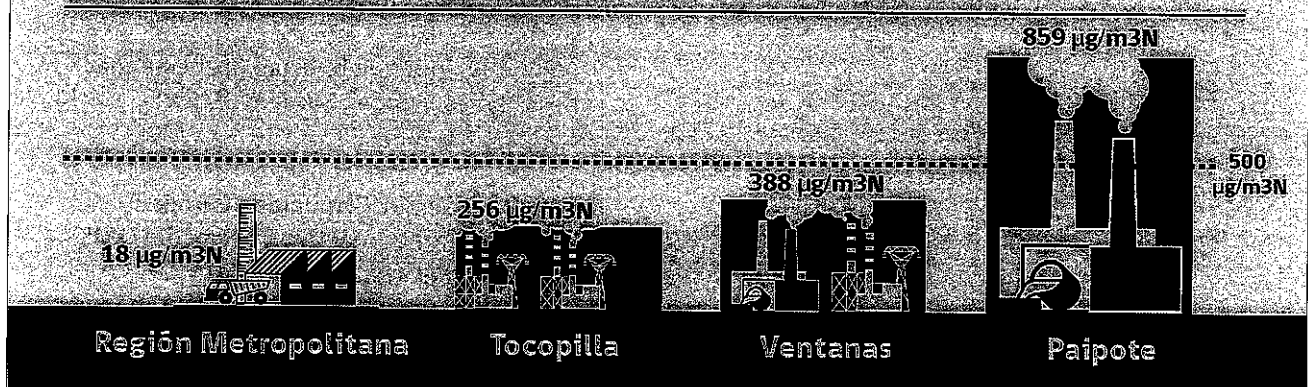
	1978	1992	2003	2015
<b>Estándar <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Resolución N°1.215 Ministerio de Salud	Decreto Supremo N°185 Ministerio de Minería	Decreto Supremo N°113 MINSEGPRES	<b>Revisión de Anteproyecto</b>
<b>Anual</b>	80	Se mantiene	Se mantiene	↓
<b>24 horas</b>	365	Se mantiene	↓ 250	↓
<b>1 hora</b>	No se estableció	No se estableció	No se estableció	<b>Establecer norma horaria</b>
<b>Niveles de Emergencia</b>	No se estableció	Alerta: 1.962-2.615 Advertencia: 2.616-3.923 Emergencia: $\geq 3.924$	Se mantiene	<b>Actualizar</b>

Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

## Criterios para revisar la norma:

Ejemplo si se establece una **norma horaria de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-N}$**

**Zonas que poseen niveles de calidad del aire de  $\text{SO}_2$  muy diferentes entre ellas.**



Gobierno de Chile | Ministerio del Medio Ambiente

Seminario - Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
Ministerio del Medio Ambiente  
Jueves 23 de Abril  
Auditorio CORFO. Moneda 921, 2do piso. Santiago

# **Evolución y enfoque a nivel internacional y propuesta para Chile de las normas de calidad primarias de dióxido de azufre**

Carmen Gloria Contreras  
Master Políticas Públicas  
Jefa Departamento de Normas  
División Calidad del Aire y Cambio Climático

Vertical line on the left side of the page.

Small, faint text or markings in the upper left quadrant.

Small, faint text or markings in the upper middle section.

Small, faint text or markings in the upper right quadrant.

Small, faint text or markings in the middle right section.

Small, faint text or markings on the far right edge.



Seminario - Comité Ampliado Norma Primaria de Dióxido de Azufre  
Ministerio del Medio Ambiente  
Jueves 23 de Abril  
Auditorio CORFO. Moneda 921, 2do piso. Santiago

# Modelos para gestionar los niveles de emergencia de SO<sub>2</sub> y desafíos del modelo chileno



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

**Cristián Ibarra Fernández**

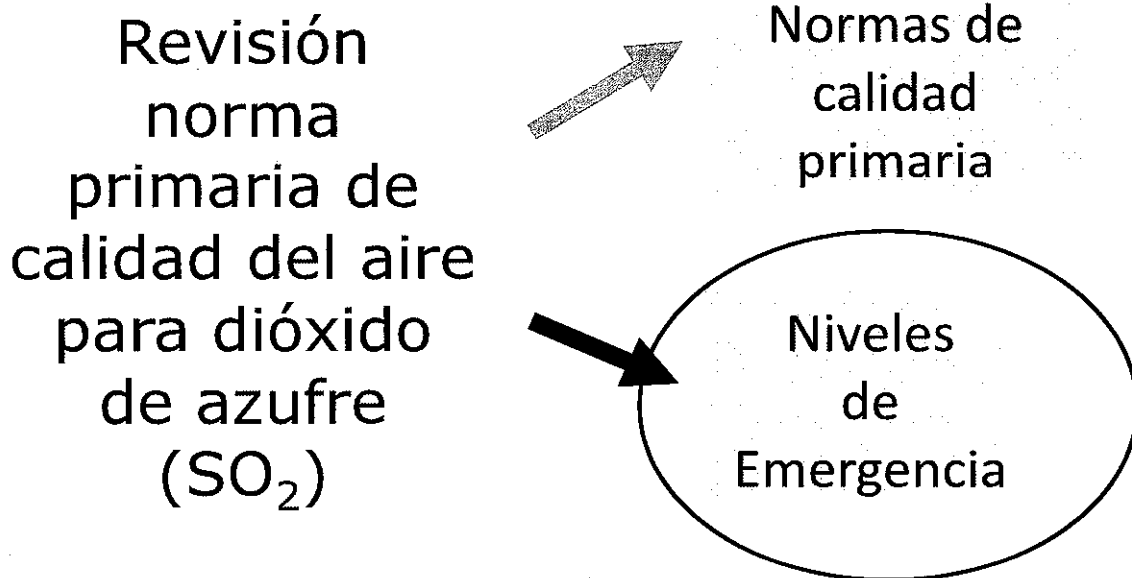
Departamento de Normas

División de Calidad del Aire y cambio Climático

Ministerio del Medio Ambiente

Gobierno de Chile

## Objetivo de la presentación:



000688

VT4

# Niveles de Emergencia

3

La ley 19.300 establece que las normas primarias ***“definirán los niveles que originan situaciones de emergencias”***.

Sin establecer ninguna definición ni característica para ellos  
(artículo 32)

4

## ¿Qué instrumentos activan los niveles de emergencia?

- ✓ Los planes de descontaminación a través de los planes operacionales de gestión de episodios
- ✓ Las alertas sanitarias del Ministerio de Salud, amparadas en el Código Sanitario

5

## ¿Toda norma de calidad primaria requiere establecer niveles de emergencia?

No, depende de la evidencia toxicológica y epidemiológica de los efectos agudos sobre los grupos sensibles de la población, de las rutas y tiempo de exposición al contaminante.

La evidencia indica que **episodios de SO<sub>2</sub>** genera efectos agudos sobre grupos sensibles: infantes, niños, adulto mayor, mujeres embarazadas, alérgicos y grupos de asmáticos.

6

000689  
07A

## ¿Objetivos de los niveles de emergencia?

Local e internacionalmente, se usan los niveles de emergencia con el fin de **reducir la exposición de la población**, en situaciones de episodios de contaminación.

Los valores de los **Niveles** son independientes de los valores que se establecen para los valores de la norma.

7

## Episodios por SO<sub>2</sub> en la zona Quintero-Puchuncaví

### La Greda

El 23 de marzo del 2011, cerca de 100 alumnos de la escuela La Greda, ubicada a menos de 500 metros de la Fundición Ventanas, sufrieron una intoxicación por gases.



# Modelos internacionales usados en episodios de emergencia de SO<sub>2</sub>

9

## Modelos para informar a la población sobre la calidad del aire

### Índice de calidad del aire

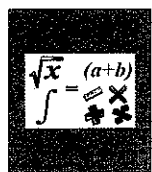
**Objetivo** Minimizar la exposición de las personas en episodios de contaminación.

**¿Cómo?** Informando al público sobre el *estado de la calidad del aire* de una manera sencilla y de fácil entendimiento.

A través de la definición de niveles que se establecen por formulas de calculo a partir de las concentraciones de los contaminantes.

#### Concentraciones (ppb, µg/m<sup>3</sup>N)

SO<sub>2</sub> →  
NO<sub>2</sub> →  
O<sub>3</sub> →  
CO →  
PM<sub>10</sub> →  
PM<sub>2.5</sub> →



Valor  
índice de calidad  
(nivel o rango)

Condición  
Calidad del  
aire

Recomendaciones  
a la población

10

000630

## Algunos índices de calidad reportados en el mundo

Fuente: Clean Air Asia, 2013

Índice	Representa	País donde se implementa
AQI	Air Quality Index	Estados Unidos, Tailandia, Abu Dabi, China
API	Air Pollution Index	Hong Kong, China, Malasia
AQHI	Air Quality and Health Index	Canadá
CAQI	Common Air Quality Index	Unión Europea
DAQI	Daily Air Quality Index	Reino Unido
PSI	Pollution Standard Index	Singapur
CAI	Community Air Quality Index	Corea del Sur

En la práctica todos los modelos persiguen el mismo objetivo

11

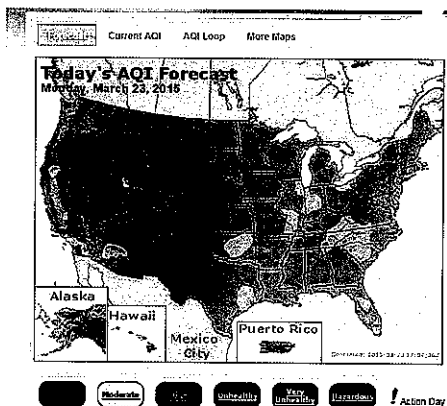
## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### Estados Unidos



- AQI (Air Quality Index, Índice de Calidad del Aire) (<http://www.airnow.gov/>)

Estados Unidos utiliza un algoritmo que determina la condición de calidad del aire: bueno, moderado, insalubre para grupos vulnerables e insalubre a partir de las **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Cuándo AQI está en este rango:	Caracterizado por el color:	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub>	
			ppb	µg/m <sup>3</sup> N
0 - 50	Verde	Bueno	0 - 35	0 - 92 (1h)
51 - 100	Amarillo	Moderado	36 - 75	94 - 197 (1h)
101 - 150	Naranja	Insalubre para grupos sensibles	76 - 185	199 - 484 (1h)
151 - 200	Rojo	Insalubre	186 - 304	487 - 795 (1h)
201 - 300	Purpura	Muy insalubre	305 - 604	798 - 1.580 (24h)
301 - 500	Marrón	Peligroso	605 - 1.004	1.582 - 2.626 (24h)

Nota: (1h) se usan concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

(24h) se usan concentraciones de 24 horas de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire. 12

## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### AQI Calculator: Concentration to AQI

**AQI**  
AIR QUALITY INDEX

Select a criteria pollutant and enter the pollutant concentration in the specified units above; the Air Quality Index and associated information are calculated below.

Select a Pollutant  
SO<sub>2</sub> - Sulfur Dioxide (1hr avg)

Units Required: ppb

Enter the Concentration: 190 Calculate Reset

AQI: 153 AQI Category: [Redacted]

Sensitive Groups	Health Effects Statements	Cautionary Statements
People with asthma are the group most at risk.	Increased respiratory symptoms, such as chest tightness and wheezing in people with asthma; possible aggravation of heart or lung disease.	Children, asthmatics, and people with heart or lung disease should limit outdoor exertion.

Los niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares deben limitar los esfuerzos al aire libre.

Aumento de los síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y sibilancias en personas con asma; posible agravamiento de la enfermedad cardíaca o pulmonar.

Fuente: [http://www.airnow.gov/index.cfm?action=resources.conc\\_aqi\\_calc](http://www.airnow.gov/index.cfm?action=resources.conc_aqi_calc)

13

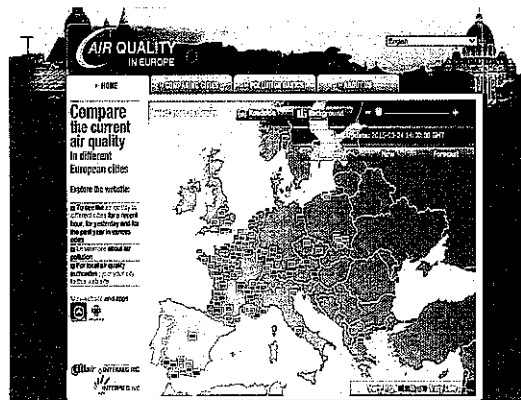
## Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### Unión Europea



- CAQI (Common Air Quality Index) (<http://www.airqualitynow.eu/>)

CAQI está diseñado para presentar y comparar la calidad del aire en tiempo casi real. CAQI tiene 5 niveles, usando una escala desde 0 (muy bajo) a > 100 (muy alto). CAQI utiliza **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Cuándo CAQI está en este rango:	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> N
25 - 50	Baja	51 - 100
50 - 75	Medio	101 - 350
75 - 100	Alto	351 - 500
> 100	Muy Alto	> 500

14

000891

Modelos internacionales

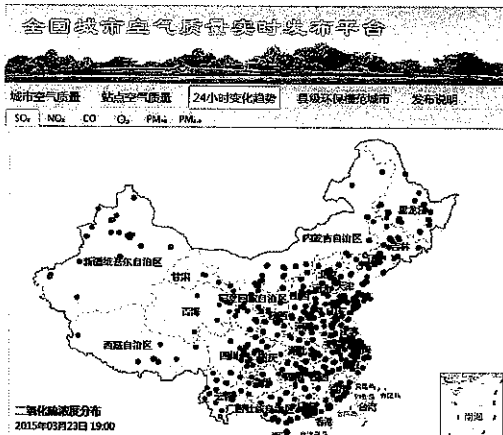
para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

China



- API (Air Pollution Index)
- AQI (Air Quality Index)

En el 2011 China comienza a utilizar AQI en vez de API, ambos indicadores se estiman a partir de las **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



Condición de calidad del aire:		Rango del índice	Concentraciones SO <sub>2</sub>
API (desde 2000)	AQI (desde 2011)		µg/m <sup>3</sup> N
Excelente	Excelente	0 – 50	0 - 150 (1h)
Bueno	Bueno	51 – 100	151 - 500 (1h)
Muy ligeramente contaminado	Ligeramente contaminado	101 – 150	501 - 650 (1h)
Ligeramente contaminado	Moderadamente contaminado	151 – 200	651 - 800 (1h)
Moderadamente contaminado	Altamente contaminado	201 – 300	801 - 1.600 (24h)
Altamente contaminado	Severamente contaminado	> 300	> 1.600 (24h)

<http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>

Nota: (1h) se usan concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire. (24h) se usan concentraciones de 24 horas de SO<sub>2</sub> para estimar la condición de calidad del aire.

Modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

México



- IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire) (<http://www.aire.df.gob.mx/default.php>)

México utiliza **concentraciones horarias** de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para estimar el Índice Metropolitano de Calidad del Aire.



Cuándo IMECA esta en este rango:	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub>		Efectos a la salud
		ppm	µg/m <sup>3</sup> N	
0 – 50	Buena	0 - 0,055	0 - 170	Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.
51 – 100	Regular	0,066 - 0,130	171 - 340	Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades.
101 – 150	Mala	0,131 – 0,195	341 - 510	Causante de efectos adversos a la salud de la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.
151 – 200	Muy mala	0,196 – 0,260	511 - 680	Causante de mayores efectos adversos a la salud de la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.
> 200	Extremadamente mala	> 0,260	> 680	Causante de efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares o respiratorias como el asma.



## Referencias de modelos internacionales para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

- 1) Estados Unidos [www.airnow.gov](http://www.airnow.gov)
- 2) Unión Europea [www.airqualitynow.eu](http://www.airqualitynow.eu)
- 3) China <http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>
- 4) México [www.aire.df.gob.mx/default.php](http://www.aire.df.gob.mx/default.php)

17

# Modelo de Niveles de Emergencia de SO<sub>2</sub> usado en Chile

18

000692

VTA

## Niveles de Emergencia de Chile para informar a la población sobre episodios de SO<sub>2</sub>

### Chile



- Chile establece 3 niveles de emergencia a partir de *concentraciones horarias* de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

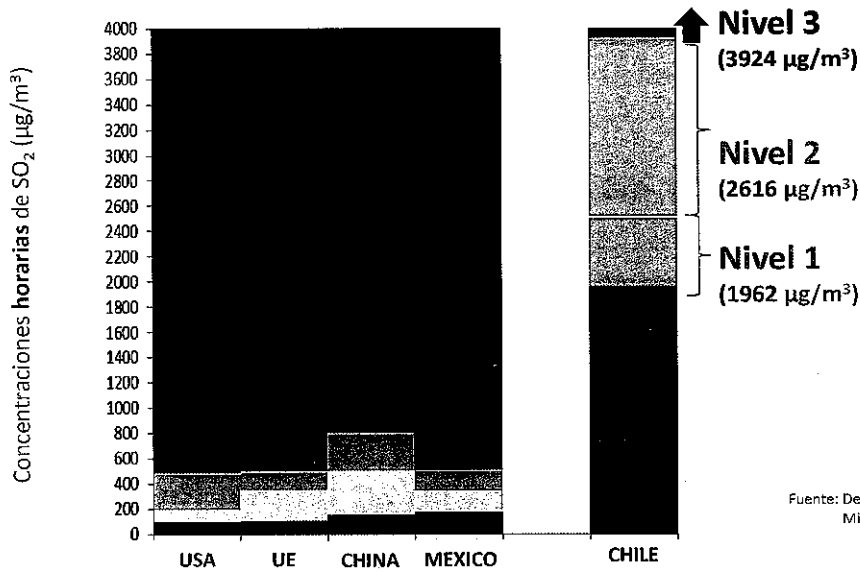
(DS185/1992; DS113/2003; <http://www.leychile.cl/N?i=208200&f=2003-03-06&p=>)

Nivel	Condición de calidad del aire:	Concentraciones SO <sub>2</sub>		Medidas de precaución
		ppbv	µg/m <sup>3</sup> N	
Nivel 1	Alerta	750 – 999	1.962 – 2.615	Anzianos y personas con enfermedades cardíacas y respiratorias deberán permanecer en sus casas. En ellas se deberán cerrar puertas y ventanas.
Nivel 2	Advertencia	1.000 – 1.499	2.616 – 3.923	Adicionalmente a lo anterior los escolares deberán suspender las clases de gimnasia y las actividades en el exterior.
Nivel 3	Emergencia	> 1.500	> 3.924	Adicionalmente a lo anterior, todas las personas deben permanecer en sus casas minimizando las actividades físicas, desplazándose sólo para concurrir a su trabajo o por razones de fuerza mayor.

19

Comparación  
entre  
modelos de  
distintos países  
con Chile

## Comparación entre modelos de distintos países con Chile



Fuente: Departamento de Normas  
Ministerio del Medio Ambiente

Moderado	Nivel aceptable, de cuidado para grupos vulnerables.
Insalubre población sensible	Nivel crítico para grupos vulnerables; produce limitaciones y efectos de salud en los grupos sensibles.
Insalubre	Nivel muy crítico para grupos vulnerables, repercusiones nocivas en miembros de grupos de riesgo (niños, de edad avanzada o personas débiles), también causa molestias desagradables en el público en general.
Muy Insalubre	Nivel que puede tener un grave impacto en miembros de grupos de riesgo en caso de exposición aguda.
Peligroso	Nivel que puede tener efectos nocivos sobre la población en general.

21

# Desafíos de la revisión de la norma, respecto a los Niveles de Emergencia

22

000693

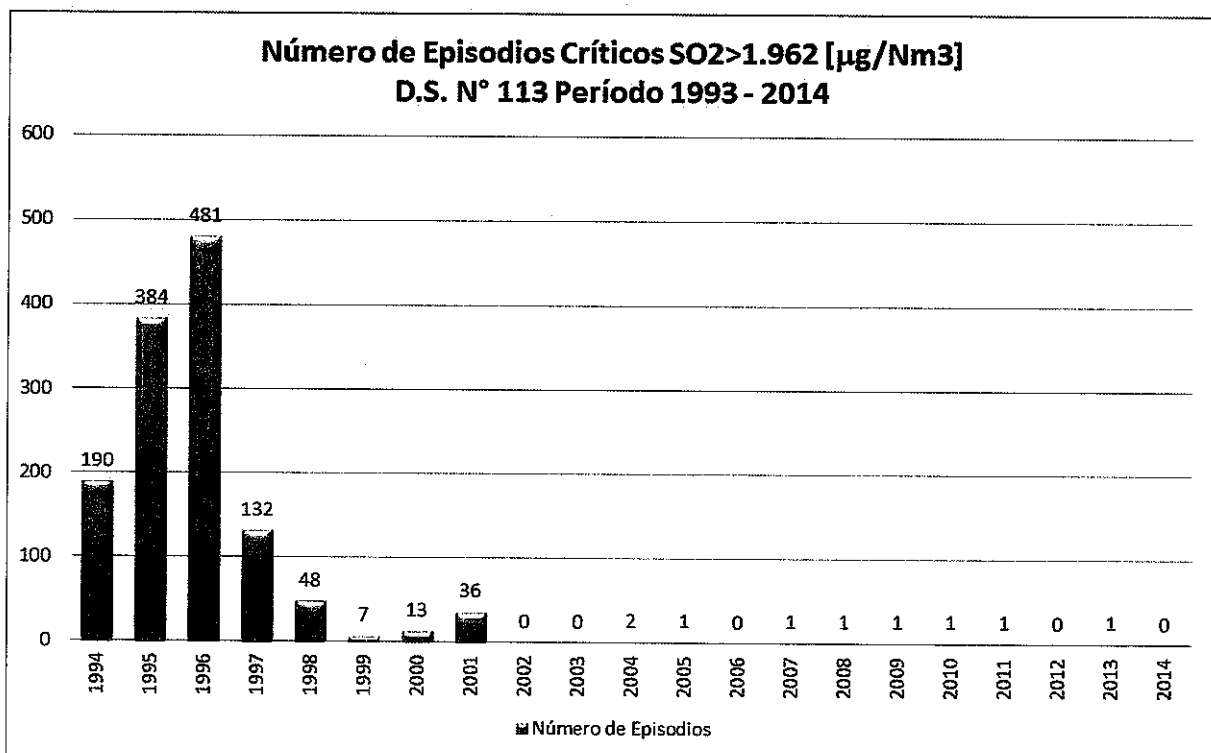
VTA

## Desafíos de la revisión de la norma primaria de SO<sub>2</sub> respecto a los Niveles de Emergencia

- 1) Actualizar los Niveles de Emergencia acorde a las evidencias en salud y los modelos internacionales.
- 2) Que la actualización sea coherente y coordinada con el avance de otros instrumentos de gestión ambiental (normas de emisión para fundiciones y norma de emisión para termoeléctricas).

23

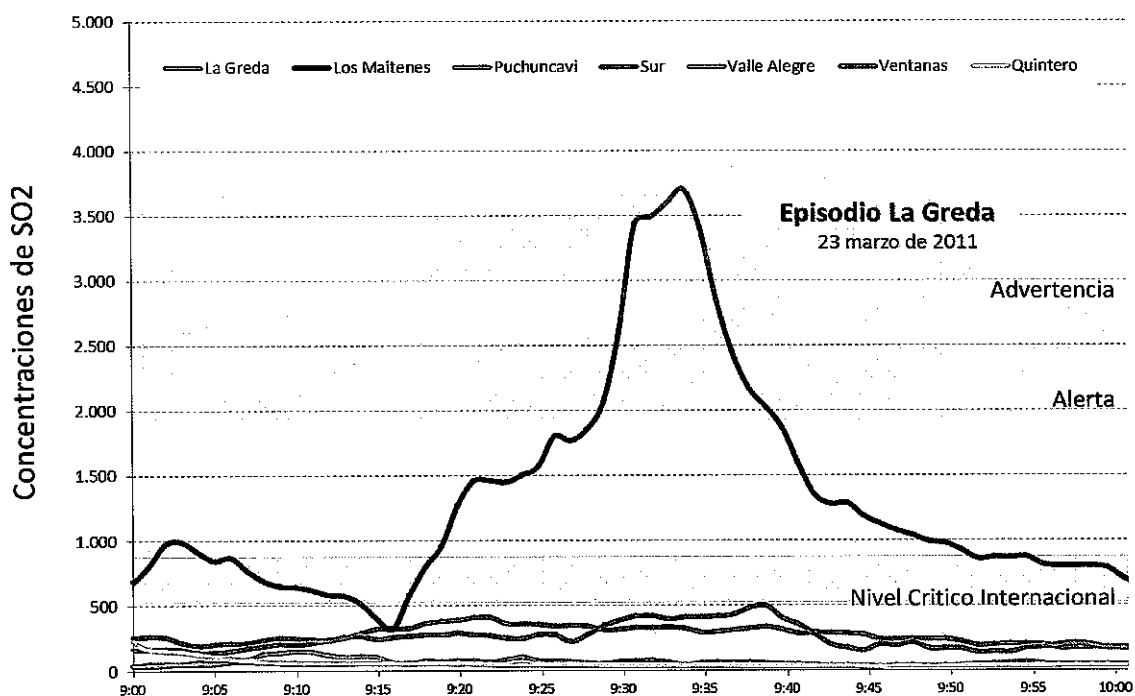
### Zona de Ventanas- Puchuncaví



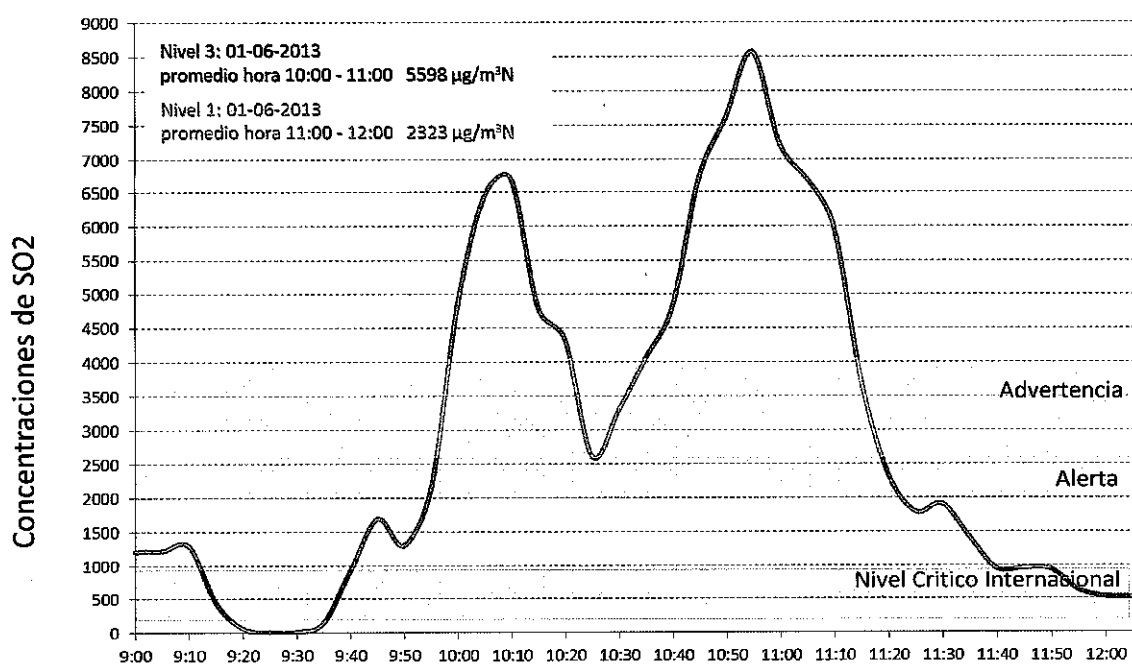
Nota: Información proporcionada por CODELCO-Ventanas en reunión realizada el 13 de enero del 2015.

24

## Episodio de SO<sub>2</sub> en la Greda 23 de marzo de 2011



## Episodio de SO<sub>2</sub> Copiapó - Tierra Amarilla, año 2013



000694  
v7A

## Desafíos en la revisión y actualización de la norma

	1978	1992	2003	2015
<b>Estándar <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Resolución Nº1.215 Ministerio de Salud	Decreto Supremo Nº185 Ministerio de Minería	Decreto Supremo Nº113 MINSEGPRES	<b>Revisión de Anteproyecto</b>
<b>Anual</b>	80	Se mantiene	Se mantiene	↓
<b>24 horas</b>	365	Se mantiene	↓ 250	↓
<b>1 hora</b>	No se estableció	No se estableció	No se estableció	Establecer norma horaria
<b>Niveles de Emergencia</b>	No se estableció	Alerta: 1.962-2.615 Advertencia: 2.616-3.923 Emergencia: $\geq 3.924$	Se mantiene	Actualizar

27

# Muchas Gracias

28

# Resultados AGIES Norma Primaria de SO<sub>2</sub>



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Ministerio del Medio Ambiente de Chile  
23 de Abril de 2015

Gobierno de Chile

## Contenidos

- Antecedentes de la norma
- Análisis de escenarios normativos
  - Metodología AGIES
  - Resultados
- Conclusiones

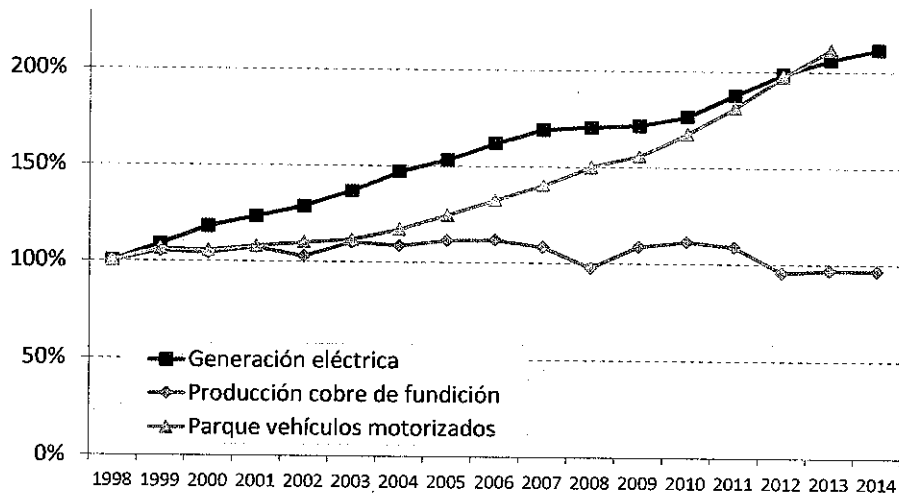


000695

VTA

## Antecedentes Proyecciones de crecimiento

- El desarrollo económico del país implica en una mayor actividad industrial
- Esto redundará en un aumento de emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera y un incremento de los impactos asociados.



## Antecedentes Instrumentos aprobados que regulan SO<sub>2</sub>

- Para enfrentar el problema, se han elaborado diversos instrumentos de reducción de SO<sub>2</sub> en el país.
- Al año 2019 estarán todos los instrumentos de gestión vigentes plenamente operando.

Instrumento regulatorio	Alcance	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
NE. Termoeléctricas	Nacional											
NE. Fundiciones												
Impuestos verdes												
↓S comb. transporte												
↓S comb. industria diésel												
↓S comb. industria	RM											
↓S comb. transporte												
↓S comb. industria diésel												
↓S comb. industria												

consultar, dirigirse a los decretos respectivos.



# Antecedentes

## Ejemplo: norma fundiciones

- ¿Cuál es el efecto de la reducción de emisiones de la norma de fundiciones?
  - La norma de fundiciones reduce aproximadamente un **47%** de las emisiones de SO<sub>2</sub> emitidas en la actualidad
  - Esta reducción de emisiones implica mejoras sustantivas en la calidad el aire y en los efectos en la salud
  - Estos beneficios aún no son percibidos por la población

Indicador	Valor (MMUSD/año)
Beneficios	157
Costos	97

Fuente: AGIES Fundiciones (MMA, 2011). Se ajustó el valor de la vida estadística a 14.900 UF. Tasa de descuento: 6%. Anualización sobre horizonte de evaluación utilizado de 20 años. Se asocia sólo el beneficios producto de la disminución de SO<sub>2</sub>.

# Antecedentes

## Objetivos de la norma

- Objetivo de la norma: "proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire."
  - Incorpora un nuevo estándar horario de regulación
  - Actualiza los estándares diarios y anuales
- La coherencia con los otros instrumentos de gestión ambiental vigentes es un criterio adicional en el diseño de la norma.

000696



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

## ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Gobierno de Chile

7

### Escenarios de norma a analizar

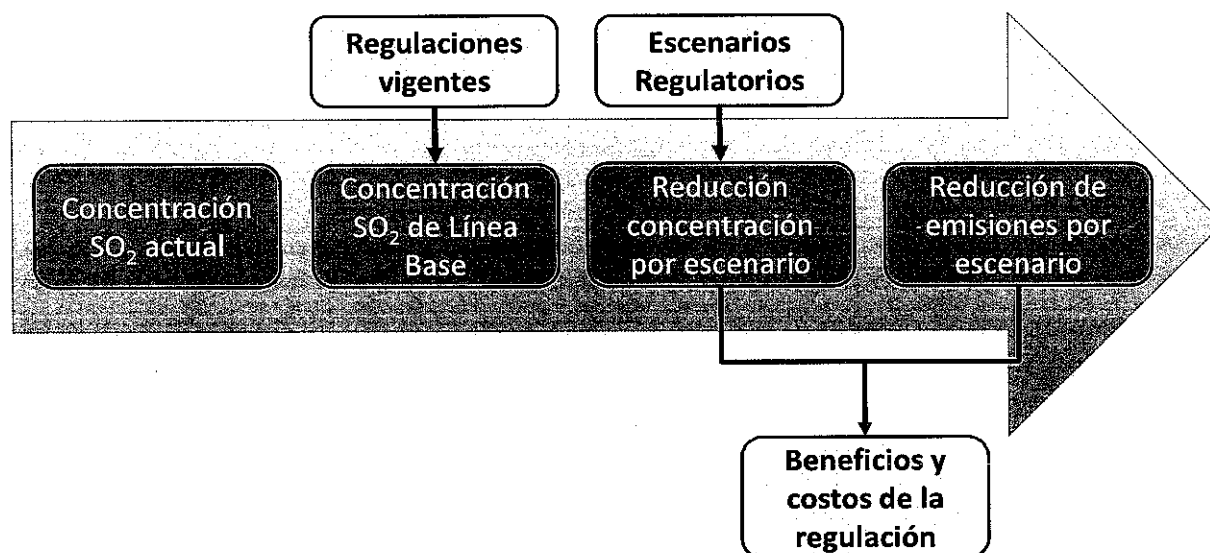
- El análisis del AGIES evalúa tres posibles escenarios de norma.

Estándar	1 hora	24 horas	Anual	Comentario
Unidad	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Valor Actual	-- (1000/700)	250 (365/260)	80 (80/60)	Valor estándar norma primaria (Norte/sur) Norma secundaria
Escenario 1 (E1)	197	--	--	El nivel horario es tan estricto que no requiere establecer estándar de 24 horas y anual.
Escenario 2 (E2)	350	125	60	1 hora: Estándar CE 24 horas: primer objetivo intermedio OMS Anual: norma secundaria Chile
Escenario 3 (E3)	500	150	60	1 hora/24 horas: China zona urbana Anual: equivalente a norma secundaria
Criterio de Excedencia	Percentil 99,73 de un año	Promedio del percentil 99,7 de 3 años consecutivos	Promedio de tres años	

## Metodología AGIES

### Diagrama general

- Corresponde a un análisis cualitativo y cuantitativo de beneficios y costos de manera secuencial
- Este análisis se realiza para cada escenario propuesto



## Metodología

### Línea base de concentración

- ¿Cómo se estima el efecto de las otras normas en la calidad del aire?
  - Supuesto: Reducción proporcional de la calidad a la reducción de emisión de las otras normas.

$$C_{LB} = (1 - \% \text{Reducción otras normas}) \cdot C_{Actual}$$

Donde:

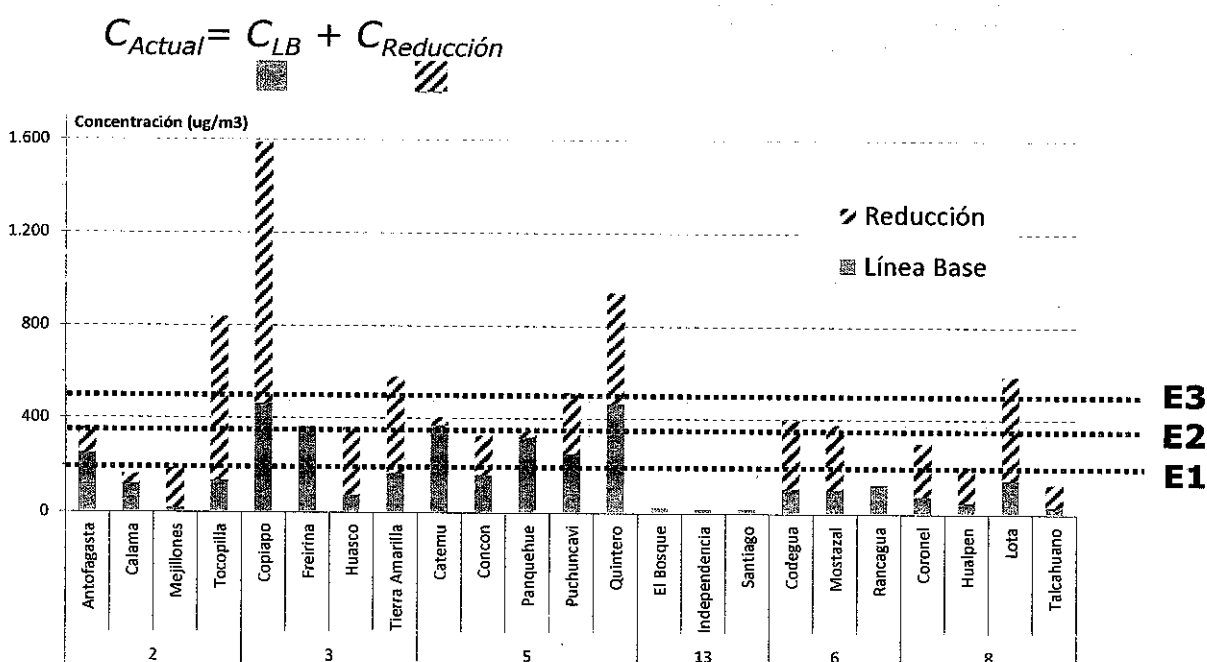
- $C_{LB}$ : Concentración de línea base, considerando efectos de otras normativas.
- $C_{Actual}$ : Concentración actualmente monitoreada (estadígrafos de norma).
- $\% \text{Reducción otras normas}$ : proporción de las emisiones que reduce las normas de termoeléctricas y fundiciones.

Fuente:

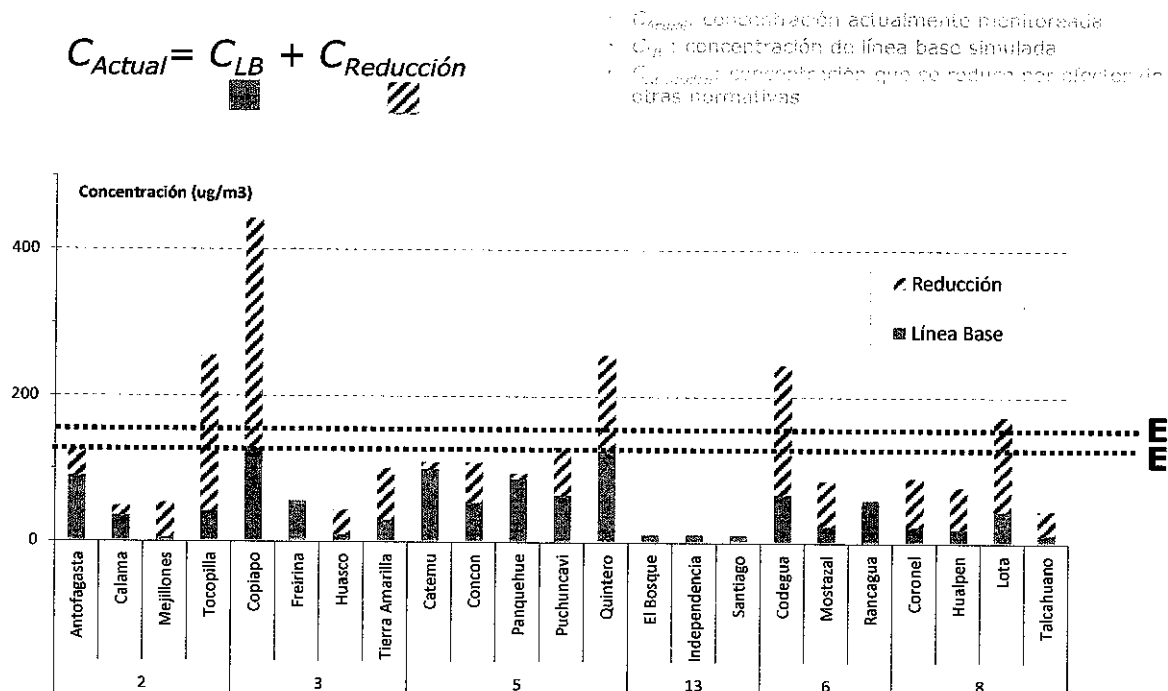
- Concentraciones: CENMA (2015) y Red SINCA últimos tres años de datos disponibles (2012-2014 o 2011-2013 según sea el caso)
- Emisiones: Fundiciones: AGIES norma Fundiciones (MMA 2012); Termoeléctricas: Valgesta Energía (2014) (generación eléctrica) y KAS Ingeniería (2011) (factores de emisión); REFC (2011).

000697  
VIA

## Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma horaria

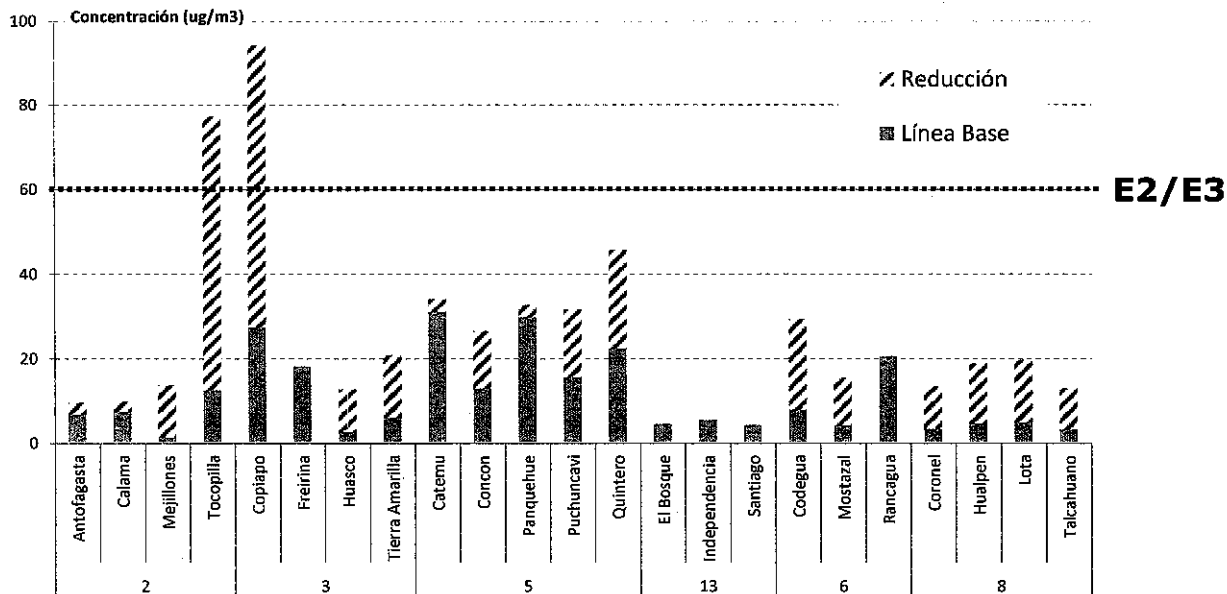


## Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma diaria



# Resultados Línea base y análisis de escenarios Norma anual

$$C_{Actual} = C_{LB} + C_{Reducción}$$



# Resultados Línea base y análisis de escenarios Horas de superación de norma

- **E1** es significativamente el que produce mayores superaciones de norma.
- **E2** es significativamente menor el número de horas de superación
- **E3** no posee superaciones con respecto a la línea base
- Las superaciones de norma en E1 son tanto en frecuencia como en magnitud

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	450	52	0
Diaria	N/A	7	0
Anual	N/A	0	0
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>59</b>	<b>0</b>

000698

UTA

## Resultados Línea base y análisis de escenarios Resumen

- **E1** requiere de esfuerzos adicionales significativas en varias zonas del país.
- **E2** es un escenario intermedio, con algunas superaciones en norma horaria y diaria
- **E3** no posee exigencias adicionales por sobre las regulaciones vigentes no implementadas (termoeléctrica y fundiciones), por lo que es coherente con las otras regulaciones vigentes.

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antofagasta</li> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Panquehue</li> <li>• Puchuncaví</li> <li>• Quintero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Quintero</li> </ul>	-
Diaria	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Quintero</li> </ul>	-
Anual	N/A	-	-

## Beneficios Identificación – análisis cualitativo

- Efectos en salud:
  - Disminución en casos de mortalidad
  - Disminución en casos morbilidad (efectos crónicos de asma, efectos cardiovasculares, visitas a salas de emergencia)
- Otros efectos positivos
  - Mejora en la visibilidad, materiales (efecto corrosivo) y biodiversidad
  - Imagen país: recomendaciones de la OCDE y OMS
  - Establecimiento de límites de calidad para futuros proyectos (mejora potencial de calidad del aire)
  - Coherencia regulatoria a nivel nacional

\* Se considera tanto los efectos del SO<sub>2</sub> de manera directa y como como precursor del MP<sub>2.5</sub>

\*\* Se considera la población expuesta la totalidad de los habitantes de la comuna donde se realiza la medición.

# Beneficios Identificación – análisis cualitativo

## 1. Coherencia regulatoria

- Generación de estándar acordes con las exigencias de las normativas vigentes
- Fortalecimiento y credibilidad en la institucionalidad ambiental

## 2. Imagen país y compromisos internacionales:

- OCDE 2011: "Progresar aún más en la puesta en práctica de programas de calidad del aire, incluidos los relacionados con la minería y los que se orientan al material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y al Ozono".

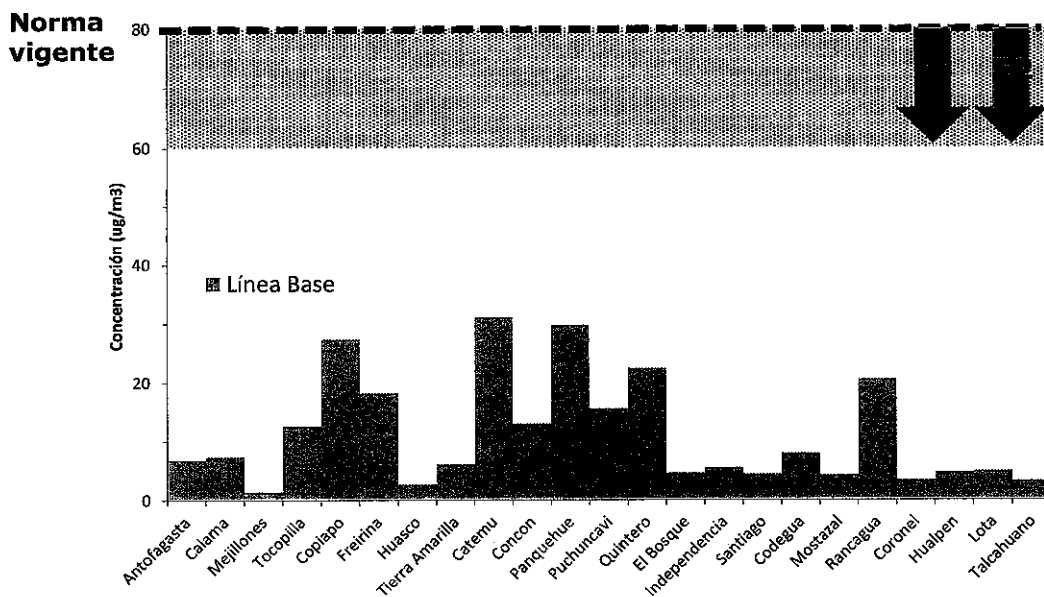
## 3. Mejoras de calidad potenciales

- Aun cuando no exista diferencia con respecto a la LB, existe mejora potencial de calidad del aire ante futuros proyectos
- El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental exige cumplimiento de las normas de calidad vigentes → nuevos estándares permite exigir mejores tecnologías en los proyectos entrantes

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE  
SISTEMA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

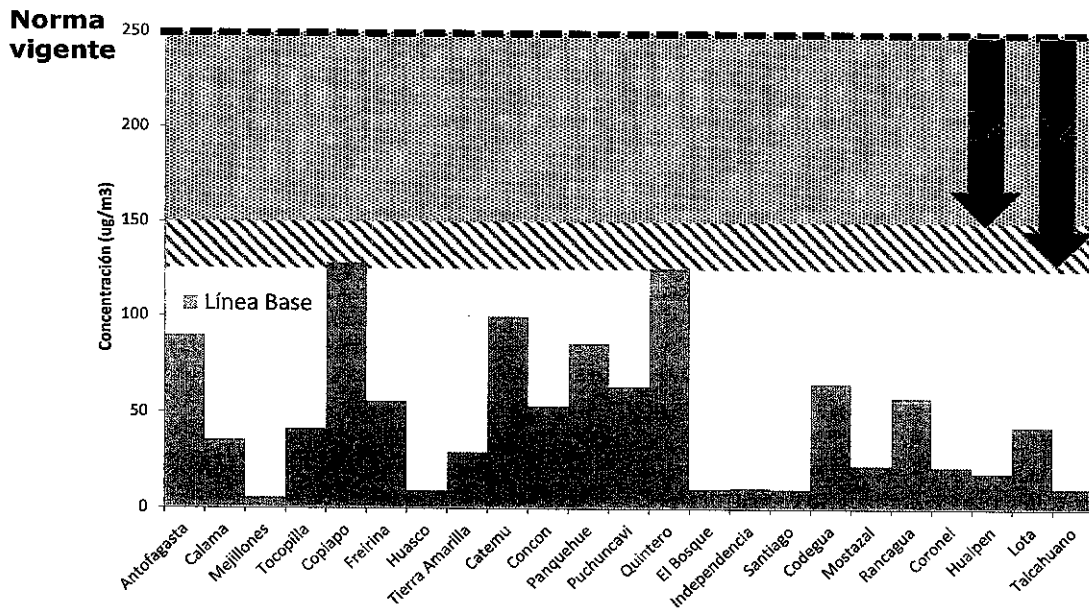
# Beneficios Identificación: mejora potencial (1)

- Ejemplo: norma anual



## Beneficios Identificación: mejora potencial (2)

- Ejemplo: norma diaria



## Beneficios Identificación: mejora potencial (3)

- Ejemplo: norma horaria (no existe norma vigente)

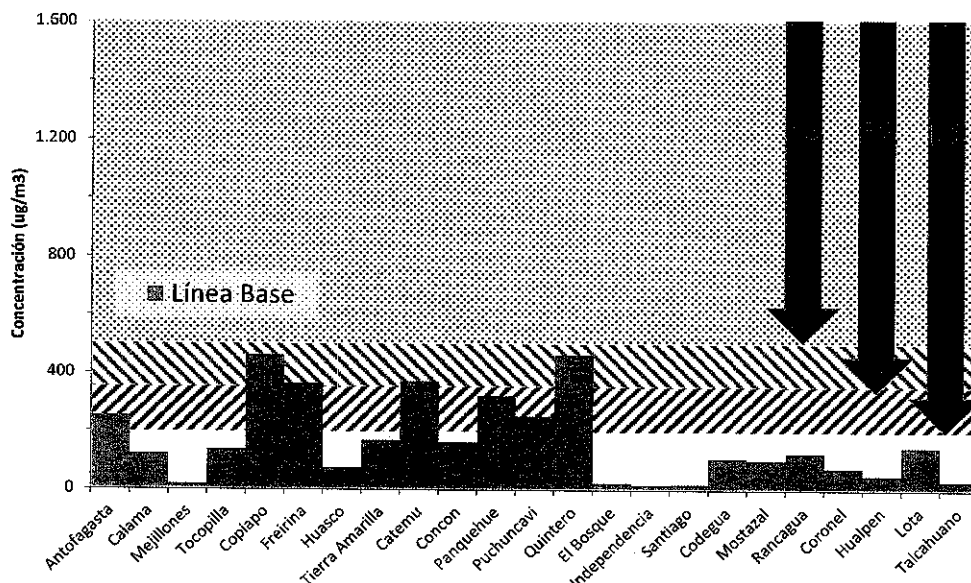


Figura: Elaboración propia. Nota: actualmente no existe estándar horario, por lo que está representado dicho límite en 1600 µg/m³, máximo valor entre los datos actuales observados.



## Beneficios

### Cuantificación: reducción de casos

- Cuantificación de efectos en salud por mejoras en calidad del aire en  $SO_2$  y como precursor de  $MP_{2.5}$
- Corresponde a la suma de casos anuales, período 2019-2028

Causa	E1	E2	E3
Mortalidad	47	13	-
Asma crónica	5	1	-
AH: Cardiovascular	2	0	-
VSE: Asma	6	1	-
Días de actividad perdidos	423	101	-
Días de actividad restringidos	2940	717	-

AH: Admisión hospitalaria

VSE: Visitas a salas de emergencia

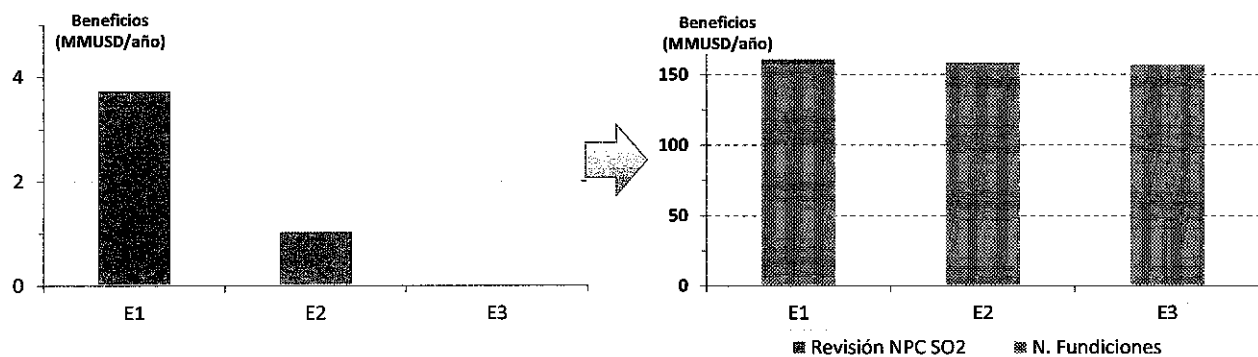
Cuantificación por reducción de  $MP_{2.5}$  y  $SO_2$ . Metodología aplicada según la Guía Metodológica de AGIES de Aire (MMA, 2012).

Fuente: Elaboración propia

## Beneficios

### Valorización (MMUSD/año)

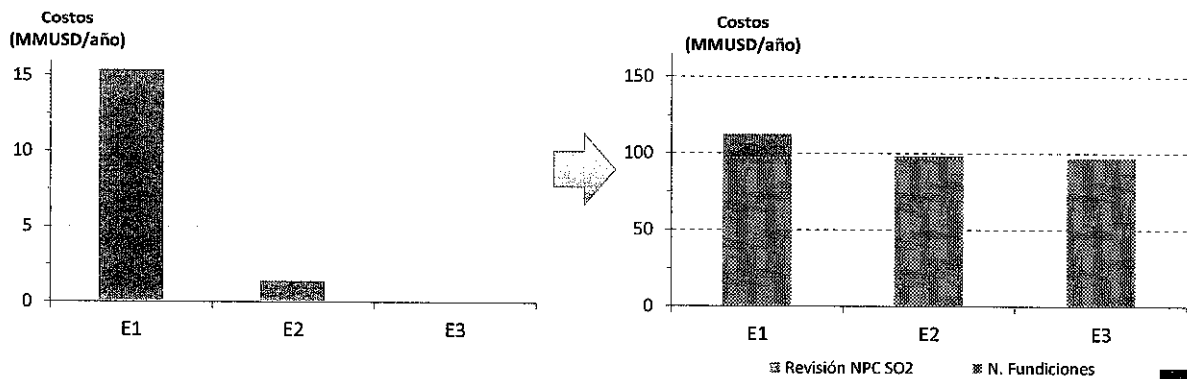
- **E1** es el que posee mayores beneficios estimados
- Como comparación, los beneficios valorizados son una proporción menor si son comparados con N.E. Fundiciones (~150 MMUSD/año)
- Por limitaciones metodológicas e información, no todos los beneficios son evaluados



Actualización de beneficios de 10 años (2018-2027), considerando proyección de población. Valor de la vida estadística: 14.900 UF (2015), basado en Iregión y Ortúzar (2002), proyectado según poder de paridad de compra. Tasa de descuento: 6%. Fuente: Elaboración propia.

## Costos Valorización (MMUSD/año)

- Se asume que los costos adicionales son de las fundiciones, producto de que son superaciones principalmente horarias.
  - E1 es el que posee mayores costos, únicamente por norma horaria dado que carece de niveles diarios y anuales
  - E2 posee costos significativamente menores que E1
  - E3 no implica en costos adicionales
- Los costos analizados son significativamente menores a la norma de fundiciones



## Conclusiones Generales

- La revisión de la norma de SO<sub>2</sub> incorpora:
  - Niveles diarios y anuales más estrictos
  - Creación de una norma horaria para proteger a la población de efectos agudos
- Adicional a los beneficios en salud por menor exposición al contaminante por parte de la población, destacan:
  - Mejoras potenciales de calidad del aire
  - Consistencia normativa con estos otros instrumentos aprobados
  - Cumplimiento de compromisos internacionales

## Conclusiones

### Análisis de escenarios

- **E1** posee los mayores beneficios al requerir esfuerzos adicionales a los instrumentos vigentes.
- **E2** el equilibrado en beneficios y costos adicionales
- **E3** no demanda esfuerzos adicionales, con lo cual es el único escenario con coherencia regulatoria en relación a normas existentes.
- Las normas vigentes aun no implementadas posee órdenes de magnitud en beneficios e inversiones superiores por parte de los regulados

Indicador	E1	E2	E3	N. Fundiciones
Beneficio valorizado (MMUSD/año)	3,7	1,0	0	157
Costo valorizado (MMUSD/año)	15,4	1,4	0	97
Razón beneficio costo	0,24	0,71	-	1,62

# Gracias



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Gobierno de Chile

**División de Información y Economía Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente**

**MEMORÁNDUM Nº64/2015**

De : Rodrigo Pizarro Gariazzo  
Jefe División de Información y Economía Ambiental

A : Sr. Sebastian Tolvett Caro  
Jefe División de Calidad del Aire

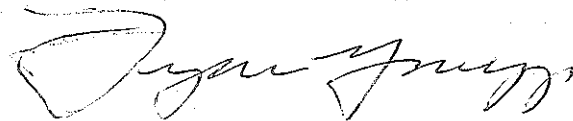
Mat. : Envío del documento "Análisis General de Impacto Económico y Social"

Fecha : 29 de Abril de 2015

Junto con saludar, informo a Ud. que el Departamento de Economía Ambiental hace entrega oficial del documento "Análisis General de Impacto Económico y Social de la Norma de Calidad Primaria por Dióxido de Azufre", el cual fue enviado vía correo electrónico el día 15 de abril de 2015.

Dicho documento se adjunta a este memo.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**RODRIGO PIZARRO GARIAZZO  
JEFE DIVISIÓN DE INFORMACIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL**

  
SBP/FDG/NTS/lms

c.c.:

- Sr. Roberto Martinez, División de Calidad del Aire
- Sra. Maria Eliana Vega Fernandez, SEREMI región del Maule.
- Archivo División Información y Economía Ambiental

---

**ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA NORMA DE CALIDAD PRIMARIA POR DIÓXIDO DE AZUFRE**

---

*Abril de 2015***Presentación**

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de la norma de calidad primaria (NCP) por dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y emisión, así como planes de descontaminación y prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el reglamento para la dictación de normas (MMA 2012b), se requiere de un AGIES de las propuestas normativas que sirva como apoyo al proceso de toma de decisiones. Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental del MMA, y aporta en las etapas de participación ciudadana y el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.

000703  
VTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

## Resumen

Las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera son generadas producto de las actividades de diferentes sectores económicos, entre los que destaca el transporte, la generación eléctrica y la gran minería del cobre, rubros con un gran nivel de actividad y una demanda creciente (Figura A). Sin embargo, los beneficios generados por este desarrollo se contraponen con los efectos dañinos que este contaminante genera en la salud humana, especialmente en las vías respiratorias y oculares de niños y ancianos. Además, el SO<sub>2</sub>, mediante reacciones químicas en la atmósfera, forma material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) conocido por incrementar los casos de mortalidad y otros efectos negativos en la población.

Por este motivo, durante los últimos años, el Estado a través de diferentes organismos ha generado un conjunto de regulaciones y medidas para controlar las emisiones de este contaminante, entre los que se destacan la mejora en la calidad del combustible en el sector industrial y transporte, la incorporación de medidas tecnológicas en fuentes industriales y el establecimiento de un impuesto a las fuentes por la emisión de este contaminante (Tabla A). Algunas de ellas tienen ya varios años de aplicación, mientras otras (Norma de emisiones a termoeléctricas y fundiciones, y los impuestos) están aún en fase de implementación, por lo que reflejarán significativas mejoras en la calidad del aire desde el año 2017 en adelante. Se desprende que la estrategia seguida ha sido regular directamente las fuentes emisoras, sin embargo, las normas de emisión no bastan para asegurar un nivel de exposición de la población, por lo que resulta imperiosa la actualización de la norma de calidad primaria de SO<sub>2</sub> (NCP SO<sub>2</sub>) vigente desde el 2003, tanto por los nuevos antecedentes científicos y recomendaciones internacionales (OMS, OCDE), en coherencia con la reciente regulación.

El Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) analizó tres escenarios de regulación que hacen más rígido el escenario actual pero que no necesariamente respetan la regulación existente (Tabla B). Para cada uno de ellos se analizan los beneficios y costos que sirvan como antecedentes para nutrir la participación ciudadana así como el Consejo Consultivo y de Ministros para la Sustentabilidad, etapas para la formulación de la versión definitiva de la norma. En caso de superación de norma el AGIES evalúa un potencial Plan de Descontaminación para alcanzar los límites de norma, teniendo en cuenta que las medidas del mismo son discutidas en el contexto de su elaboración. Con el fin de evitar el doble conteo de beneficios y costos, el análisis separa las mejoras de calidad producto de los otros instrumentos normativos de los generados por los escenarios de norma (Figura B).

Se identificaron los siguientes beneficios y costos asociados a los escenarios de regulación analizados:

- Incorpora una norma horaria, inexistente en la actual regulación y que permite proteger de efectos agudos a la población vulnerable, principalmente niños y ancianos.
- Disminuye el valor de norma diaria y anual, de especial relevancia en zonas con numerosas fuentes emisoras dado que la norma de calidad considera el efecto aditivo de ellas sobre el medio ambiente. Con ello, los proyectos evaluados mediante el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) se registrarán según esta nueva regulación (Figura C).
- Existen costos potenciales para las fuentes emisoras que su operación (evaluada al ingresar al SEIA) produzca una superación de la norma de calidad.

Finalmente, en el análisis por escenario normativo, se analizaron los beneficios producto de la reducción de casos de mortalidad y algunos efectos en morbilidad en la población, los costos para las fuentes reguladas que deberán disminuir las emisiones, y con ello se desprende la coherencia regulatoria, es decir, si el escenario incorpora exigencias adicionales a las normas existentes (Tablas C y D). En este sentido, se concluye lo siguiente:

- E1: corresponde al escenario de mayor exigencia que redunda en beneficios y costos adicionales estimados de 3,7 y 15,6 MMUSD anuales respectivamente. Este escenario implica nuevas inversiones en algunas fuentes emisoras.
- E2: corresponde al escenario intermedio de regulación, pero con una importante disminución en la exigencia. Se estiman beneficios y costos adicionales equivalentes, estimados de 1,0 y 1,4 MMUSD anuales respectivamente. Representa un escenario con una exigencia levemente superior a las normas vigentes.
- E3: considerando todos los instrumentos vigentes plenamente operativos, este escenario no presenta incumplimientos de la norma, además de ser el que presenta mayor coherencia con los otros instrumentos de gestión.

Importante mencionar que tanto los beneficios como los costos estimados son significativamente menores a las normativas ya implementadas, independiente del escenario analizado. Esto se debe a que estas normas ya inducen a una reducción muy importante de las emisiones de SO<sub>2</sub> (por ejemplo, norma de fundiciones reduce casi un 50% a nivel nacional), generando notables mejoras en la calidad del aire presentes en todos los escenarios de regulación.

**Figuras y tablas**

**Figura A. Variación histórica de actividad de diferentes sectores [%]**

Variación de los tres principales sectores económicos responsables de las emisiones de SO<sub>2</sub> atmosférico. El parque vehicular y la generación eléctrica aumentan sostenidamente, mientras que la producción de cobre en fundiciones mantiene un nivel de actividad estable en el periodo. Sin embargo, actualmente este último sector posee las mayores emisiones de SO<sub>2</sub> a nivel nacional, con más del 60% de las emisiones totales de este contaminante.

**Tabla A. Normativas que regulan SO<sub>2</sub> aprobadas**

Instrumento regulatorio	Alcance	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
NE. Termoeléctricas	Nacional												
NE. Fundiciones													
Impuestos verdes													
↓S comb. transporte													
↓S comb. industria diésel													
↓S comb. industria	RM												
↓S comb. transporte													
↓S comb. industria diésel													
↓S comb. industria													

↓S comb: disminución del contenido de azufre en los combustibles.

Existen varias normas aprobadas en los últimos años que reducen las emisiones de SO<sub>2</sub>. Entre ellos, las norma de fundiciones y termoeléctricas, de alcance nacional, terminarán su implementación el 2017 y 2019 respectivamente. Por ello, la concentración de SO<sub>2</sub> actualmente medida no es representativa de la condición que se verá con dichos instrumentos operativos, con lo cual el AGIES simula una Línea Base de concentraciones considerando el efecto de estas normas.

**Tabla B. Escenarios de norma evaluados [µg/m<sup>3</sup>]**

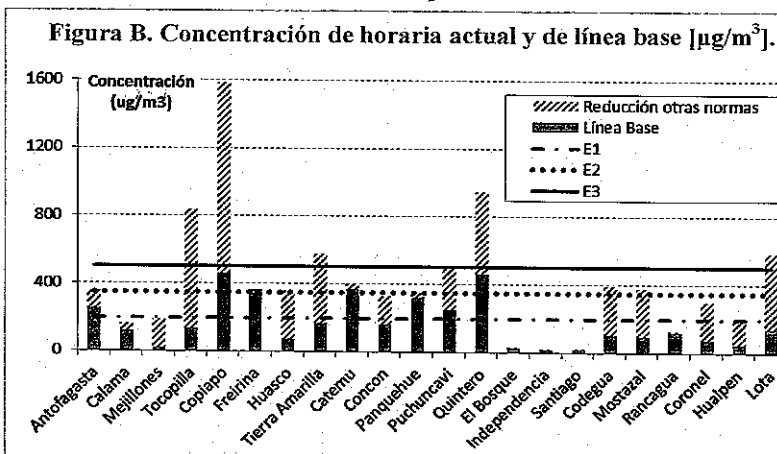
	E1	E2	E3
<b>Horaria</b>	197	350	500
<b>Diaria</b>	-	125	150
<b>Anual</b>	-	60	60

Escenarios de norma propuestos a evaluar en el AGIES. Tanto E2 como E3 poseen valores horarios, diarios y anuales, mientras que E1 sólo posee estándar horario. Éste representa el estándar de Estados Unidos, el cual es el más estricto del mundo.

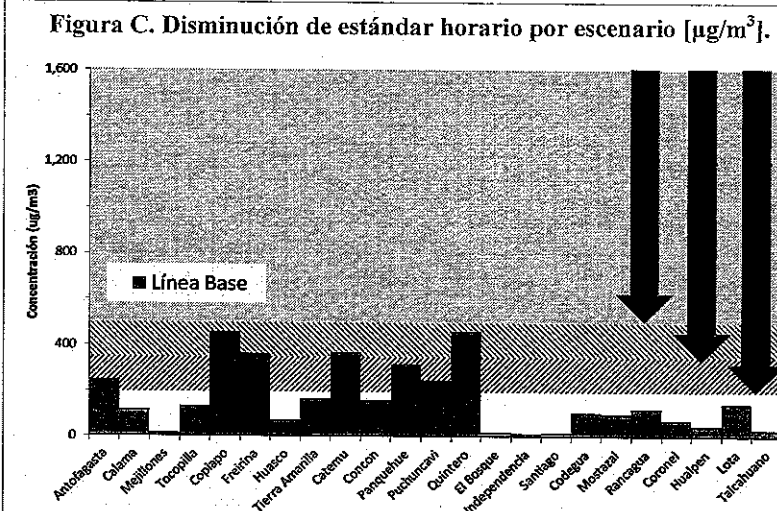
000704

U.T.A.

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>



Representa concentraciones de SO<sub>2</sub> a nivel comunal de estaciones representativas poblacionalmente. La barra completa representa la concentración actual de la comuna analizada, donde una fracción de ella (zona achurada) son reducciones de otros instrumentos de norma, el cual no debe ser considerado en el análisis de escenarios. Con ello, analizando sólo la "Línea Base", el número de comunas con superaciones de norma para los escenarios son 7, 4 y 0 para E1, E2 y E3 respectivamente.



Aun cuando no existan superaciones en los escenarios de norma con respecto a la línea base (barras), contar con un estándar más estricto permite a mantener la calidad a nivel nacional, dado que las normas de emisión actualmente vigentes no consideran el efecto aditivo de las fuentes en el ambiente. Las flechas E3, E2 y E1 representan la disminución de la norma por escenario, cada vez más estricto. Se aprecia que E3 produce el mayor cambio versus la situación actual, mientras E2 y E1 adicionan una franja adicional de mejora (zonas achuradas). El gráfico se representa en relación a 1.600 µg/m<sup>3</sup>, concentración actual de la zona de Copiapo, el nivel más alto del país.

**Tabla C. Reducciones de efectos dañinos en la población (casos en 10 años)**

Causa	E1	E2	E3
Mortalidad	47	13	-
Asma crónica	5	1	-
AH: Cardiovascular	2	0	-
VSE asma	6	1	-
Días de actividad perdidos	423	101	-
Días de actividad restringidos	2940	717	-

VSE asma: Visita a salas de emergencia por asma; AH: admisiones hospitalarias.

Los beneficios por la mejora en calidad del aire son cuantificados en reducciones en diferentes efectos en salud. Se concluye que E1 posee las mayores reducciones de efectos en salud de la población, aproximadamente 4 veces más que el E2. Por su parte, el E3, al no inducir a reducciones adicionales a las normas ya vigentes, sus valores son nulos.

Por problemas metodológicos no es posible cuantificar todos los efectos que la contaminación genera.

**Tabla D. Paralelo entre beneficios y costos por escenario de norma SO<sub>2</sub> y norma de fundiciones**

Indicador	E1	E2	E3	Norma de Fundiciones
Beneficio valorizado (MMUSD/año)	3,7	1,0	0	157
Costo valorizado (MMUSD/año)	15,4	1,4	0	97
Razón beneficio-costo	0,24	0,71	-	1,62

La tabla representa los beneficios y costos valorizados por escenario de norma y una comparación con la norma de fundiciones. Aun cuando el E1 y E2 poseen costos adicionales, estos son menores comparativamente con la norma de fundiciones, la cual incurre en significativos esfuerzos para la reducción de emisiones del sector. E3 por lo tanto, tiene una coherencia con las normativas vigentes dado que no requiere de inversiones adicionales.



## Contenido

<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA NORMA: EFECTOS DEL SO <sub>2</sub> .....	6
1.2. NORMA DE CALIDAD VIGENTE .....	7
1.3. ESCENARIOS NORMATIVOS EVALUADOS. ....	8
<b>2. METODOLOGÍA E INFORMACIÓN BASE .....</b>	<b>9</b>
2.1. GENERACIÓN DE LÍNEA BASE .....	9
2.1.1 Concentraciones de línea base .....	10
2.1.2 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO <sub>2</sub> .....	11
2.1.3 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO <sub>2</sub> .....	11
2.2. BENEFICIOS.....	11
2.3. COSTOS.....	12
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
3.1. GENERACIÓN DE LÍNEA BASE .....	13
3.1.1 Concentraciones de línea base y escenario de norma.....	13
3.2. BENEFICIOS.....	14
3.2.1 Identificación de beneficios.....	14
3.2.2 Cuantificación de beneficios.....	16
3.2.3 Valorización de beneficios.....	17
3.3. COSTOS.....	17
3.4. RESUMEN INDICADORES DE BENEFICIOS Y COSTOS .....	18
3.5. LIMITACIONES DE INFORMACIÓN Y METODOLÓGICAS .....	19
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>5. REFERENCIAS.....</b>	<b>22</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>24</b>
6.1. METODOLOGÍA BENEFICIOS EN SALUD.....	24
6.2. VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS .....	25
6.3. COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO .....	25
6.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA FUENTES ANALIZADAS Y ESTACIONES DE MONITOREO. ....	26
6.5. CONCENTRACIONES ACTUALES POR NORMA .....	27
6.6. REDUCCIÓN DE LÍMITE DE EMISIÓN PARA NORMAS DIARIA Y ANUAL .....	28
6.7. REDUCCIÓN DE LÍMITE DE EMISIÓN PARA NORMAS DIARIA Y ANUAL .....	29
6.8. COSTOS POR FUENTE EMISORA.....	30

000705  
VTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

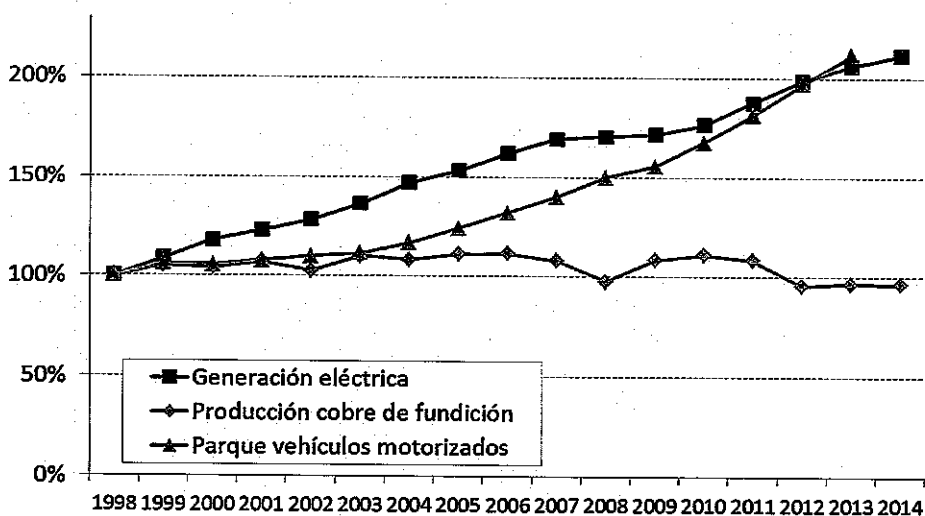
## 1. Antecedentes

### 1.1 Justificación de la norma: efectos del SO<sub>2</sub>

Los antecedentes toxicológicos y epidemiológicos sobre los efectos agudos y crónicos que el SO<sub>2</sub> genera en la salud de la población señalan que existe una directa relación entre este contaminante y enfermedades que afectan el sistema respiratorio, tanto por la inhalación directa de este contaminante como por la generación de material particulado secundario fino (MP<sub>2,5</sub>).

A nivel nacional parte de la población está expuesta a altos niveles de concentración de SO<sub>2</sub>, debido a la superposición en el uso del territorio de los sectores poblados y las actividades económicas con altas emisiones de SO<sub>2</sub>. Sectores como el transporte, las fundiciones de cobre y las termoeléctricas a carbón poseen una gran actividad a nivel nacional, con un sostenido incremento a través de los años.

Figura 1. Variación porcentual (año base 1998) de tres sectores económicos/productivos que emiten SO<sub>2</sub>.



Fuente: Elaboración propia en base a (INE 2013; CNE 2014; COCHILCO 2014).

El crecimiento sostenido de la actividad industrial, y por lo tanto de las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera, generó que el Estado desarrollara durante los últimos años diferentes instrumentos normativos para la regulación de este contaminante. Destaca la mejora en la calidad de los combustibles para disminuir su porcentaje de azufre, normas de emisión que regulan directamente a la fuente emisora, y finalmente instrumentos económicos desincentivan las emisiones mediante el cobro de un impuesto<sup>1</sup> (los denominados "impuestos verdes"). Algunas de estas medidas aún están en fase de implementación, sin embargo, son parte de la línea base de la evaluación. Por lo tanto, el AGIES, previo al análisis de la norma de calidad, debe separar los impactos que corresponden a otras normativas, detalle que es mencionado en el capítulo de metodología.

<sup>1</sup> La implementación de "Impuestos Verdes" no genera una obligación a la reducción de la emisión, sino que actúa como un incentivo para la reducción de las emisiones.

Tabla 1: Instrumentos normativos o regulatorios que disminuyen las emisiones de SO<sub>2</sub> y año de implementación.

Instrumento regulatorio	Alcance	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
NE. Termoeléctricas	Nacional											
NE. Fundiciones												
Impuestos verdes												
↓S comb. transporte												
↓S comb. industria diésel												
↓S comb. industria												
↓S comb. transporte	RM											
↓S comb. industria diésel												
↓S comb. industria												

↓S comb: disminución del contenido de azufre en los combustibles.

Fuente: Elaboración propia

## 1.2 Norma de calidad vigente

El Decreto Supremo número 113 del 6 de marzo de 2003 establece la Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) la cual tiene como principal objetivo, el regular la presencia de este contaminante en el medio ambiente, con la finalidad de disminuir los riesgos para la salud de la población.

Los valores de concentración establecidos en el D.S N°113 corresponden a los siguientes:

Tabla 2: Límites de norma del DS N° 113, Norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub>

Temporalidad	ppbv	µg/m <sup>3</sup> N	Estadígrafo de norma
Anual	31	80	Promedio aritmético de tres años calendarios consecutivos
Diaria	96	250	Promedio aritmético de tres años consecutivos del valor del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario.

Fuente: Elaboración propia

Desde el año 2003 hasta el presente, ha surgido nueva evidencia científica, la cual está ligada principalmente a los efectos crónicos y agudos en salud que genera a la población la exposición a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> en diferentes resoluciones temporales, cada vez más acotadas. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha actualizado los antecedentes sobre los efectos del SO<sub>2</sub> en la salud de la población evidenciados sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares, niveles preventivos recomendados de concentraciones de SO<sub>2</sub>, los cuales corresponden a 20 µg/m<sup>3</sup> para una métrica de 24 horas y de 500 µg/m<sup>3</sup> para valores de media de 10 minutos. De esta manera la OMS propone el establecimiento de estándares de 1 hora y 10 minutos por sobre regulaciones diarias y anuales, cuyas recomendaciones han sido tomadas por Estados Unidos y la Comunidad Europea (OMS 2005).

Esta evidencia demuestra la necesidad de establecer nuevos valores de concentración, y la creación de una nueva normativa horaria actualmente inexistente.

000706  
VTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

### 1.3 Escenarios normativos evaluados.

El MMA ha considerado revisar 3 escenarios propuestos para la norma, los cuales serán evaluados en el presente AGIES. Cada uno de ellos consta de tres resoluciones temporales (horaria, diaria y anual) y un criterio de superación de norma.

Tabla 3: Escenarios evaluados en la Norma ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Escenario	E1	E2	E3	Criterio de Excedencia
Horaria	197	350	500	Percentil 99,73 de un año.
Diaria	-	125	150	Promedio del percentil 99,7 de tres años consecutivos
Anual	-	60	60	Promedio de tres años

Fuente: MMA, División de Calidad del Aire.

El objetivo del presente informe es proporcionar antecedentes económicos y sociales mediante la identificación, cuantificación y valoración (si es posible) de los beneficios y costos para cada uno de los escenarios, de modo de realizar un análisis comparativo entre ellos resaltando sus ventajas y desventajas.

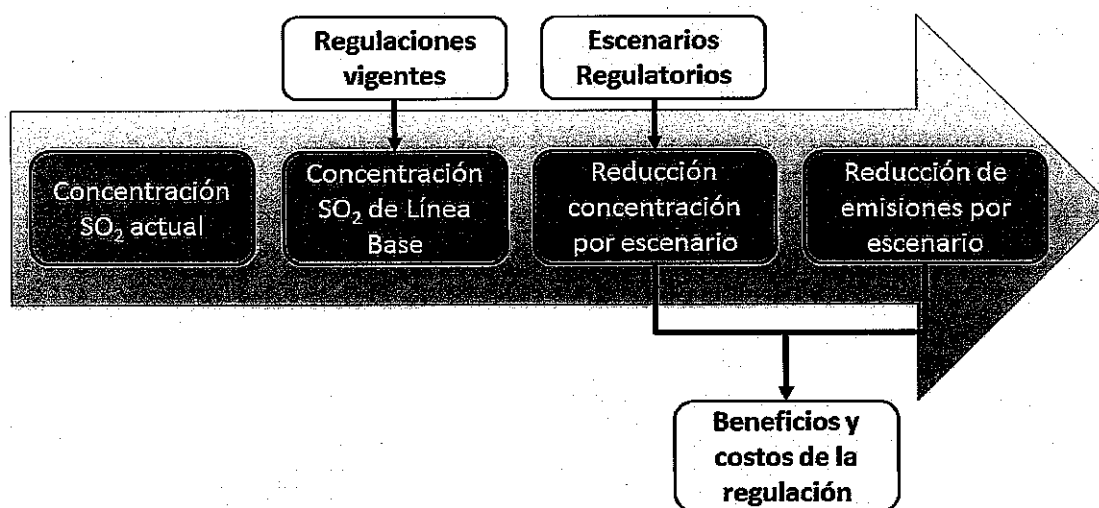
Las siguientes secciones consisten en la explicación de la metodología utilizada para la evaluación, los resultados obtenidos y las conclusiones del análisis.

## 2. Metodología e información base

La mejora en calidad del aire genera efectos medioambientales, sociales y económicos que pueden resumirse en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado.

El AGIES tiene por objetivo la generación de diferentes indicadores que den respuesta a los impactos que genera la implementación de una política pública, aportado antecedentes para el proceso normativo. Estos son elaborados utilizando una serie de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las concentraciones de calidad del aire producto de un escenario de norma, con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación<sup>2</sup>. Por ello, el modelo integra (i) una sección de calidad del aire y generación de línea base, (ii) modelo de concentración-respuesta en efectos en salud basado en estudios epidemiológicos<sup>3</sup> y (iii) un modelo de valorización de beneficios (ver Figura 2). Por el lado de los costos, se integra (iv) un modelo de calidad-emisión y (v) la valorización de las medidas de reducción de emisiones. Cada una de estas etapas requiere de un proceso metodológico que es descrita a continuación (Figura 2).

Figura 2. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES.



Fuente: Evaluación propia.

La metodología expuesta en este capítulo es complementada con los anexos del informe, el cual detalla las fórmulas matemáticas utilizadas y los inputs para el cálculo.

### 2.1 Generación de línea base

Adicionalmente a la norma de calidad de SO<sub>2</sub> vigente, existen otros instrumentos de gestión ambiental que regulan a este contaminante a nivel nacional. Entre ellos destacan la “Norma

<sup>2</sup> Se entiende por beneficios y costos en el sentido amplio de las palabras y no estrictamente a aspectos monetarios o valorizados de los mismos.

<sup>3</sup> Epidemiología se define como el estudio de la distribución y determinantes de estados de salud o eventos en poblaciones determinadas y la aplicación de este estudio para controlar los problemas de salud. Fuente: Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). Epidemiology: beyond the basics, Jones & Bartlett Publishers.

000707

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

de emisión para fundiciones de cobre y fuentes misoras de arsénico” (MMA 2013a), la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas (MMA 2011a), entre otros.

Estos cuerpos normativos tienen un impacto directo en las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera, con importantes mejoras a la salud de la población e inversiones por parte de los regulados. Sin embargo, tanto la normativa para termoeléctricas como fundiciones aún están en fase de implementación por parte de los regulados, por lo cual las mejoras en calidad del aire no se ven reflejadas en el monitoreo actual. Por este motivo, la evaluación de AGIES debe considerar estos efectos como parte de la línea base de evaluación, es decir, se debe estimar una “concentración de línea base” que considere todos los instrumentos de gestión ambiental plenamente operativos<sup>4</sup>. Esto evita duplicar los costos y beneficios de la regulación.

### 2.1.1 Concentraciones de línea base

Se supone una relación lineal o proporcional entre la reducción de emisiones generadas por estas normativas y la reducción de concentraciones en la calidad del aire para todas las resoluciones temporales de la norma (horaria, diaria, anual). Análogamente se expresa con la siguiente ecuación<sup>5</sup>:

$$C_{LB} = \left(1 - \frac{E_{Actual} - E_{Norma}}{E_{Actual}}\right) \cdot C_{Actual}$$

Dónde:

- $C_{LB}$ : Concentración de línea base, considerando efectos de otras normativas.
- $C_{Actual}$ : Concentración actualmente monitoreada (estadígrafos de norma).
- $E_{Actual}$ : Emisiones de SO<sub>2</sub> actuales de todas las fuentes para una zona determinada.
- $E_{Norma}$ : Emisiones de SO<sub>2</sub> considerando normas vigentes en plena operación.

La información de concentraciones fue recopilada mediante las estaciones de monitoreo de la red SINCA para todas aquellas estaciones que miden SO<sub>2</sub> para los últimos 3 años de datos<sup>6</sup>, además de otras estaciones fuera de la red (CENMA 2015b).

Por otra lado, para la información de emisiones se utilizó la información de KAS Ingeniería (2012) y (Valgesta Energía 2014) para termoeléctricas y MMA (2012d) para fundiciones, mientras que para los otros tipos de fuentes se utilizó la información del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)<sup>7</sup>.

<sup>4</sup> De otro modo, se estaría generando un doble conteo y asignando reducciones de emisiones (y por ende asumiendo costos y beneficios) a la presente norma que ya fueron abordadas por los otros instrumentos normativos.

<sup>5</sup> Se optó por esta relación debido a que la estimación robusta entre estas dos variables requiere de modelación estocástica compleja, la cual además de requerir recursos importantes, tampoco asegura el éxito en los resultados.

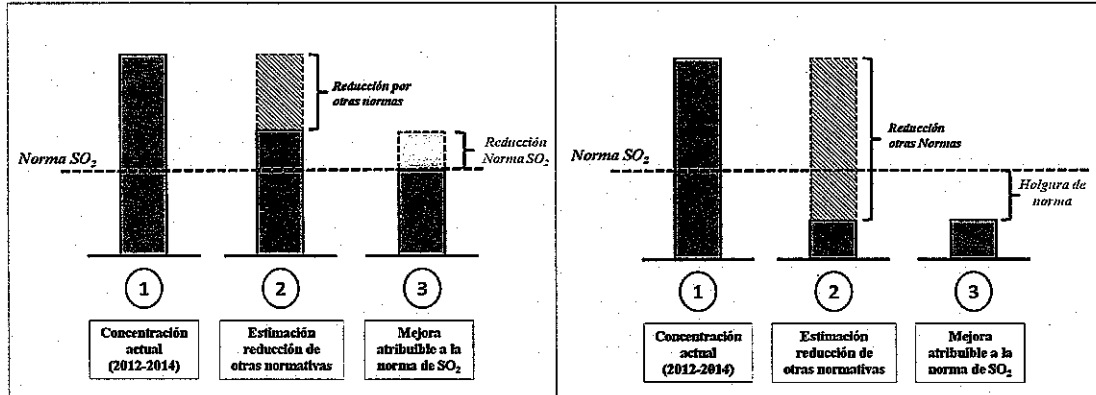
<sup>6</sup> Se analizaron solo las estaciones con representatividad poblacional.

<sup>7</sup> <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/channel.html>

### 2.1.2 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO<sub>2</sub>

La concentración de línea base es comparada con cada escenario de norma para discriminar entre las zonas con superación de norma de las que no, es decir, dónde la norma de SO<sub>2</sub> tiene mejoras en calidad adicionales a los otros decretos (Figura 3).

Figura 3. Diagrama explicativo para la generación de la línea base y mejoras atribuibles a la norma de SO<sub>2</sub>.



Fuente. Elaboración propia

Se determinan las zonas geográficas donde existe superación de alguna norma (horaria, diaria, anual) para cada uno de los escenarios analizados. Cuando el valor en concentración de esa zona supera al valor establecido por alguno de los escenarios propuestos, se asume que la NCP generará cambios (reducciones) con respecto a la línea base, por lo que se ingresan a los modelos de beneficios y costos (Figura 3a). De otro modo, si la concentración de línea base es menor a la norma, la norma no tiene un efecto directo en esa zona (Figura 3b). En estos casos existe una ganancia ambiental potencial de bajar un estándar menos estricto (normativa vigente) a uno más estricto que no genera un esfuerzo adicional.

### 2.1.3 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO<sub>2</sub>

Producto que las normas interactúan entre sí (una mejora en las concentraciones horarias influyen tanto en la norma diaria como en la anual), se simuló la sinergia de cada límite de norma evaluando de manera secuencial el cumplimiento horario, diario y anual. En otras palabras, se calculó la norma diaria una vez cumplida la norma horaria; y la norma anual, dado que se cumple la norma diaria. Con este proceso se evita el doble conteo en el análisis.

## 2.2 Beneficios

Los beneficios de la norma requieren de un proceso de identificación, cuantificación y finalmente valorización de estos efectos. Por problemas de información y/o metodológicos, no todos los beneficios pueden ser valorizados, por lo que los procesos de toma de decisiones no deben reducirse sólo a este indicador.

000708  
v7A

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

La identificación de beneficios está íntimamente relacionada con los efectos que produce el SO<sub>2</sub> en los diferentes receptores, con lo cual se basó en la recopilación bibliográfica realizada por (CENMA 2015a). Adicionalmente se incorporan efectos de otros estudios señalados en el AGIES de la Norma de centrales termoeléctricas (CONAMA 2009) y el de fundiciones de cobre (MMA 2012c), así como los señalados en la Guía Metodológica de AGIES (MMA 2013b).

La cuantificación de efectos del SO<sub>2</sub> y del MP<sub>2.5</sub> secundario. Este último requiere de un modelo de dispersión que asocie la relación existente entre ambos contaminantes. Para ello, se utilizó el trabajo realizado en MMA (2012c), el cual estima dichas variaciones mediante la utilización del modelo CALMET/CALPUFF con extensión de contaminantes secundarios. Con ello se asume una relación lineal entre la disminución de la concentración de SO<sub>2</sub> y de MP<sub>2.5</sub> proporcionada en este estudio. Los efectos cuantificados se valorizaron de acuerdo a los valores sugeridos en MMA (2011c).

Finalmente, elabora un cuadro resumen con los beneficios y los costos valorizados por escenario, así como la razón beneficio-costos.

### 2.3 Costos

Los costos asociados a la NCP están relacionados directamente con los escenarios propuestos para esta norma. Se considera que para la norma horaria y diaria es posible realizar una disminución de las emisiones con dos tipos de medidas, optando por la de menor costo según sea el caso:

- i. Operacionales: medidas de reducción de emisiones producto de un manejo en la operación de la planta.
- ii. Tecnológicas: mediante la implementación de medidas de abatimiento que impliquen la instalación de una estructura.

La información de los costos de fundiciones se extrajo de MMA (2012c), mientras que los costos para otro tipo de fuente fue considerado información base de tecnologías de informes previos nacionales e internacionales (CONAMA 2009; USEPA 2010). Se asume que se requerirá costos de abatimiento cuando el número de horas de superación de norma sea recurrente, es decir más de 24 horas en el año adicionales a la holgura que el percentil proporciona. De otro modo se asume planes operaciones, aunque en esos casos no se pudo valorizar sus costos.



### 3. Resultados

En esta sección se presentan las reducciones de emisiones asociadas a la norma y las disminuciones en concentración de SO<sub>2</sub>. También se calculan los costos por reducción en la emisión de SO<sub>2</sub> y los beneficios en salud asociados a la disminución de concentración tanto de SO<sub>2</sub> como de MP<sub>2,5</sub>.

Se mencionarán las limitantes de información y metodología que hizo infactible el análisis de algunos aspectos del AGIES. Por ello, los resultados del siguiente capítulo deben ser asimilados considerando estos aspectos.

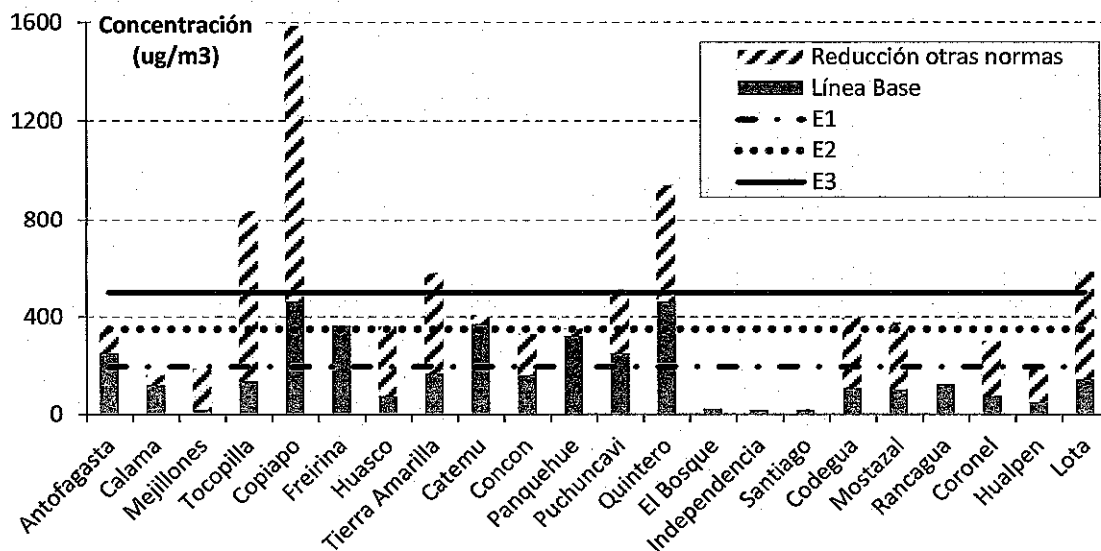
#### 3.1 Generación de línea base

##### 3.1.1 Concentraciones de línea base y escenario de norma

Los datos de concentración utilizados para este análisis muestran que a nivel nacional existen zonas que poseen altos niveles de concentración de SO<sub>2</sub>. En la Figura 4 se presentan los valores base de concentración (Línea Base, barra azul) que serán utilizados para el análisis por escenario. Las comunas con una mayor concentración coinciden con las asociadas principalmente a fundiciones de cobre y/o centrales termoeléctricas.

A medida que el escenario analizado es más estricto, más zonas se ven con superación de norma. La figura muestra el análisis horario, mientras que el diario y anual pueden verse en los anexos del informe.

Figura 4. Línea base de concentraciones SO<sub>2</sub> y escenarios de norma (µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Elaboración propia.

000709

VTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

Del análisis anterior se muestra los resultados de superación de norma cualitativamente. Se aprecia en la Tabla 4 que el E3 no posee superaciones en ninguna comuna, mientras que E2 y E1 poseen zonas del país donde se exigirían reducciones adicionales a los instrumentos normativos vigentes. Los mayores efectos se aprecian en el estándar horario, caso contrario al anual donde no hay superación de norma para ningún escenario.

Tabla 4. Comunas del país con superación de norma por escenario de norma analizado.

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antofagasta</li> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Panquehue</li> <li>• Puchuncaví</li> <li>• Quintero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Freirina</li> <li>• Catemu</li> <li>• Quintero</li> </ul>	-
Diaria	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copiapó</li> <li>• Quintero</li> </ul>	-
Anual	N/A	-	-

Fuente: Elaboración propia

## 3.2 Beneficios

### 3.2.1 Identificación de beneficios

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) produce distintos efectos sobre la salud de las personas, antecedentes epidemiológicos y toxicológicos demuestran una relación directa entre las concentraciones de SO<sub>2</sub> y consecuencias sobre la salud, así como también con contaminantes precursores de este, específicamente el Material Particulado fino (MP<sub>2,5</sub>).

Estas concentraciones de SO<sub>2</sub>, generan importantes efectos crónicos sobre la población específicamente daños en etapas de desarrollo fetal, como también daño respiratorio severo, esto se asevera en la población más vulnerable como las embarazadas y los portadores de asma. Por su parte los efectos agudos causan daño al sistema respiratorio y al sistema cardiovascular.

De los beneficios generados a la población por una mejora en la calidad del aire y una disminución en la concentración de SO<sub>2</sub>, se suman co-beneficios derivados por la disminución en MP<sub>2,5</sub>, el cual también es un agente contaminante que genera efectos sobre la salud de la población.

Tabla 5: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones de SO<sub>2</sub>.

Identificados	Valorizados
↓ Mortalidad Prematura (MP)	Sí, pero restringido espacialmente.
↓ Morbilidad (MP, SO <sub>2</sub> )	Sí
↓ <i>Admisiones Hospitalarias Asma</i>	Sí
↓ <i>Admisiones Hospitalarias Cardiovasculares</i>	Sí
↓ <i>Consultas de urgencia por asma</i>	Sí
↓ <i>Restricción de actividad diaria menor</i>	Sí
↓ <i>Días de trabajo perdidos</i>	Sí
↓ Productividad perdida (MP)	Sí
↓ Actividad restringida (MP)	Sí
↑ Visibilidad (MP)	No
↓ Corrosión materiales (SO <sub>2</sub> )	No
↑ Producción agrícola (MP, SO <sub>2</sub> )	No
↓ Efectos en ecosistemas (SO <sub>2</sub> )	No
↑ Imagen país (recomendaciones OCDE y OMS)	No
↑ Mejora potencial de calidad del aire	No
↑ Cobeneficios en reducción de <i>Black Carbon</i> (MP)	No
↑ Efectos sociales: equidad ambiental	No
↑ Coherencia regulatoria a nivel nacional	No

↑: Mejora, aumento. ↓ Disminución

Fuente: Elaboración propia

Dos de los beneficios mencionados en la Tabla 5 requieren de mayores detalles en su explicación:

- **Equidad ambiental:** En la mayoría de Chile los niveles de este contaminante se encuentran bajo los límites recomendado por los organismos internacionales, pero existen algunos puntos donde las altas emisiones generan problemas a la salud y sociales. La norma ayuda por lo tanto en generar mayor equidad ambiental a lo largo del país, aproximando las zonas con altos niveles de contaminación al resto de las ciudades de Chile. Este punto se relaciona íntimamente con el programa de gobierno 2014-2018, enfocado entre otras cosas en la equidad ambiental para todos los ciudadanos de Chile<sup>8</sup>.
- **Recomendaciones OCDE:** La evaluación de medio término de Chile el año 2011 (OCDE 2011) especifica en la recomendación N°7 que se debe “*Progresar aún más en la puesta en práctica de programas de calidad del aire, incluidos los relacionados con la minería y los que se orientan al material particulado (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) y al Ozono; dar seguimiento al avance y a los efectos de los programas en la salud mediante indicadores apropiados*”. La NPC de SO<sub>2</sub> mediante la aplicación de una normativa horaria va en línea con las recomendaciones de la OCDE para la gestión de la calidad del aire en nuestro país.

<sup>8</sup> Programa de Gobierno Michelle Bachelet 2014-2018 (<http://michellebachelet.cl/programa/>).

000710

JTA

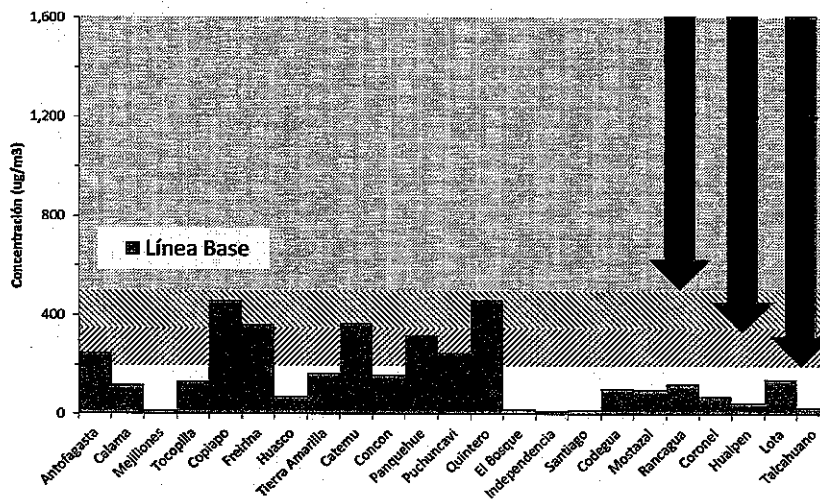
AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

- Mejora potencial de calidad del aire: la implementación de escenarios más estrictos de norma aun cuando los límites de concentraciones de línea base no sean superados pueden generar impactos potenciales si es que en un futuro dicho límite es superado.

En relación al último punto, la Figura 5 muestra la disminución del estándar horario, actualmente inexistente, para cada escenario. La gráfica se hace desde el valor de 1600 µg/m<sup>3</sup> debido a que son concentraciones que actualmente ocurren en la zona de Copiapó, la más alta del país.

Se aprecia en la figura que el “techo” de concentración disminuye notoriamente en todos los escenarios, previniendo futuros problemas ambientales. Importante mencionar que en los proyectos son evaluados en el contexto del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental según las normas primarias de calidad del aire, por lo tanto esta disminución incide directamente en los futuros proyectos que tengan emisiones de SO<sub>2</sub>.

Figura 5. Potencial de mejora de calidad del aire. Norma anual E2 y E3.



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Cuantificación de beneficios

#### a) Reducción de efectos en salud

Se cuantificaron la reducción de casos de mortalidad a largo plazo producto de efectos del MP<sub>2.5</sub> secundario y morbilidad asociados a MP<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub>. El E1 es aproximadamente 4 veces superior a E2 en reducción de efectos en la salud de la población, mientras que E3 tiene reducciones nulas, al no generar disminuciones en las concentraciones atmosféricas de línea base.

Tabla 6. Número de efectos reducidos por la implementación de la norma de SO<sub>2</sub>, período 2015-2024 (casos).

Causa	E1	E2	E3
Mortalidad	47	13	-

Asma crónica	5	1	-
AH: Respiratorios	2	0	-
AH: Cardiovascular	6	1	-
VSE: Asma	423	101	-
Días de actividad perdidos	2940	717	-
Días de actividad restringidos	47	13	-

AH: Admisiones hospitalarias. VSE: Visita a salas de emergencia.

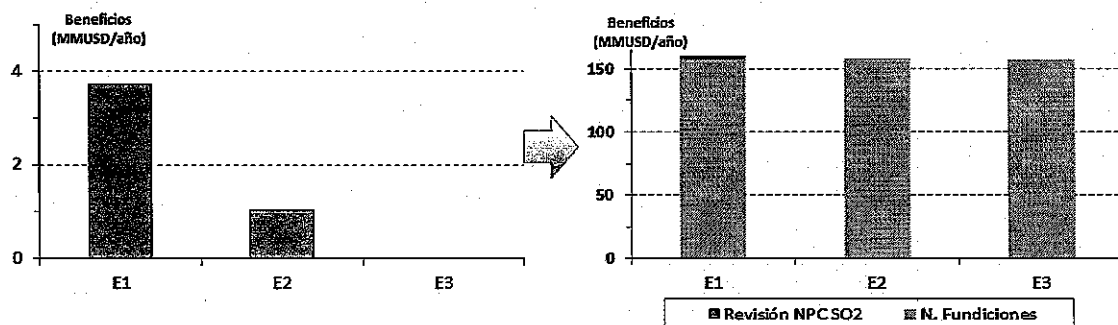
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Valorización de beneficios

La Figura 6 representa los beneficios valorizados por escenario de norma. Análogamente a los análisis anteriores, el E1 posee los mayores beneficios valorizados, siendo aproximadamente 4 veces superior al escenario E2. Por su parte el E3 no posee reducciones adicionales, con lo cual los beneficios valorizados son nulos con respecto a la línea base.

Sin embargo, es relevante realizar una comparación de los beneficios con las normativas vigentes. Particularmente, en el caso de la norma de emisión de fundiciones, los beneficios estimados son órdenes de magnitud superiores a los de la NPC producto de la gran reducción de emisiones a nivel nacional que conlleva. En esta situación, la diferencia entre los escenarios es marginal.

Figura 6. Beneficios valorizados por disminución de SO<sub>2</sub> y MP<sub>2.5</sub> secundario (MMUSD/año). a) Beneficios de la NPC y b) Beneficios de la NPC y de la norma de emisión de fundiciones\*.



\* Los beneficios de la norma de emisión de fundiciones reportados en MMA (2012a) fueron anualizados y actualizados según el valor de la vida estadística de este informe, reportado en los anexos.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Costos

Se presentan a continuación los costos asociados a la exigencia adicional que presentaría la normativa de SO<sub>2</sub> en el momento de aplicación. El mayor costo es generado por el E1, principalmente por el gran número de superaciones horarias (Tabla 7). E2 es balanceado en cuanto a los costos de la norma horaria y la diaria, y es aproximadamente la tercera parte de los costos de E1. Esto se debe a que el incumplimiento diario es menor, a la vez que el

000711  
VTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

límite de norma horaria es mayor. Finalmente E3 no requiere de inversiones adicionales estimadas.

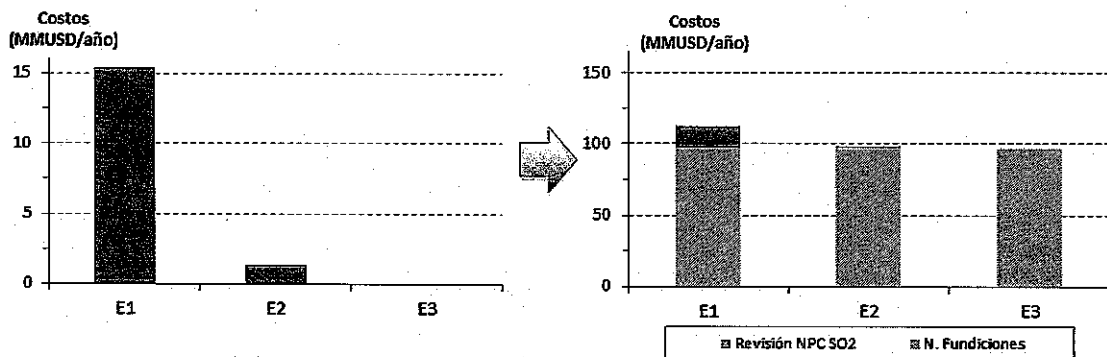
Así como en el caso de los beneficios, aplicando un análisis comparativo con la norma de fundiciones los costos de todas los escenarios de normas son significativamente menores. Sólo el E1 posee un leve peso relativo, correspondiente a un 8% de la norma de fundiciones.

Tabla 7. Número de horas de superación por escenario de norma.

Temporalidad	E1	E2	E3
Horaria	450	52	0
Diaria	N/A	7	0
Anual	N/A	0	0
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>59</b>	<b>0</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Costos valorizados por disminución de SO<sub>2</sub> y MP<sub>2,5</sub> secundario (MMUSD/año). a) Costos de la NPC y b) Costos de la NPC y de la norma de emisión de fundiciones\*.



\* Los costos de la norma de emisión de fundiciones reportados en MMA (2012a) fueron anualizados considerando la vida útil de las medidas implementadas por las fundiciones.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Resumen indicadores de beneficios y costos

A continuación se presentan los resultados de indicadores económicos o valoración de acuerdo a la metodología descrita en la sección y según los supuestos indicados en la sección de anexos.

Tabla 6. Resumen de indicadores cuantitativos por escenario de norma y comparación norma de fundiciones

Indicador	E1	E2	E3	Norma de Fundiciones
Beneficio valorizado (MMUSD/año)	3,7	1,0	0	157
Costo valorizado (MMUSD/año)	15,4	1,4	0	97
Razón beneficio-costo	0,24	0,71	-	1,62

Fuente: Elaboración propia

Considerando estos resultados, se puede concluir lo siguiente con respecto a cada uno de los escenarios:

Tabla 6. Resumen cualitativo del análisis de escenarios: aspectos positivos y negativos.

Escenario	Aspectos positivos	Aspectos negativos
E1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee los mayores beneficios entre los escenarios evaluados</li> <li>- Posee la mayor ganancia ambiental al disminuir el valor de norma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No posee un estándar diario ni anual.</li> <li>- Genera los mayores costos para el sector regulado.</li> <li>- Al generar costos adicionales, no es coherente con las otras normativa vigentes, uno de los objetivos de la presente NPC SO<sub>2</sub></li> </ul>
E2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee beneficios mayores a cero</li> <li>- Baja significativamente los estándares mejorando las exposiciones al contaminante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee costos mayores a cero, aunque no tan importantes como E1.</li> <li>- No es coherente con otras normativas de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> dado que implica en esfuerzos adicionales.</li> </ul>
E3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay costos adicionales a las normas vigentes</li> <li>- Baja significativamente los estándares mejorando la exposición al contaminante.</li> <li>- Es consistente con otras normativas de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> dado que no implica en esfuerzos adicionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existen reducciones de emisiones adicionales a las normativas vigentes.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Limitaciones de información y metodológicas

En relación a los beneficios, no fueron valorizados tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*<sup>9</sup>. Esto se

<sup>9</sup> Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmósfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.

000712

VIA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o a falta de información base.

Adicionalmente, existieron problemas con los datos de calidad, tanto por la representatividad de algunas estaciones, como en el número de valores de calidad medidos en un año. Esto podría variar algunos resultados, sin embargo, se procuró incorporarlos en el análisis suponiendo que la tendencia y los valores medidos daban buena cuenta de la realidad de la zona.

Finalmente es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante el uso de la metodología aquí planteada, sin embargo, no debe ser considerada como el único criterio para la aprobación de una política pública (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Ésta debe tener una visión integral que incorpore otras variables tales como el riesgo de la población expuesta<sup>10</sup>, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

<sup>11</sup> D.S.38 y 39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros por la Sustentabilidad los cuales intentan incorporar los aspectos mencionados.



#### 4. Conclusiones

La estrategia de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> debe ser consistente con una norma de calidad. Por ello, la revisión de la norma primaria de calidad de este contaminante tiene por objetivo proteger a la población expuesta y a la vez de mantener una coherencia regulatoria con los otros instrumentos normativos que reducen las emisiones de SO<sub>2</sub>.

De los antecedentes toxicológicos y epidemiológicos que surgieron en los últimos años se puede señalar que existen evidencias científicas de la afectación que genera el SO<sub>2</sub> sobre la salud de las personas. La OECD recomienda que exista una progresiva regulación sobre la calidad del aire y en este sentido la OMS recomienda a su vez que los países establezcan una regulación horaria para SO<sub>2</sub>.

El MMA elaboró 3 posibles escenarios de norma con valores horarios, diarios y anuales para ser evaluados por el AGIES, con el fin de evaluar la aplicabilidad de regulaciones internacionales a la realidad nacional, considerando el objetivo de proteger a la población expuesta al contaminante, y que a la vez mantengan una coherencia regulatoria con los otros instrumentos normativos que reducen las emisiones de SO<sub>2</sub>.

Los análisis concluyen que existen en el país 4 zonas geográficas (7 comunas) en donde las condiciones de concentración sobrepasan alguno de los escenarios propuestos, aun cuando se considera como parte de la línea base las reducciones de emisiones (y por ende, de calidad del aire) de las normas para termoeléctricas y fundiciones, cuyos regulados aún están en fase de implementación.

En relación de los análisis de escenarios, cada uno tiene ventajas y desventajas bien determinadas. En términos generales, el E1 es el más estricto por sobre la línea base (simulación de todos los instrumentos normativos vigentes en plena operación), generando los mayores beneficios y costos valorizados. Sin embargo, este último punto implica que no sea consistente con los otros instrumentos de regulación. El E2 es el más balanceado en beneficios y costos. Finalmente, el E3, no induce a reducciones adicionales, por lo que tiene la ventaja que es el único escenario que es consistente con las otras regulaciones vigentes. Todos los escenarios producen una mejora potencial en la calidad del aire o una "ganancia ambiental" aun cuando las concentraciones actuales no se vean superadas producto que previene que la suma de emisiones de futuras fuentes emisoras eleven en demasía la concentración de SO<sub>2</sub> y por lo tanto los riesgos para la población.

000713

v7A

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

## 5. Referencias

Arrow, K. J., M. L. Cropper, et al. (1996). "Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and safety regulation?" *Science* 272(5259): 221-222.

CENMA (2015a). Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma primaria de Calidad del Aire de Dioxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

CENMA (2015b). Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

CNE (2014). Estadísticas de electricidad. Producción y Consumo. Comisión Nacional de Energía. <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/electricidad>.

COCHILCO (2014). Estadísticas de producción minera. Producción cobre de fundición mundial y Chile. C. c. d. cobre. <http://www.cochilco.cl/estadisticas/produccion.asp>.

CONAMA (2009). Anteproyecto norma de emisión para termoeléctricas: Resolución extenta N°7550.

Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."

INE (2013). Estadísticas anuales de transporte y comunicaciones. Instituto Nacional de Estadísticas. [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/economicas.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/economicas.php).

KAS Ingeniería (2012). Efectos en los precios de la electricidad e impactos ambientales asociados a políticas energéticas, Ministerio del Medio Ambiente.

MMA (2011a). D.S 13, Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, Gobierno de Chile.

MMA (2011b). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., Ministerio del Medio Ambiente.

MMA (2011c). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.

MMA (2012a). Análisis General de Impacto Económico y Social de la norma de emisión del anteproyecto norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico. Departamento de Economía Ambiental. Chile.

MMA (2012b). Decreto N° 38, Aprueba Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, Gobierno de Chile.

MMA (2012c). Evaluación de beneficios de una norma de emisión para fundiciones de cobre., Preparado por GeoAire para Ministerio del Medio Ambiente. **Informe Final.**

MMA (2012d). Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre., Preparado por COPRIM Ingeniería S.A. para Ministerio del Medio Ambiente. **Informe Final.**

MMA (2013a). D.S 28, Norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes misoras de arsénico, Gobierno de Chile.

MMA (2013b). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.

OCDE (2011). Evaluación de Medio Término 2011. OECD Environmental Performance Review, Chile 2005. Chile, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

OMS (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). Epidemiology: beyond the basics, Jones & Bartlett Publishers.

USEPA (2010). Control Strategy Tool, COST Equations Documentation.

Valgesta Energía (2014). Estimación de la recaudación proveniente de un impuesto a las emisiones en el sector eléctrico.

000714  
JTA

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

## 6. Anexos

### 6.1 Metodología beneficios en salud

El cambio en concentraciones ambientales se relaciona con el cambio en el número de eventos a través de la utilización de funciones dosis respuesta:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} = \sum_{i=1}^n (e^{(\beta_{pj}\Delta C_{pi})} - 1) \cdot P_{ijp} \cdot Y_{oj}$$

Dónde:

- $\Delta\text{Efecto}_{pj}$ : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>].  
 $\beta_{pj}$ : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>].  
 $\Delta C_{pi}$ : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m<sup>3</sup>].  
 $P_{ijp}$ : Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]  
 $Y_{oj}$ : Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar<sup>12</sup> la expresión anterior de obtiene:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} \approx \sum_{i=1}^n \beta_{pj} \cdot \Delta C_{pi} \cdot P_{ijp} \cdot Y_{oj}$$

Esto implica que para la evaluación se asume una relación lineal entre los niveles de concentración y daños en la salud.

Finalmente, el beneficio se obtiene multiplicando el número de casos por la valoración asociada de padecer uno de los efectos valorados, tal como se señala a continuación:

$$\text{Beneficio}_p = \sum_j \Delta\text{Efecto}_{pj} \cdot VU_j$$

Dónde:

- $\text{Beneficio}_p$ : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP<sub>2,5</sub>  
 $VU_j$ : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

El detalle de la metodología utilizada se encuentra en “Guía Metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire” (MMA 2011b).

<sup>12</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

## 6.2 Valores unitarios de beneficios

En la Tabla 8 se presentan los valores correspondientes a los valores unitarios utilizados para el cálculo de los beneficios.

Tabla 8: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2014.

Tipo de efecto	Efecto detalle	Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
Mortalidad	<i>Largo Plazo</i>	14.920	14.920	14.920	14.920
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	26	28	28	0
	<i>Cardiovascular</i>	0	56	56	56
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0	36	36	37
	<i>Neumonía</i>	0	0	0	40
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	1,3	0	0	0
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	0	0,8	0,8	0
	<i>Días de actividad restringida</i>	0	0,2	0,2	0
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0	0	0	0

Fuente: MMA (2011c)

## 6.3 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 9 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino y SO<sub>2</sub>.

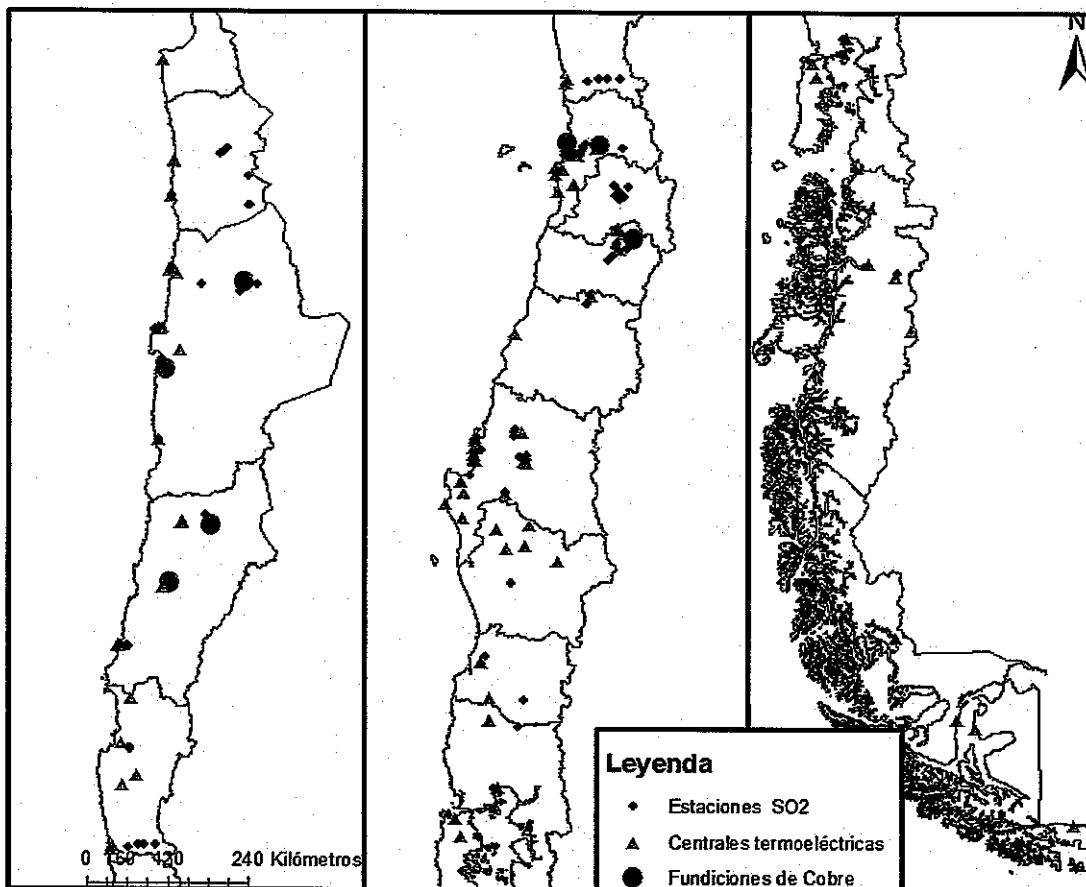
Tabla 9: Coeficientes de riesgo unitario para MP<sub>2,5</sub>

		Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
Mortalidad	<i>Largo Plazo (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,93%	0,93%	0,93%
Admisiones hospitalarias	<i>Asma (MP<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>)</i>	0,33% 0,61%	0,33%	0,33%	-
	<i>Cardiovascular (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,15%	0,15%	0,16%
	<i>Respiratorias crónicas (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,24%	0,24%	0,12%
	<i>Neumonía (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	-	-	0,40%
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma (MP<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>)</i>	0,44% 1,16%	-	-	-
Productividad perdida	<i>Días laborales (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,46%	0,46%	-
	<i>Días de actividad restringida (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,48%	0,48%	-
	<i>Días de actividad restringida menor (MP<sub>2,5</sub>)</i>	-	0,74%	0,74%	-

Fuente: (MMA 2011c)

#### 6.4 Distribución geográfica fuentes analizadas y estaciones de monitoreo.

Figura 8: Distribución espacial de megafuentes emisoras y estaciones de monitoreo de calidad.



Fuente: Elaboración propia en base a Geoportal MINENERGIA.

## 6.5 Concentraciones actuales por norma

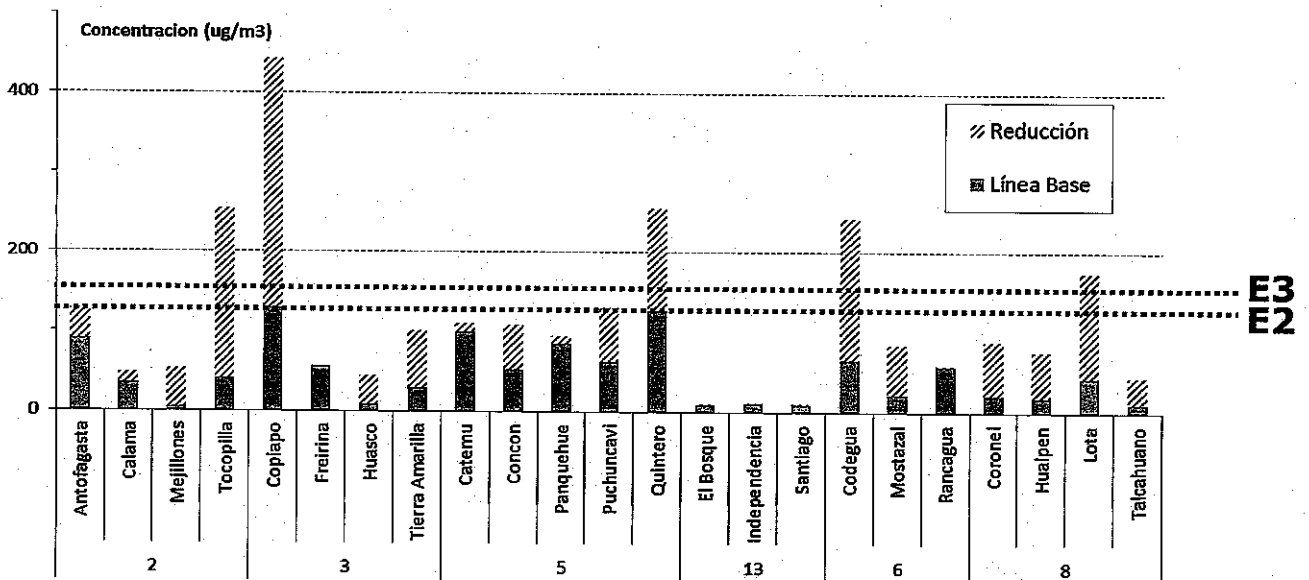
Tabla 10. Concentraciones actuales, de línea base y reducciones estimadas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Comuna-Estación	Anual			Diaria			Horaria		
	Actual	Línea Base	Reducción	Actual	Línea Base	Reducción	Actual	Línea Base	Reducción
Antofagasta-Coviefi	9.7	6.8	2.9	127.4	89.5	37.9	357.1	250.9	106.2
Antofagasta-Norte	71.9	50.5	21.4	697.5	490.1	207.4	1253.6	880.8	372.8
Calama-Chiu Chiu	4.0	3.0	1.1	16.4	12.1	4.3	94.7	69.9	24.8
Calama-SML	10.0	7.4	2.6	48.0	35.5	12.6	162.4	119.9	42.5
Catemu-Catemu	29.0	26.4	2.6	83.8	76.4	7.4	406.1	370.2	35.9
Catemu-Romeral	34.1	31.0	3.0	109.2	99.6	9.7	406.5	370.5	35.9
Codegua-Codegua	29.4	7.9	21.5	243.3	65.4	177.9	396.1	106.4	289.6
Concon-Colmo	12.3	6.0	6.2	36.3	17.8	18.5	101.7	49.9	51.9
Concon-Concon Urbana Fija	26.5	13.0	13.5	108.8	53.3	55.5	328.1	160.8	167.3
Concon-Junta de Vecinos	13.8	6.7	7.0	51.9	25.4	26.5	136.6	67.0	69.7
Concon-Las Gaviotas	14.5	7.1	7.4	68.0	33.3	34.7	163.0	79.9	83.1
Copiapo-Copiapo	12.5	3.6	8.9	68.0	19.8	48.3	282.9	82.2	200.7
Copiapo-Los Volcanes	15.0	4.3	10.6	91.9	26.7	65.2	390.4	113.4	277.0
Copiapo-Pabellón	9.8	2.9	7.0	79.5	23.1	56.4	241.2	70.1	171.1
Copiapo-Paipote	94.3	27.4	66.9	441.4	128.2	313.2	1587.5	461.2	1126.3
Copiapo-San Fernando	5.8	1.7	4.1	44.4	12.9	31.5	194.8	56.6	138.2
Coronel-Laguillas	13.5	3.3	10.2	88.5	21.9	66.6	300.5	74.4	226.1
El Bosque-El Bosque	4.6	4.5	0.0	10.3	10.3	0.1	23.7	23.6	0.1
Freirina-SM6 Parcela Buena Esperanza	18.2	18.2	0.0	55.7	55.7	0.0	363.4	363.4	0.0
Freirina-SM7 Los Loros	17.1	17.1	0.0	44.0	44.0	0.0	360.6	360.6	0.0
Freirina-SM8 Freirina	15.8	15.8	0.0	41.5	41.5	0.0	285.8	285.8	0.0
Hualpen-ENAP Price	7.7	1.9	5.8	42.1	10.4	31.7	154.9	38.4	116.5
Hualpen-JUNII	18.8	4.7	14.2	76.4	18.9	57.5	200.5	49.7	150.8
Huasco-SM1 Vertedero	12.8	2.6	10.2	44.1	9.1	35.0	360.0	74.4	285.6
Huasco-SM2 Quinta La Rosa	10.6	2.2	8.4	39.7	8.2	31.5	348.4	72.0	276.4
Huasco-SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo	15.9	3.3	12.6	46.8	9.7	37.1	368.9	76.2	292.7
Huasco-SM4 Carretera km 40	15.9	3.3	12.6	47.5	9.8	37.7	403.0	83.3	319.7
Huasco-SM5 Parcela 5 El Pino	23.9	4.9	18.9	69.9	14.4	55.5	330.5	68.3	262.2
Independencia-Independencia	5.5	5.4	0.0	10.7	10.6	0.1	17.8	17.8	0.1
Lota-Lota rural	19.5	4.8	14.7	80.8	20.0	60.8	337.5	83.6	253.9
Lota-Lota urbana	19.7	4.9	14.8	173.4	43.0	130.4	584.4	144.8	439.6
Machali-Coya Población	7.0	7.0	0.0	54.8	54.8	0.0	276.3	276.3	0.0
Mejillones-Sub Eléctrica	13.8	1.4	12.5	52.8	5.2	47.6	186.0	18.3	167.7
Mostazal-Casas de Peuco	17.2	4.6	12.6	108.8	29.3	79.6	442.8	119.0	323.8
Mostazal-San Francisco de Mostazal	15.5	4.2	11.4	84.3	22.7	61.6	377.4	101.4	276.0
Panguelue-Lo Campo	32.6	29.8	2.9	94.1	85.8	8.3	352.2	321.0	31.1
Puchuncavi-La Greda	22.1	10.8	11.3	103.2	50.6	52.6	466.7	228.7	238.0
Puchuncavi-Los Maitenes	31.7	15.5	16.2	130.0	63.7	66.3	512.3	251.1	261.2
Puchuncavi-Puchuncavi	21.7	10.6	11.1	63.0	30.9	32.1	202.4	99.2	103.2
Quintero-GNL Quintero	45.7	22.4	23.3	256.5	125.7	130.8	943.6	462.5	481.2
Quintero-Quintero	23.6	11.6	12.0	128.1	62.8	65.3	559.8	274.4	285.4
Quintero-Valle Alegre	13.3	6.5	6.8	48.3	23.7	24.6	179.4	87.9	91.5
Rancagua-Rancagua	20.5	20.5	0.0	58.0	58.0	0.0	124.8	124.7	0.1
Santiago-Parque O'Higgins	4.4	4.3	0.0	10.2	10.1	0.1	19.4	19.3	0.1
Talcahuano-Indura	9.7	2.4	7.3	37.7	9.3	28.4	92.9	23.0	69.9
Talcahuano-Inspeca	8.4	2.1	6.3	29.3	7.3	22.1	88.5	21.9	66.6
Talcahuano-Libertad, Huachipato	13.1	3.2	9.8	44.1	10.9	33.1	128.0	31.7	96.3
Tierra Amarilla-Tierra Amarilla	20.9	6.1	14.8	100.8	29.3	71.5	578.7	168.1	410.6
Tocopilla-Escuela E-10	68.9	11.1	57.7	213.3	34.5	178.7	676.0	109.4	566.6
Tocopilla-Gobernación	11.0	1.8	9.2	57.8	9.4	48.5	192.6	31.2	161.4
Tocopilla-Norte	77.3	12.5	64.8	254.9	41.3	213.7	837.2	135.5	701.7

Fuente: Elaboración propia.

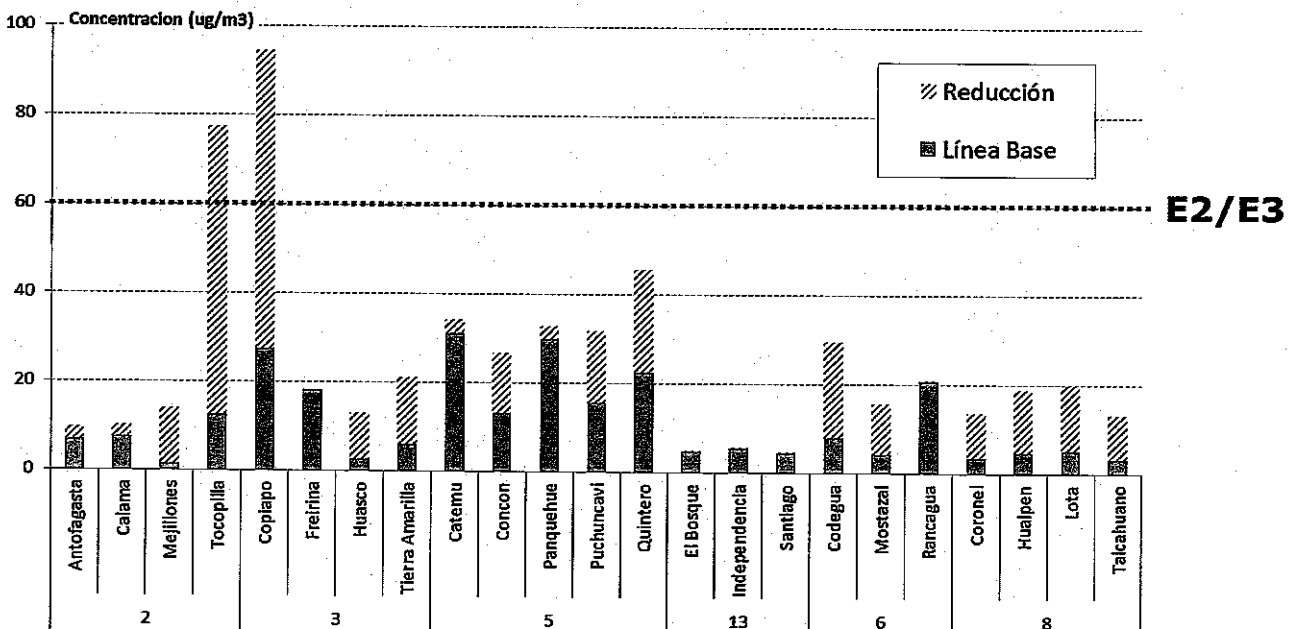
### 6.6 Reducción de límite de emisión para normas diaria y anual

Figura 9. Línea base de concentraciones SO<sub>2</sub> y escenarios. Norma diaria. (µg/m<sup>3</sup>).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Línea base de concentraciones SO<sub>2</sub> y escenarios. Norma diaria. (µg/m<sup>3</sup>).

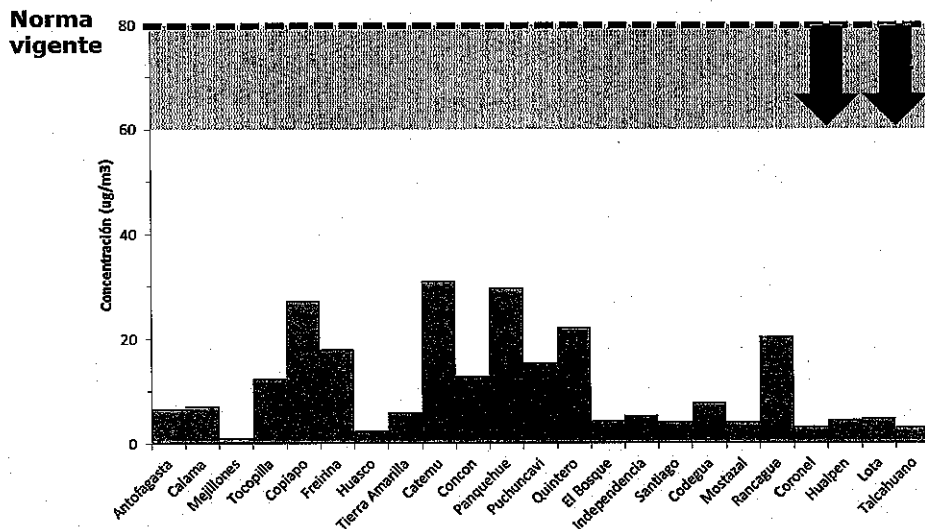


Fuente: Elaboración propia.



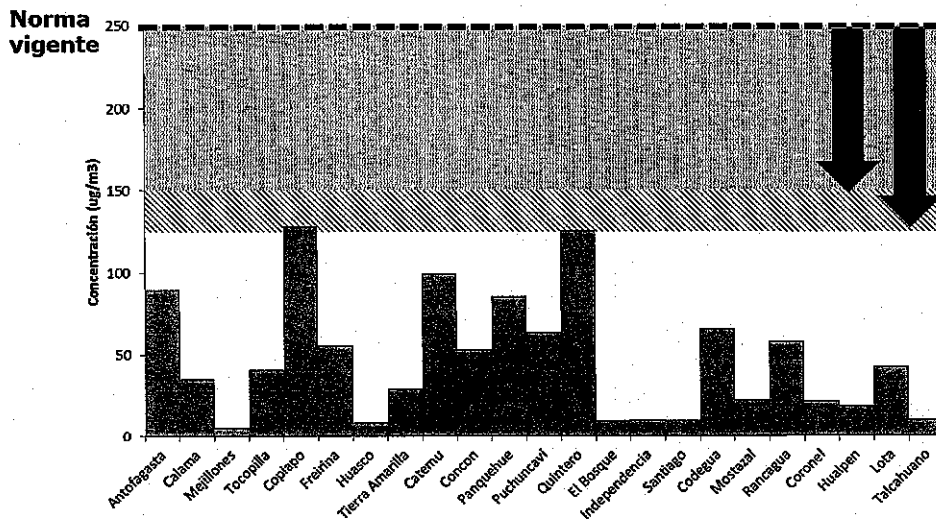
### 6.7 Reducción de límite de emisión para normas diaria y anual

Figura 11. Potencial de mejora de calidad del aire. Norma anual E2 y E3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Potencial de mejora de calidad del aire. Norma anual E2 y E3.



Fuente: Elaboración propia

000717

U+8

AGIES Norma de Calidad Primaria SO<sub>2</sub>

## 6.8 Costos por fuente emisora

Figura 13. Costos por fuente emisora (MMUSD/año).

Fundición	E1	E2	E3
Altonorte	-	-	-
Caletones	-	-	-
Chagres	-	-	-
Chuquicamata	-	-	-
HVL	1.4	1.4	-
Potrerosillos	-	-	-
Ventanas	13.7	-	-
<b>Total general</b>	<b>15.4</b>	<b>1.4</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia