



Carta N° 163651 /

Santiago, 13 SEP 2016

Señor
Nielz Cortés Torrejón
Presidente
Agrupación de Seguridad Ciudadana
Comuna de Puchuncaví
Presente

En relación a su carta de fecha 14 de abril de 2015, e ingresada por oficina de partes de Santiago del Ministerio del Medio Ambiente, el 11 de julio de 2016, en la cual presenta sugerencias a la reunión realizada el jueves 9 de abril en Quintero, en el marco de la revisión de la norma primaria de calidad del aire para dióxido de azufre (SO₂); tengo a bien de manifestar a usted lo siguiente:

1. En primer lugar agradecer el interés permanente de la agrupación que usted representa, de colaborar con observaciones al proceso de revisión de la norma de SO₂.
2. Respecto a su solicitud de considerar un límite máximo horario menor a 260 µg/m³. Indico a usted que no se consideró un escenario de 260 µg/m³ porque en la elaboración del anteproyecto se analizaron los escenarios de: 500, 350 y 197 µg/m³, los cuales corresponden a niveles aplicados internacionalmente (ver tabla N°1).

También es necesario indicar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus 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, página 19, se basa en la última evidencia en salud disponible, recomendando un valor de 500 µg/m³ de SO₂ para exposiciones de corta duración de 10 minutos, con el fin de proteger a la población de los efectos agudos del SO₂, ya que la evidencia pone de manifiesto que a concentraciones de 520 µg/m³ los grupos vulnerables como los asmáticos comienzan a presentar bronco-constricción.

No obstante lo anterior, si bien a nivel internacional los procesos de actualización de las normas primarias de calidad del aire de SO₂, consideran la evidencia y las recomendaciones de la OMS, se constata que para períodos de exposición de corta duración, la mayoría de los países independiente del valor norma establecen la métrica de 1 hora, en vez de 10 minutos. Ejemplo de esto, son los casos de: Estados Unidos, países que integran la Comunidad Europea, Corea del Sur, Australia, Canadá, China y México.

Por otra parte, nuestra Ley 19.300, artículo 32 inciso 3 y el Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, Decreto N° 38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, en su artículo 15, indican que se debe tener a la vista los resultados de un análisis general del impacto económico y social, AGIES, donde se consideraron como valor horario los siguientes escenarios: 500, 350 y 197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este último valor menor a 260, tal como se solicita considerar en la consulta y resultando ser el escenario con los más altos costos adicionales asociados para su cumplimiento, a su vez, en los escenarios de 500 y 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se concluye que los principales costos son indirectos y que se asignan a otros instrumentos de gestión ambiental, es decir, corresponden a costos privados y sociales valorizados en los planes de inversión producto de la aplicación de la norma de emisión para termoeléctricas y de la norma de emisión para fundiciones de cobre; y también, producto de las mejoras de reducción del azufre en los combustibles utilizados en el sector transporte e industrial. En cuanto a los beneficios se identificó la ganancia ambiental, que corresponde a externalidades positivas que no están internalizadas por diversas razones en el conteo tradicional de costos y beneficios, como por ejemplo, la mejora potencial de la calidad del aire en la mayor parte del país, la mejora de la imagen país y de los compromisos internacionales como los suscritos con OCDE.

3. Respecto a su carta donde indica que *"el criterio de generar la norma debe estar apuntando directamente a que no afecte a la salud de la población y no hacia lo que puede hacer hoy tecnológicamente una empresa..."*

Cabe destacar que el documento 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, página 7, indica que *"... Las normas nacionales varían en función del enfoque adoptado con el fin de equilibrar los riesgos para la 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"*. De esta forma, los países adoptan y avanzan

con el fin de equilibrar metas de objetivos de políticas de salud pública, de políticas medio ambientales, de políticas de desarrollo, entre otras. Asumiendo con esto en cada revisión de una norma ambiental, el desafío de actualizar y considerar estándares de protección sustentados con la última evidencia en salud disponible y con un análisis general del impacto económico y social (AGIES). Todo lo mencionado lo contempla la ley 19.300 y el Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, Decreto N° 38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente.

Así, en la tabla N°1 se aprecia como distintos países adoptan sus valores norma de SO₂ para proteger la salud de las personas dependiendo de sus rutas particulares en la elaboración de normas.

Tabla N°1. Comparación entre los valores norma primaria de calidad de dióxido de azufre (SO₂).

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
Canadá	--	450	150	60
Australia	--	524	210	52
Corea del Sur	--	393	131	52
México	--	524	288	66
Chile primaria (actual, D.S. N°113/2003)	--	--	250	80
Chile Anteproyecto norma SO₂	--	500	150	60
Chile secundaria zona norte	--	1.000	365	80
Chile secundaria zona sur	--	700	260	60

Adicionalmente, para complementar la información se adjuntan a la carta:

- i) El documento de la Organización Mundial de la Salud denominado 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.
- ii) La comparación gráfica de la normativa internacional para la norma anual, de 24 horas y de 1 hora para SO₂.
- iii) Ejemplos de avances en los procesos de actualización de las normas de SO₂, para países de la Comunidad Europea, Estados Unidos y China.

4. Respecto a su solicitud de considerar el indicador AEGL tipo 1 (Acute Exposure Guideline Levels). Me permito indicar a usted, que durante el proceso de revisión se analizaron los modelos internacionales basados en índices y niveles que se definen por formulas o algoritmos a partir de las concentraciones para todos los contaminantes criterios, incluyendo también al dióxido de azufre. Los principales modelos o índices reportados en el mundo corresponden a: (i) Air Quality Index (AQI) utilizado en los Estados Unidos, Tailandia, Abu Dabi y China; (ii) Air Pollution Index (API) utilizado en Hong Kong, China y Malasia; (iii) Common Air Quality Index (CAQI) utilizado en la Unión Europea; (iv) Daily Air Quality Index (DAQI) utilizado en el Reino Unido y (v) Air Quality and Health Index (AQHI) utilizado en Canadá.

5. Cabe destacar, que los niveles guía de exposición aguda, AEGLs ^{1 2}, del inglés Acute Exposure Guideline Levels, desarrollados por el National Research Council/National Academy of Sciences, NRC/NAS, USA, describen los efectos agudos en la salud humana de la exposición a sustancias peligrosas en escapes accidentales de productos químicos altamente tóxicos. Por ello, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA, del inglés US Environmental Protection Agency, utiliza el Air Quality Index (AQI) ³ dentro de sus modelos de comunicación del riesgo a la población para el dióxido de azufre y no los AEGLs.

En conclusión, la propuesta de proyecto definitivo de norma incluye una reducción sustancial de los valores que definen los niveles de emergencia, actualizándolos acorde a los modelos de comunicación del riesgo de SO₂ usados a nivel internacional.

En particular, en esta misma solicitud de su carta solicita considerar "*la combinación de los contaminantes en el medio ambiente*". Me permito indicar que el alcance de la norma de calidad corresponde estrictamente al contaminante dióxido de azufre (SO₂) en el aire.

¹ <https://www.epa.gov/aegl>

² <https://www.epa.gov/aegl/history-acute-exposure-guideline-levels-aegls>

³ <https://airnow.gov/>

6. Respecto a la definición de los niveles de emergencia. La ley 19.300, artículo 32, indica que las normas “definirán los niveles que originan situaciones de emergencia”. Por ello, los niveles de emergencia se definen para episodios de contaminación, donde existe una alta concentración del contaminante, en el caso de SO₂, en un corto período de tiempo.
7. Respecto a su observación sobre compensación de emisiones, me permito indicar que no es materia del proceso de revisión de la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre. El proceso se ajusta a lo indicado por el reglamento de dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, Decreto Supremo N°38/2013 del Ministerio del Medio Ambiente.
8. Respecto a la solicitud de incorporar una estación de monitoreo de calidad dentro del parque industrial, con el objeto de velar por la salud de los trabajadores, me permito indicar que lo solicitado no es materia del proceso de revisión de una norma ambiental, correspondiendo más bien a un asunto de salud ocupacional, ámbito de competencia exclusiva del Ministerio de Salud.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



MARCELO MENA CARRASCO
SUBSECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

Pim
PIM/CRF/GOF/OIF/gqs

Adj.:

- i) 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.
- ii) La comparación gráfica de la normativa internacional para la norma anual, de 24 horas y de 1 hora para SO₂.
- iii) Ejemplos de avances en los procesos de actualización de las normas de SO₂, para países de la Comunidad Europea, Estados Unidos y China.



C.c.:

- Archivo Gabinete Subsecretario
- Archivo División Calidad del Aire y Cambio Climático
- Archivo Oficina de Partes
- Expediente de revisión de la norma primaria de calidad del aire para SO₂



**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**

**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

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). 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).

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

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 desarrollo¹.

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 1987² y actualizadas en 1997³, 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 (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). 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 Europa³ 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 2005⁴. 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>.

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 (O₃) 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 (NO₂) 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 NO₂ 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 NO₂, 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 NO₂ y el SO₂, 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

Guías

MP_{2,5}:	10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas
MP₁₀:	20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas

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 µ (MP_{2,5}) se ha estimado en 3-5 µg/m³ 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 MP₁₀, 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 μ) como las finas (de menos de 2,5 μ , $PM_{2,5}$) 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^a

	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	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.
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	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 _{2,5} .

^aSe prefiere el uso del valor guía del MP_{2,5}.

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 MP₁₀ del 0,62% y el 0,46% por 10 µg/m³

(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/m³ (Cohen et al. 2004), en realidad muy parecido al obtenido para las ciudades asiáticas (0,49% por 10 µg/m³) (HEI International Oversight Comité, 2004). Estos resultados parecen indicar que los riesgos para la salud asociados con exposiciones breves al MP₁₀ 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/m³ en la concentración diaria. Por consiguiente, cabe suponer que una concentración de 150 µg/m³ 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/m³ 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 µg/m³ 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^a

	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/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).
Guía de calidad del aire (GCA)	50	25	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 MP_{2,5} 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 µ 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 exis-

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

Guía

O₃: 100 µg/m³, media de ocho horas

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 µg/m³ 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 µg/m³, 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 µg/m³ a 100 µg/m³ (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 µg/m³, por encima del que se registra cuando los niveles de ozono están en un nivel de referencia de 70 µg/m³ (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 (NO_x) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el NO₂ 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 µg/m³ 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

	Media máxima diaria de ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel elegido
Niveles altos	240	Efectos significativos en la salud; proporción sustancial de la población vulnerable afectada.
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	160	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"> • efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio expuestos durante periodos de 6,6 horas; • 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); • aumento estimado de un 3-5% de la mortalidad diaria^a (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias).
Guía de calidad del aire (GCA)	100	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"> • un aumento estimado de un 1-2% de la mortalidad diaria^a (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias); • 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; • la probabilidad de que el ozono ambiental sea un marcador para los oxidantes relacionados con él.

^a 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

Guías

NO₂: **40 µg/m³, media anual**
200 µg/m³, media de una hora

Fundamento

Como contaminante del aire, el dióxido de nitrógeno (NO₂) 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 NO₂, en concentraciones de corta duración superiores a 200 µg/m³, es un gas tóxico con efectos importantes en la salud. Los estudios toxicológicos con animales también parecen indicar que la exposición prolongada al NO₂ en concentraciones por encima de las ahora presentes en el medio ambiente tiene efectos adversos.
- ii. El NO₂ 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 (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 NO₂ 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 NO₂ atmosférico se emite en forma de NO, que se oxida rápidamente a NO₂ 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 MP_{2.5} del aire ambiente.

El valor guía actual de la OMS de 40 µg/m³ (media anual) se estableció para proteger al público de los efectos del NO₂ 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 NO_x, no están concebidos para controlar otros contaminantes que los acompañan, pudiendo incluso aumentar sus emisiones. Sin embargo, si se vigila el NO₂ 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 NO₂ 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 NO₂. 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 NO₂, y que el menor aumento de la función pulmonar en los niños está vinculado a concentraciones elevadas de NO₂ 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 NO₂ 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 NO₂, 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 NO₂ por debajo de 40 µg/m³. 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 NO₂. Sin embargo, no está claro hasta qué punto los efectos observados en los estudios epidemiológicos se pueden atribuir al propio NO₂ 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 NO₂. No obstante, dado que se miden habitualmente en el aire ambiente las concentraciones de NO₂, 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 NO₂. En dicho límite se tiene en cuenta el hecho de que puede haber efectos tóxicos directos de la exposición crónica al NO₂ 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 µg/m³ de NO₂ durante una hora. Aunque el nivel más bajo de exposición al NO₂ que ha mostrado un efecto directo en la función pulmonar de los asmáticos en más de un laboratorio es de 560 µg/m³, los estudios realizados sobre la capacidad de respuesta bronquial en los asmáticos parecen indicar que aumenta con niveles superiores a 200 µg/m³.

Dado que el valor guía de las GCA actuales de la OMS para la exposición breve al NO₂, de 200 µg/m³ (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 NO₂ se mantienen sin cambios en comparación con los niveles actuales de las GCA de la OMS, es decir, en 40 µg/m³ para la media anual y 200 µg/m³ para la media de una hora.

Dióxido de azufre

Guías

SO₂: **20 µg/m³, media de 24 horas**
500 µg/m³, media de 10 minutos

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 SO₂ de apenas 10 minutos. Tomando como base estas pruebas, se recomienda que no se supere una concentración de SO₂ de 500 µg/m³ durante periodos con una duración media de 10 minutos. Debido a que la exposición breve al SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ de 125 µg/m³ 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 SO₂, como consecuencia de lo cual se estableció para el SO₂ una GCA de la OMS separada de 125 µg/m³ (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 SO₂ durante 24 horas del orden de 5-40 µg/m³ (Wong *et al.*, 2002). Los niveles de SO₂ 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/m³ (el nivel medio más alto de SO₂ fue inferior a 10 µg/m³) (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 SO₂ 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 SO₂ era de 18 µg/m³ y la media más alta de 85 µg/m³ (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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂; 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 SO₂ se consiga una disminución de la exposición a una sustancia causal y correlacionada, tiene fundamento la revisión de la guía del SO₂ durante 24 horas a la baja, adoptando como enfoque precautorio

prudente un valor de 20 µg/m³.

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 SO₂ 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 SO₂ con el menor costo) y hacer un seguimiento mediante la vigilancia de la salud pública y los niveles de SO₂, 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 SO₂: concentraciones de 24 horas y 10 minutos

	Promedio de 24 horas (µg/m ³)	Promedio de 10 minutos (µg/m ³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1) ^a	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 SO₂ 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).

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. En este documento se presentan los valores guía revisados para los contaminantes más frecuentes del aire, tomando como base un examen de las pruebas científicas acumuladas. Estas guías son aplicables en todas las regiones de la OMS y aportan información a los encargados de la formulación de políticas que se plantean diversas opciones para la gestión de la calidad del aire en distintas partes del mundo en relación con el establecimiento de objetivos.

Normativa internacional para las normas de SO2

Comparación anteproyecto y normativa internacional

Norma Anual de SO2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

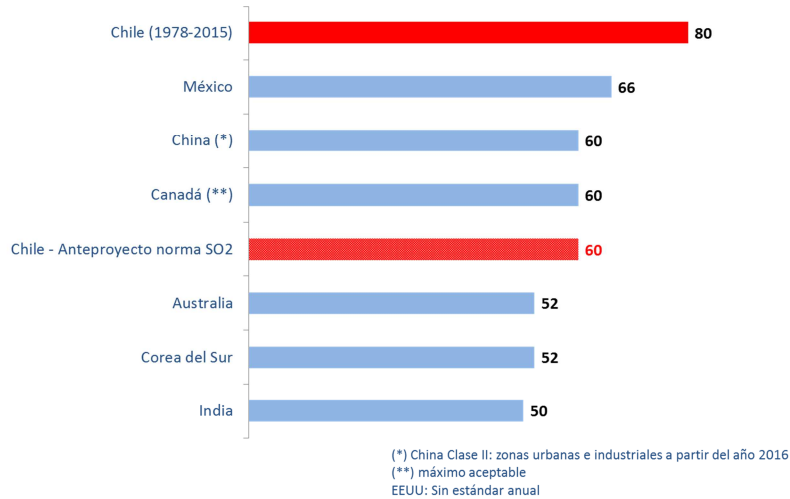


Figura 1: Comparación del anteproyecto y normativa internacional, norma anual de SO₂.

Comparación anteproyecto y normativa internacional

Norma de SO2 de 24 horas ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

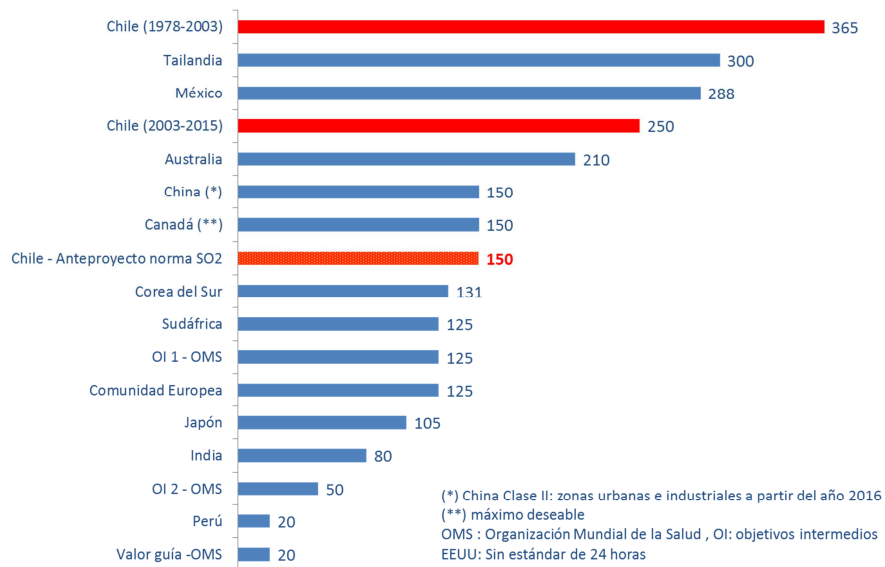


Figura 2: Comparación del anteproyecto y normativa internacional, norma de 24 horas de SO₂.

Comparación anteproyecto y normativa internacional Norma de 1 hora ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

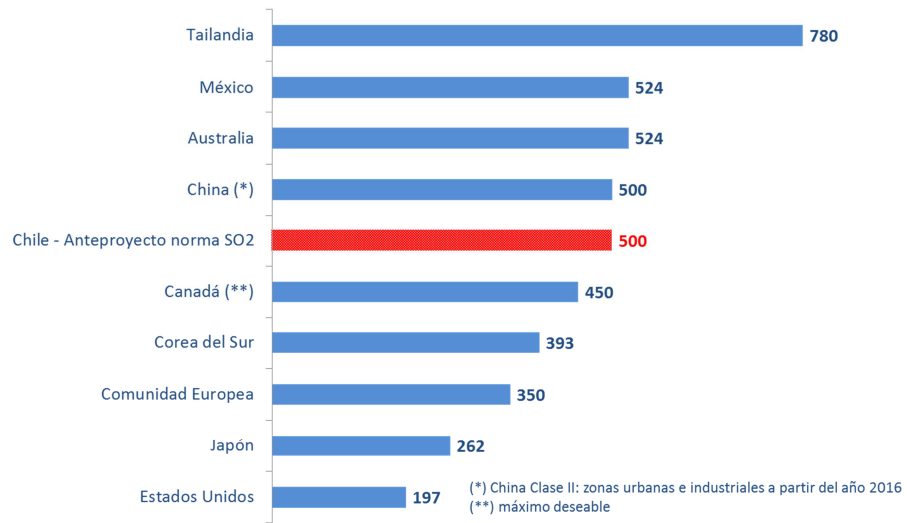


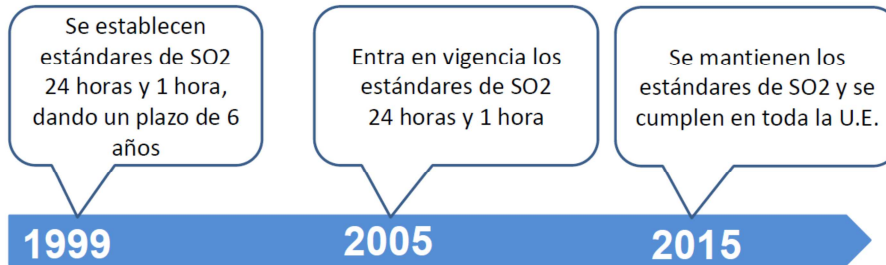
Figura 3: Comparación del anteproyecto y normativa internacional, norma de 1 hora de SO₂.

Ejemplos de avances en los procesos de actualización de las normas primarias de calidad para SO2 en diferentes países.

Caso 1: Unión Europea



CE: 28 países

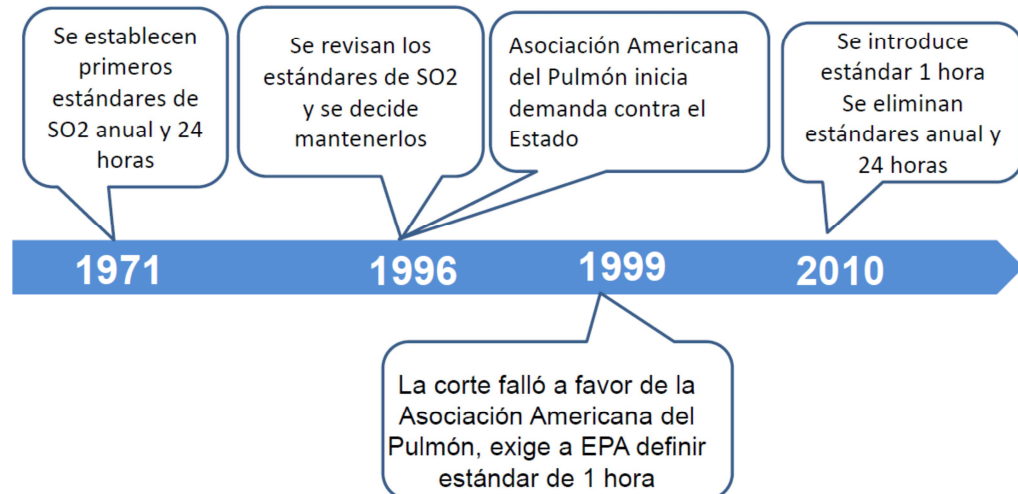


**Los países europeos comenzaron a establecer normas de calidad de SO2 desde los 70s
Es de interés por la lluvia ácida**

Caso 2: Estados Unidos (EPA – US)



The American Lung Association



4 décadas se mantuvo el mismo estándar

Caso 3: China



Se establecen estándares de SO₂

Se logra eliminar estándar de zona industrial. Estándares SO₂ anual, 24 horas y de 1 hora para 2 zonas: prístina y urbana.

1982

1996

2012

Se revisan y actualizan los estándares SO₂ anual, 24 horas y de 1 hora, para 3 zonas: prístina, urbana e industrial

Desde 1996, se mantienen los valores de los estándares. 2012 se elimina la categoría de zona industrial, por lo tanto, la zona industrial debe cumplir con los estándares para la zona urbana