



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

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 (SO₂).

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.



Resumen

Las emisiones de SO₂ 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 SO₂, mediante reacciones químicas en la atmósfera, forma material particulado fino (MP_{2.5}) 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 SO₂ (NCP SO₂) 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 regirán 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.

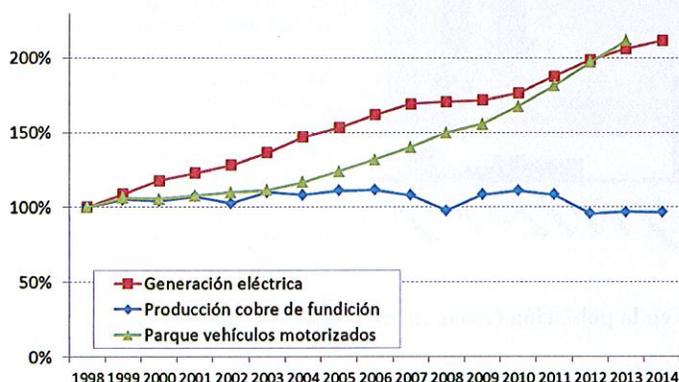
Finalmente, en el análisis por escenario normativo, se analizaron los beneficios producto de la reducción de casos de mortalidad y algunos efectos en morbilidad en la población, los costos para las fuentes reguladas que deberán disminuir las emisiones, y con ello se desprende la coherencia regulatoria, 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 redonda 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 SO₂ (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 SO₂ 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 período. Sin embargo, actualmente este último sector posee las mayores emisiones de SO₂ a nivel nacional, con más del 60% de las emisiones totales de este contaminante.

Tabla A. Normativas que regulan SO₂ 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													
↓S comb. transporte	RM												
↓S comb. industria diésel													
↓S comb. industria													

Existen varias normas aprobadas en los últimos años que reducen las emisiones de SO₂. Entre ellos, las norma de fundiciones y termoeléctricas, de alcance nacional, terminarán su implementación el 2017 y 2019 respectivamente. Por ello, la concentración de SO₂ 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.

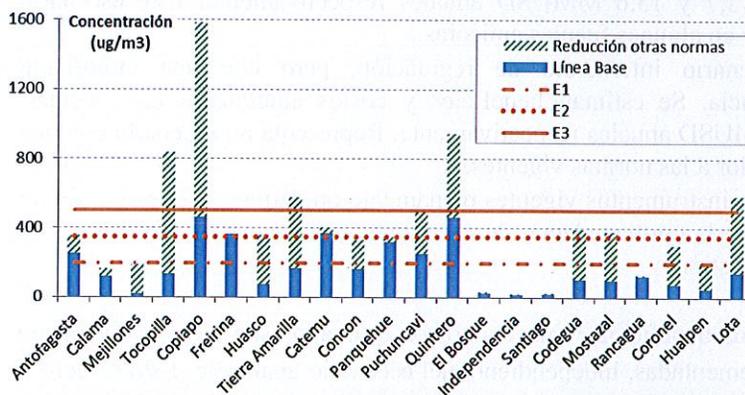
↓S comb: disminución del contenido de azufre en los combustibles.

Tabla B. Escenarios de norma evaluados [µg/m³]

	E1	E2	E3
Horaria	197	350	500
Diaria	-	125	150
Anual	-	60	60

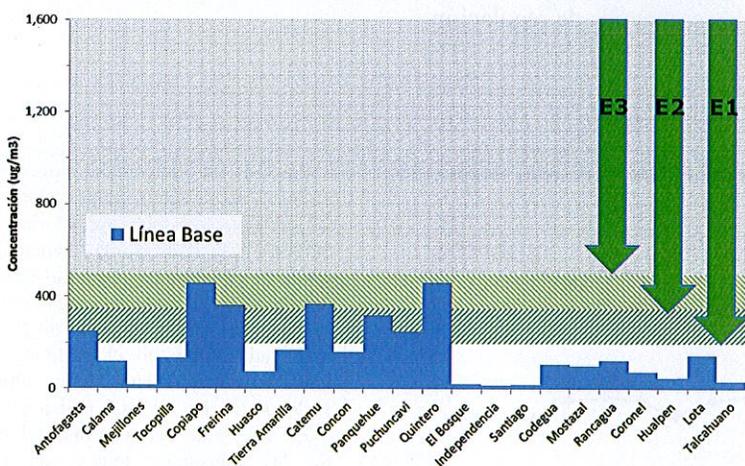
Escenarios de norma propuestos a evaluar en el AGIES. Tanto E2 como E3 poseen valores horarios, diarios y anuales, mientras que E1 sólo posee estándar horario. Éste representa el estándar de Estados Unidos, el cual es el más estricto del mundo.

Figura B. Concentración de horaria actual y de línea base [µg/m³].



Representa concentraciones de SO₂ 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.

Figura C. Disminución de estándar horario por escenario [µg/m³].



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/m³, concentración actual de la zona de Copiapó, 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 SO₂ 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-costos	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

1. ANTECEDENTES.....	6
1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA NORMA: EFECTOS DEL SO ₂	6
1.2 NORMA DE CALIDAD VIGENTE	7
1.3 ESCENARIOS NORMATIVOS EVALUADOS.	8
2. METODOLOGÍA E INFORMACIÓN BASE	9
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 ₂	11
2.1.3 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO ₂	11
2.2 BENEFICIOS.....	11
2.3 COSTOS.....	12
3. RESULTADOS	13
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
4. CONCLUSIONES.....	21
5. REFERENCIAS.....	22
6. ANEXOS.....	24
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



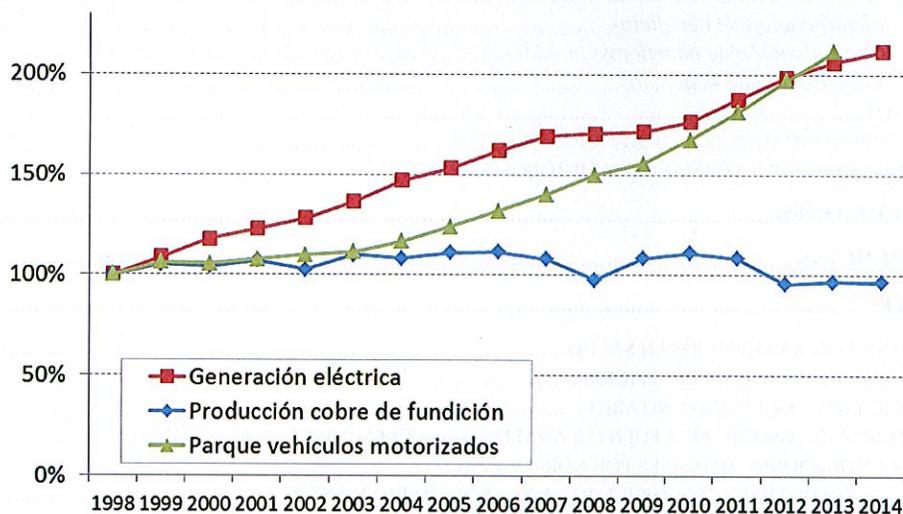
1. Antecedentes

1.1 Justificación de la norma: efectos del SO₂

Los antecedentes toxicológicos y epidemiológicos sobre los efectos agudos y crónicos que el SO₂ 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_{2,5}).

A nivel nacional parte de la población está expuesta a altos niveles de concentración de SO₂, debido a la superposición en el uso del territorio de los sectores poblados y las actividades económicas con altas emisiones de SO₂. 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 SO₂.



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 SO₂ 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 impuesto¹ (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.

¹ 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 SO₂ y año de implementación.

Instrumento regulatorio	Alcance	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
NE. Termoeléctricas NE. Fundiciones Impuestos verdes ↓S comb. transporte ↓S comb. industria diésel ↓S comb. industria	Nacional											
↓S comb. transporte ↓S comb. industria diésel ↓S comb. industria	RM											

↓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 (SO₂) 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 SO₂

Temporalidad	ppbv	µg/m ³ 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 SO₂ 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 SO₂ en la salud de la población evidenciados sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares, niveles preventivos recomendados de concentraciones de SO₂, los cuales corresponden a 20 µg/m³ para una métrica de 24 horas y de 500 µg/m³ 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.



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.

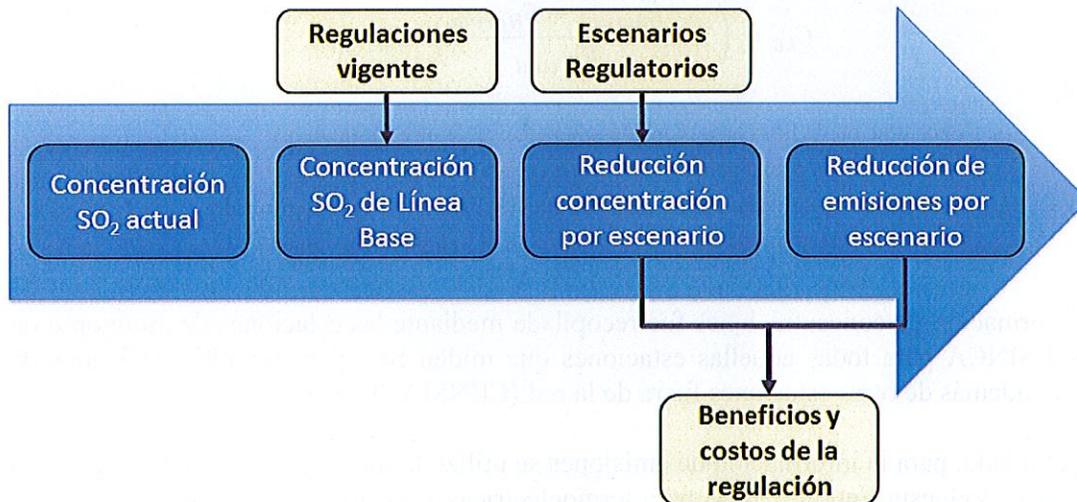


2. Metodología e información base

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 regulación². 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 epidemiológicos³ 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 metodológica 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 SO₂ vigente, existen otros instrumentos de gestión ambiental que regulan a este contaminante a nivel nacional. Entre ellos destacan la “Norma

² Se entiende por beneficios y costos en el sentido amplio de las palabras y no estrictamente a aspectos monetarios o valorizados de los mismos.

³ 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.

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 SO₂ 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 operativos⁴. 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 ecuación⁵:

$$C_{LB} = \left(1 - \frac{E_{Actual} - E_{Norma}}{E_{Actual}}\right) \cdot C_{Actual}$$

Dónde:

- C_{LB} : Concentración de línea base, considerando efectos de otras normativas.
- C_{Actual} : Concentración actualmente monitoreada (estadígrafos de norma).
- E_{Actual} : Emisiones de SO₂ actuales de todas las fuentes para una zona determinada.
- E_{Norma} : Emisiones de SO₂ 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 SO₂ para los últimos 3 años de datos⁶, 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)⁷.

⁴ 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.

⁵ 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.

⁶ Se analizaron solo las estaciones con representatividad poblacional.

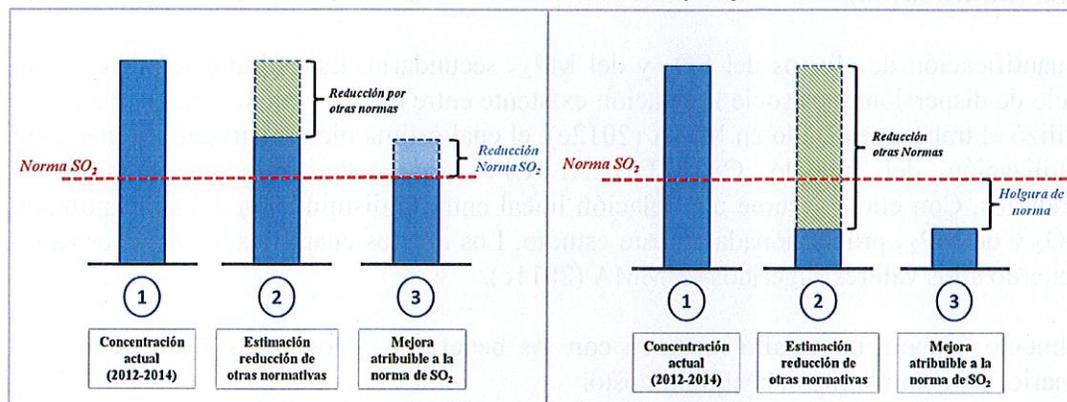
⁷ <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/channel.html>



2.1.2 Mejoras de calidad del aire atribuibles a NCP SO₂

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 SO₂ 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 SO₂.



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 SO₂

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.



La identificación de beneficios está íntimamente relacionada con los efectos que produce el SO₂ 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 SO₂ y del MP_{2.5} 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 SO₂ y de MP_{2.5} 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 SO₂. También se calculan los costos por reducción en la emisión de SO₂ y los beneficios en salud asociados a la disminución de concentración tanto de SO₂ como de MP_{2,5}.

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.

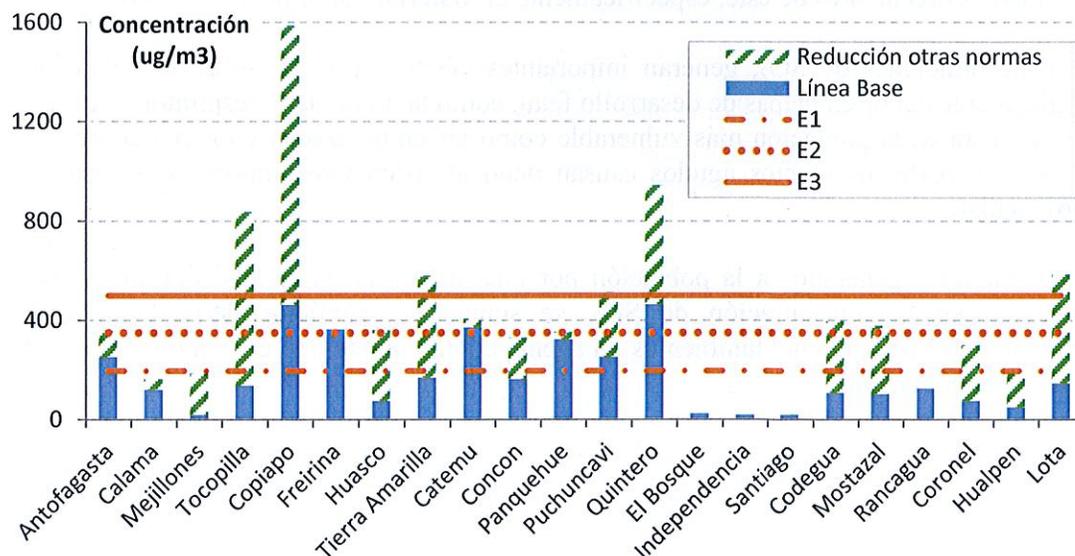
3.1 Generación de línea base

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 SO₂. 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 SO₂ y escenarios de norma (µg/m³)



Fuente: Elaboración propia.



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"> • Antofagasta • Copiapó • Freirina • Catemu • Panquehue • Puchuncaví • Quintero 	<ul style="list-style-type: none"> • Copiapó • Freirina • Catemu • Quintero 	-
Diaria	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Copiapó • Quintero 	-
Anual	N/A	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.2 Beneficios

3.2.1 Identificación de beneficios

El dióxido de azufre (SO₂) produce distintos efectos sobre la salud de las personas, antecedentes epidemiológicos y toxicológicos demuestran una relación directa entre las concentraciones de SO₂ y consecuencias sobre la salud, así como también con contaminantes precursores de este, específicamente el Material Particulado fino (MP_{2,5}).

Estas concentraciones de SO₂, 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 SO₂, se suman co-beneficios derivados por la disminución en MP_{2,5}, 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 SO₂.

Identificados	Valorizados
↓ Mortalidad Prematura (MP)	Sí, pero restringido espacialmente.
↓ Morbilidad (MP, SO ₂)	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 ₂)	No
↑ Producción agrícola (MP, SO ₂)	No
↓ Efectos en ecosistemas (SO ₂)	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 Chile⁸.
- **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_{2,5}, PM₁₀) y al Ozono; dar seguimiento al avance y a los efectos de los programas en la salud mediante indicadores apropiados*”. La NPC de SO₂ 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.

⁸ Programa de Gobierno Michelle Bachelet 2014-2018 (<http://michellebachelet.cl/programa/>).

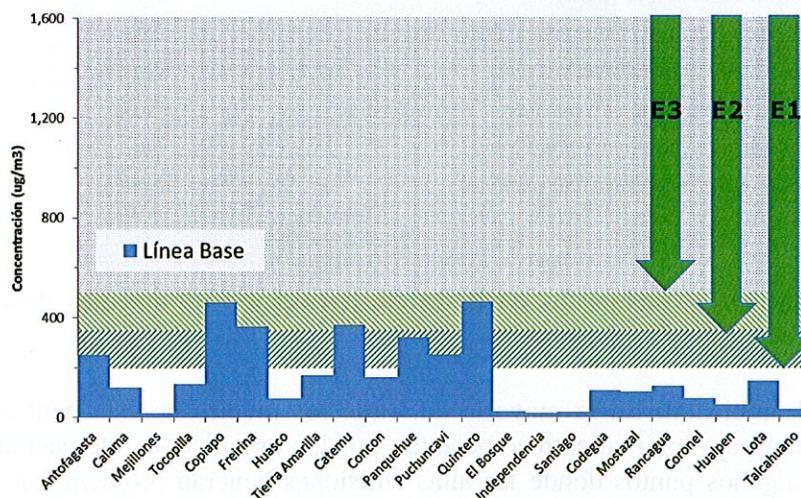


- Mejora potencial de calidad del aire: la implementación de escenarios más estrictos de norma aun cuando los límites de concentraciones de línea base no sean superados pueden generar impactos potenciales si es que en un futuro dicho límite es superado.

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/m³ 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 SO₂.

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_{2.5} secundario y morbilidad asociados a MP_{2.5} y SO₂. 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 SO₂, 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.

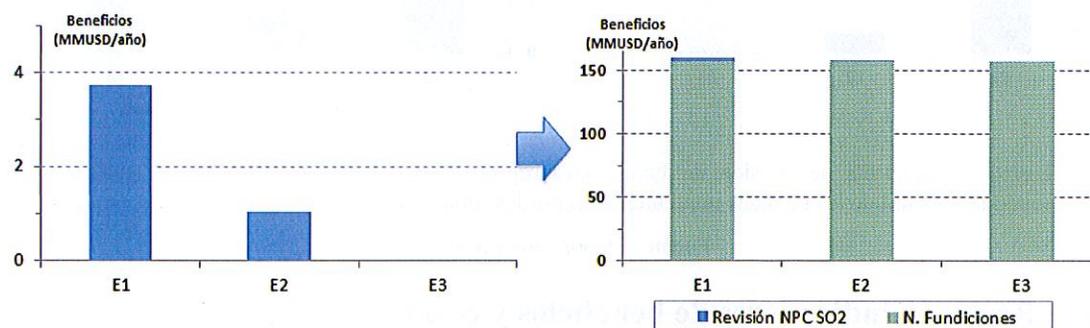
Fuente: Elaboración propia

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 SO₂ y MP_{2,5} 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 SO₂ 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



límite de norma horaria es mayor. Finalmente E3 no requiere de inversiones adicionales estimadas.

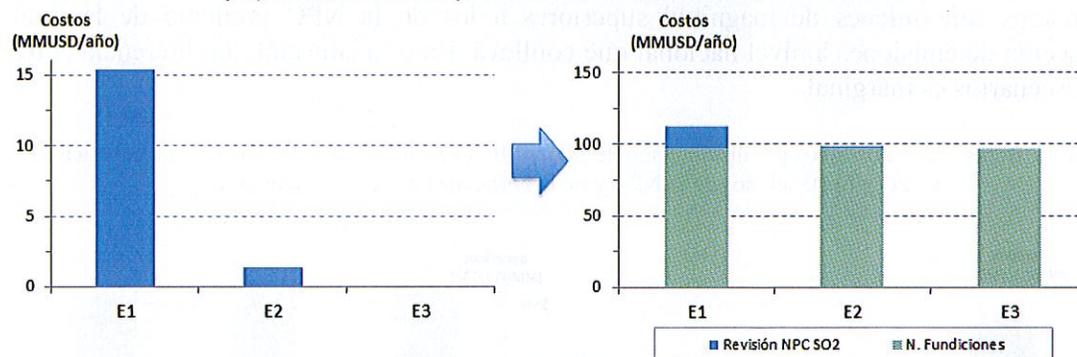
Así como en el caso de los beneficios, aplicando un análisis comparativo con la norma de fundiciones los costos de todas los escenarios de normas son significativamente menores. Sólo el E1 posee un leve peso relativo, correspondiente a un 8% de la norma de fundiciones.

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
Total	450	59	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Costos valorizados por disminución de SO₂ y MP_{2.5} 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"> - Posee los mayores beneficios entre los escenarios evaluados - Posee la mayor ganancia ambiental al disminuir el valor de norma. 	<ul style="list-style-type: none"> - No posee un estándar diario ni anual. - Genera los mayores costos para el sector regulado. - Al generar costos adicionales, no es coherente con las otras normativa vigentes, uno de los objetivos de la presente NPC SO₂
E2	<ul style="list-style-type: none"> - Posee beneficios mayores a cero - Baja significativamente los estándares mejorando las exposiciones al contaminante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posee costos mayores a cero, aunque no tan importantes como E1. - No es coherente con otras normativas de reducción de emisiones de SO₂ dado que implica en esfuerzos adicionales.
E3	<ul style="list-style-type: none"> - No hay costos adicionales a las normas vigentes - Baja significativamente los estándares mejorando la exposición al contaminante. - Es consistente con otras normativas de reducción de emisiones de SO₂ dado que no implica en esfuerzos adicionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - No existen reducciones de emisiones adicionales a las normativas vigentes.

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*⁹. Esto se

⁹ 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.



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 expuesta¹⁰, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras¹¹.

¹⁰ En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP₁₀ y MP_{2,5}, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

¹¹ 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 SO₂ 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 SO₂.

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 SO₂ 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 SO₂.

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 SO₂.

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 SO₂ y por lo tanto los riesgos para la población.



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 (SO₂).

CENMA (2015b). Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO₂).

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.

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.



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:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} = \sum_{i=1}^n (e^{(\beta_{pj}\Delta C_{pi})} - 1) \cdot P_{ijp} \cdot y_{0j}$$

Dónde:

- ΔEfecto_{pj} : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [(ug/m³)⁻¹].
- β_{pj} : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m³)⁻¹].
- ΔC_{pi} : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m³].
- P_{ijp} : Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]
- y_{0j} : Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar¹² la expresión anterior se obtiene:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} \approx \sum_{i=1}^n \beta_{pj} \cdot \Delta C_{pi} \cdot P_{ijp} \cdot y_{0j}$$

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:

- Beneficio_p : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p , en este caso MP_{2,5}
- 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).

¹² Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β 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 SO₂.

Tabla 9: Coeficientes de riesgo unitario para MP_{2,5}

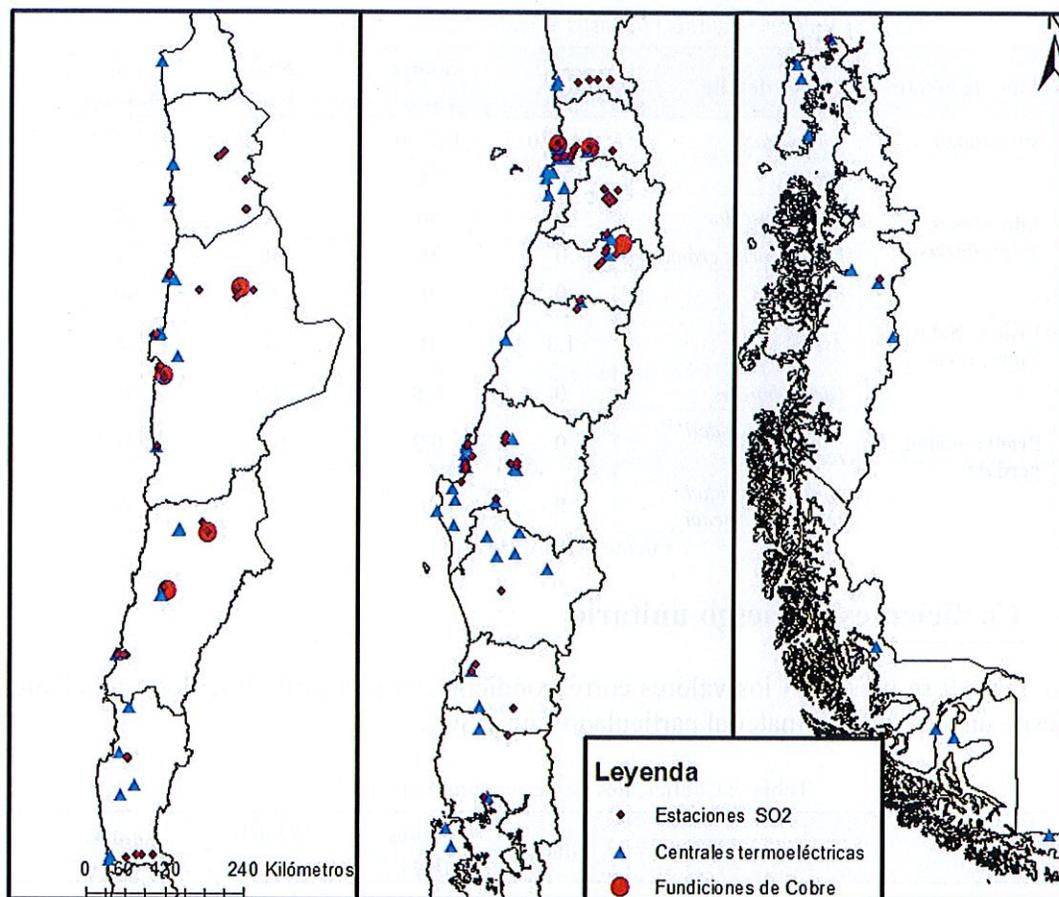
		Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
Mortalidad	<i>Largo Plazo (MP_{2,5})</i>	-	0,93%	0,93%	0,93%
Admisiones hospitalarias	<i>Asma (MP_{2,5}, SO₂)</i>	0,33% 0,61%	0,33%	0,33%	-
	<i>Cardiovascular (MP_{2,5})</i>	-	0,15%	0,15%	0,16%
	<i>Respiratorias crónicas (MP_{2,5})</i>	-	0,24%	0,24%	0,12%
	<i>Neumonía (MP_{2,5})</i>	-	-	-	0,40%
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma (MP_{2,5}, SO₂)</i>	0,44% 1,16%	-	-	-
Productividad perdida	<i>Días laborales (MP_{2,5})</i>	-	0,46%	0,46%	-
	<i>Días de actividad restringida (MP_{2,5})</i>	-	0,48%	0,48%	-
	<i>Días de actividad restringida menor (MP_{2,5})</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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

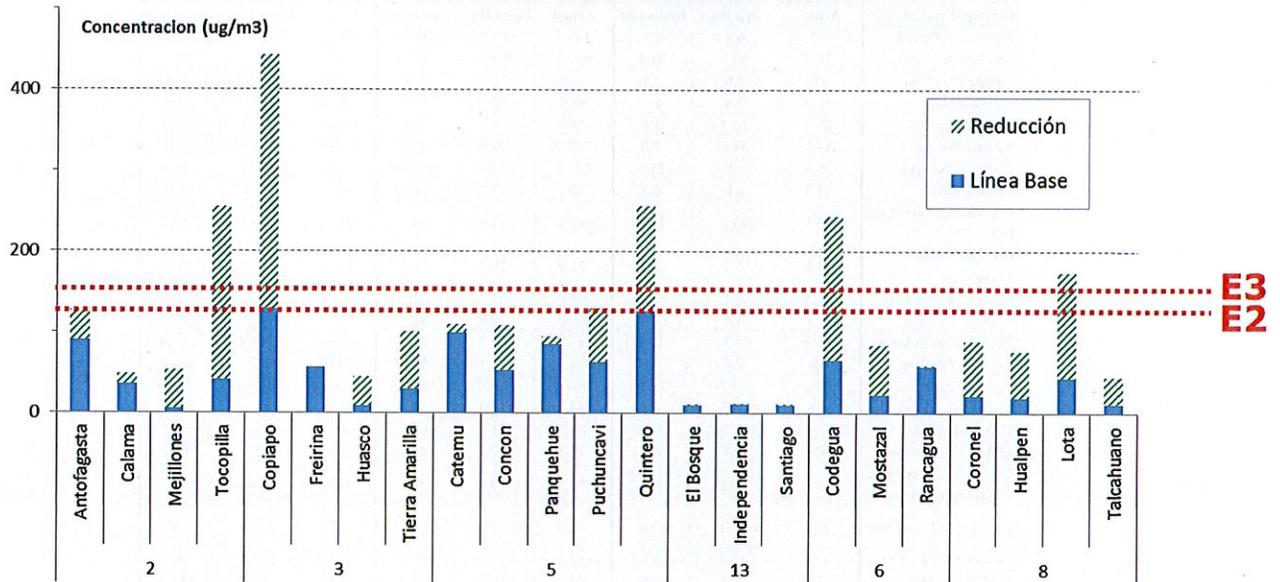
Comuna-Estación	Anual			Diaria			Horaria		
	Actual	Línea Base	Reducción	Actual	Línea Base	Reducción	Actual	Línea Base	Reducción
Antofagasta-Coviefi	9.7	6.8	2.9	127.4	89.5	37.9	357.1	250.9	106.2
Antofagasta-Norte	71.9	50.5	21.4	697.5	490.1	207.4	1253.6	880.8	372.8
Calama-Chiu Chiu	4.0	3.0	1.1	16.4	12.1	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-Romerol	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-Pabellon	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-Lagunillas	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-JUNJI	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 Poblacion	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
Panquehue-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-Impesca	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-Gobernacion	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.



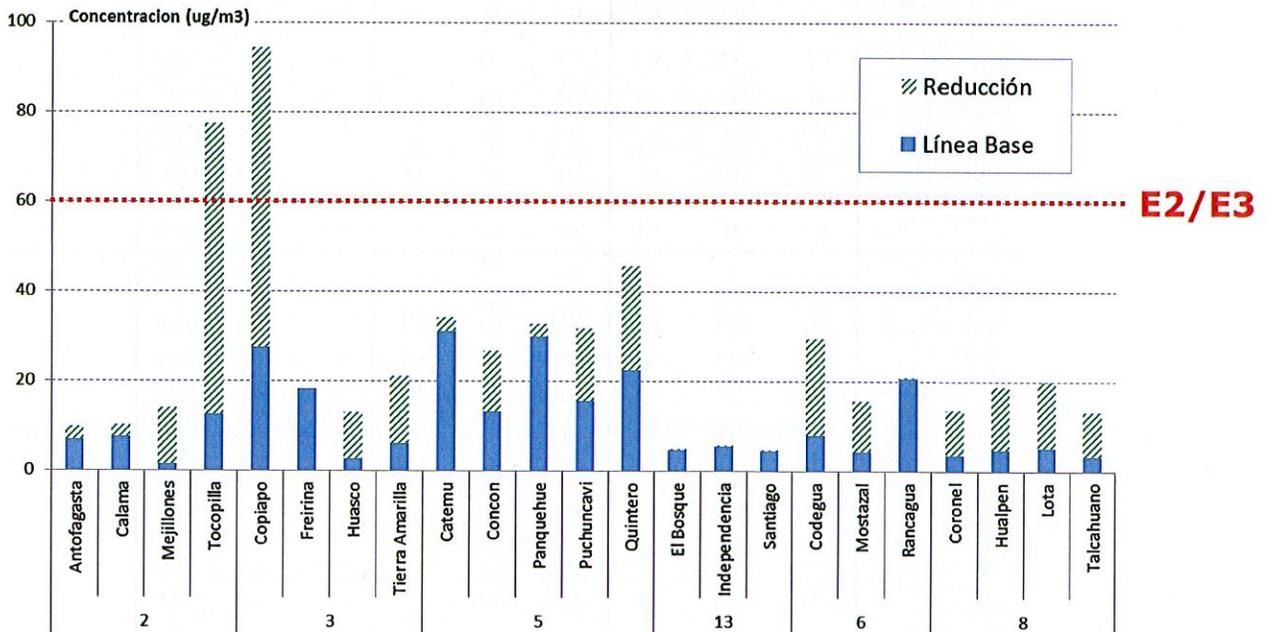
6.6 Reducción de límite de emisión para normas diaria y anual

Figura 9. Línea base de concentraciones SO₂ y escenarios. Norma diaria. (µg/m³).

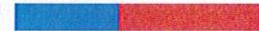


Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Línea base de concentraciones SO₂ y escenarios. Norma diaria. (µg/m³).

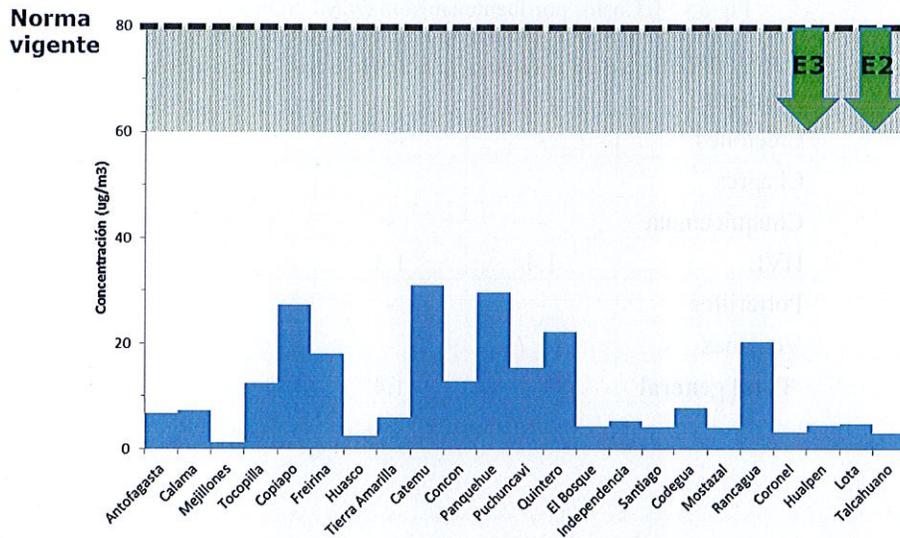


Fuente: Elaboración propia.



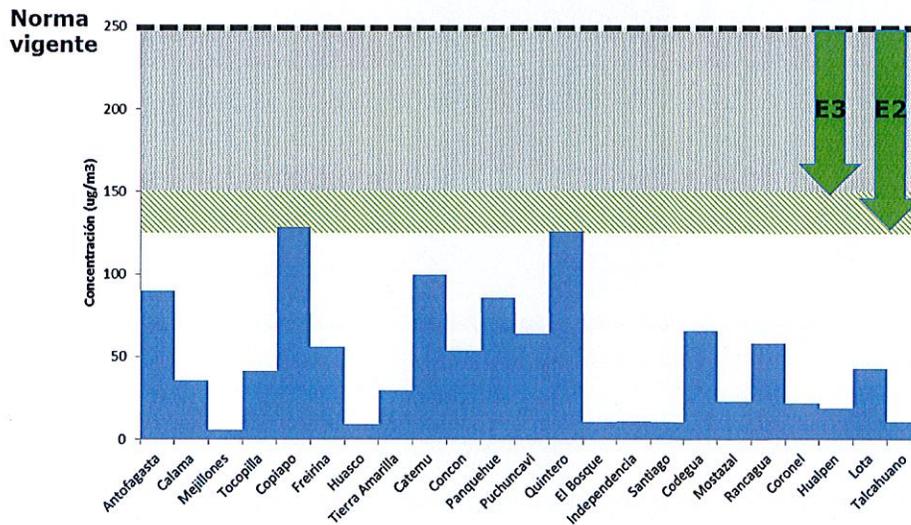
6.7 Reducción de límite de emisión para normas diaria y anual

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



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	-
Potrerrillos	-	-	-
Ventanas	13.7	-	-
Total general	15.4	1.4	-

Fuente: Elaboración propia