

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

## ACTUALIZACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS PARA EL PROYECTO DEFINITIVO DE LA NORMA DE CALIDAD PRIMARIA POR DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

---

*Nicolás Trivelli<sup>(1)</sup>, Carla Gallardo<sup>(1)</sup>, Sandra Briceño<sup>(2)</sup>, Paulina Schulz<sup>(2)</sup>*  
*30 de Noviembre de 2016*

### Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de 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 de Calidad Ambiental y de Emisión (DS N°93/1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica), se requiere de un Análisis de Impacto Económico y Social (AGIES) de las propuestas normativas que sirva como apoyo a la participación ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS), tarea que recae en el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de una norma desde el desarrollo del anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

- AGIES del Anteproyecto (A-AP), para apoyar el proceso de participación ciudadana,
- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de participación ciudadana. Para apoyar al CMSyCC en la toma de decisión.

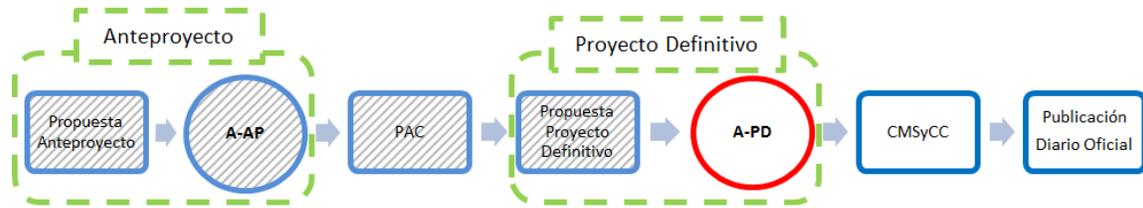
Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad, y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, por lo cual debe no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación, correspondiendo a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión como antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la más relevante es la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde al Actualización de Costos y Beneficios para el Proyecto Definitivo A-PD (en rojo, Figura A), en el cual se actualizará la estimación de los beneficios cuantificables y los costos identificados según la información disponible por el MMA a la fecha de evaluación.

<sup>(1)</sup> Profesional del Departamento de Economía Ambiental, Coordinador del AGIES.

<sup>(2)</sup> Revisores. Departamento de Economía Ambiental.

Figura A: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

El proceso de participación ciudadana y otros antecedentes, generaron modificaciones al anteproyecto de NCP para SO<sub>2</sub>, y por lo tanto implica un cambio a la evaluación económica, lo que requirió una actualización de los resultados de la evaluación de costos y beneficios para el ahora Proyecto Definitivo. En el análisis se estimaron los beneficios producto de la reducción de casos de mortalidad, algunos efectos en morbilidad en la población y también se estimaron los costos para las fuentes reguladas que deberán disminuir las emisiones. Con ello se desprende la coherencia regulatoria, es decir, si el escenario incorpora exigencias adicionales a las normas existentes.

La Tabla A, presenta los valores de concentración del proyecto definitivo de la NCP para SO<sub>2</sub>. La principal diferencia que existe entre la evaluación realizada en el A-PD y el A-AP corresponde a que en este último se incluyó nueva información de calidad de aire (SO<sub>2</sub>) entregada por el departamento de normas, esta nueva información resultó crucial para la evaluación, ya que, a partir de la estimación de los resultados con esta nueva data, se constató que en la zona de Copiapó se genera la única excedencia a nivel nacional.



## Resultados

### Objeto normativo

Las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera son generadas producto de las actividades de diferentes sectores económicos, entre los que destaca el transporte, la generación eléctrica y la gran minería del cobre, rubros con un gran nivel de actividad y una demanda creciente. 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, mediante reacciones químicas en la atmósfera, el SO<sub>2</sub> forma material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), conocido por incrementar los casos de mortalidad y otros efectos negativos en la población.

Por este motivo, el Estado, a través de diferentes organismos, ha generado un conjunto de regulaciones y medidas para controlar las emisiones de SO<sub>2</sub>, entre los que se destacan:

- La mejora en la calidad del combustible en el sector industrial y transporte,
- La incorporación de una Norma de Emisión para fuentes termoeléctricas y fundiciones.
- El establecimiento de un impuesto a las fuentes por la emisión de este contaminante.

Solo la primera tienen ya varios años de aplicación, mientras las otras (Norma de emisiones a termoeléctricas y fundiciones e 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 necesario actualizar la norma de calidad primaria de SO<sub>2</sub> (NCP SO<sub>2</sub>) vigente desde el 2003, tanto por los nuevos antecedentes científicos y recomendaciones internacionales (OMS, OCDE<sup>1</sup>), como por la obligación que posee el MMA de generar una consistente protección a la salud de la población y los ecosistemas bajo el concepto de equidad ambiental.

### Diseño Normativo

Respecto al diseño normativo, el proyecto definitivo establece:

- La incorporación de una norma horaria, inexistente en la NCP de SO<sub>2</sub> vigente, la cual 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, considerando los efectos sinérgicos sobre el medio ambiente.
- Considera esfuerzos adicionales de reducción para las fuentes emisoras para las cuales su operación (evaluada al ingresar al SEIA) produzca una superación de la norma de calidad. Con esto se aseguran niveles igualitarios de concentración para todo el país.

Ahora bien, respecto a los cambios que se generan entre el A-AP y el A-PD los cuales surgen del proceso de participación ciudadana, el primero corresponde a la incorporación de nuevos datos para la estación Santa Margarita, sector Catemu, comuna de Copiapó, siendo la única estación a nivel nacional que supera la norma horaria, como lo muestra la Figura B, de esta superación se desprenden los valores de costos y beneficios para esta evaluación. La segunda corresponde a un cambio en los criterios de excedencia, mientras que en el A-AP se utilizaba el percentil 99.7 para la evaluación, en el A-PD se

---

<sup>1</sup> CENMA (2015) Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para revisar la Norma Primaria de Calidad del Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>). Chile.



utiliza el percentil 99.73, el cual es más restrictivo, sin embargo este cambio no genera efectos sobre los costos o los beneficios tanto para la norma diaria, como para la anual.

Considerando lo anteriormente expuesto, el análisis de calidad de aire realizado, arroja que la única estación que supera alguno de los valores impuestos por la Tabla A, corresponde a la estación Santa Margarita, En la comuna de Copiapó, en su métrica horaria con 652 ug/m<sup>3</sup>, razón por la cual la evaluación económica considera que se deben generar las reducciones necesarias en este sector para el correcto cumplimiento de la normativa a implementar.

## Evaluación Económica

De los resultados del AGIES, se identificaron los siguientes impactos asociados a la norma propuesta analizada:

Se consideran valores para la “eficiencia de captura” de las diferentes fundiciones a nivel país. Los costos por fundición corresponden al costo de implementar tecnologías para lograr un aumento en la eficiencia de captura de SO<sub>2</sub> en un 1%. Esto quiere decir pasar del actual 95% de eficiencia requerido por la Norma de Fundiciones<sup>2</sup> a un 96% de eficiencia. Estos costos han sido extraídos del estudio de (MMA 2012) y han sido los utilizados en la elaboración del AGIES para la Norma de Fundiciones<sup>3</sup>. Los valores corresponden a los costos de implementación de medidas de abatimiento y a los costos para el cumplimiento del límite de chimenea.

Respecto a los beneficios<sup>4</sup> (Tablas B y C) se considera los efectos tanto del SO<sub>2</sub> como de MP<sub>2,5</sub> sobre la mortalidad, morbilidad y actividad perdida de la población expuesta, a nivel comunal. En este sentido es muy importante mencionar que, debido a que es la norma horaria la que incumple en una sola comuna, los beneficios son muy bajos, esto debido a la relación que existe entre los niveles horarios y los efectos agudos, mientras que los casos de mortalidad y morbilidad están más asociados a efectos crónicos, los cuales están dados por incumplimientos en la norma anual.

- Existen otros beneficios no cuantificados y/o valorizados por este AGIES, los cuales se relacionan a mejoras en la calidad ambiental debido a reducciones de SO<sub>2</sub>. Algunos de estos beneficios son: mejoras en visibilidad (MP), disminución en corrosión de materiales (SO<sub>2</sub>), mejoras en producción agrícola (MP, SO<sub>2</sub>), disminución de efectos dañinos sobre ecosistemas y especies (SO<sub>2</sub>), imagen país (recomendaciones OCDE y OMS), reducción de *black carbon* (MP), mayor nivel de equidad ambiental y mayor coherencia regulatoria a nivel nacional.

Tanto los beneficios como los costos estimados son significativamente menores a las normativas ya implementadas (Tabla C), independiente del escenario analizado. Esto se debe a que estas normas ya inducen a una reducción muy importante de las emisiones de SO<sub>2</sub> (por ejemplo, norma de fundiciones reduce casi un 50% a nivel nacional), generando valiosas mejoras en la calidad del aire presentes en todos los escenarios de regulación.

Finalmente la última parte del documento presenta la ficha resumen del AGIES A-PD en la cual se presentan algunos antecedentes relevantes del documento como de su evaluación.

<sup>2</sup> D.S N° 28 que establece la Norma de Emisión para Fundiciones y Fuentes Emisoras de Arsénico.

<sup>3</sup> Disponible en [http://metadatos.mma.gob.cl/servicios/metadatos/recursos/downloadRecurso/324111/AGIES\\_Fundiciones\\_2012.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/servicios/metadatos/recursos/downloadRecurso/324111/AGIES_Fundiciones_2012.pdf)

<sup>4</sup> Mayor detalle de la metodología utilizada, revisar el capítulo 11, de la Guía Metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. Disponible en [http://www.sinia.cl/1292/articles-54428\\_guia\\_metodologica.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-54428_guia_metodologica.pdf)



## Figuras y tablas

Tabla A: Escenario de Concentración Evaluado.

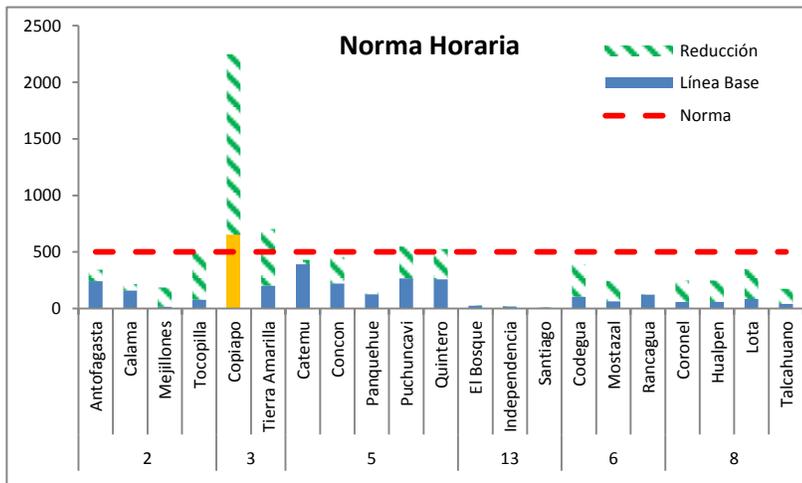
| Tipo Norma | Concentración [ug/m <sup>3</sup> ] | Criterio de Excedencia                                 |
|------------|------------------------------------|--|
| Horaria    | 500                                | Percentil 99,73 de un año.                             |
| Diaria     | 150                                | Promedio del percentil 99,73 de tres años consecutivos |
| Anual      | 60                                 | Promedio de tres años                                  |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla A muestra los niveles de calidad permisibles de la norma evaluada. Estos límites corresponden a límites horarios, diarios y anuales para la concentración de SO<sub>2</sub>, con sus correspondientes criterios de excedencia.

Cabe destacar que la norma evaluada corresponde al escenario 3 del A-AP, sin embargo los resultados difieren debido a la incorporación de los datos de la estación Santa Margarita en la evaluación del A-PD.

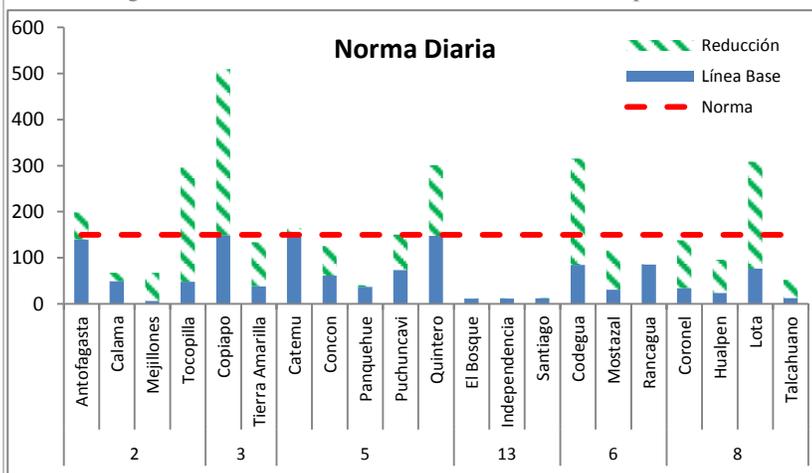
Figura B: Concentración Horaria de Línea Base de SO<sub>2</sub> por Sector.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de calidad de aire de red SINCA y a datos de estudio de CENMA "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad de Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

La Figura B representa las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>) 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) corresponde a reducciones asociadas a otros instrumentos de norma (Norma de Emisión para Fundiciones). Estas reducciones no se consideran en la evaluación debido a que la NCP de SO<sub>2</sub> considera una entrada en vigencia posterior. Con ello, analizando sólo la "Línea Base" (zona azul) la única comuna que supera la norma horaria propuesta corresponde a Copiapó (Estación Paipote<sup>5</sup>, en Naranjo) con 652 ug/m<sup>3</sup>.

Figura C: Concentración Diaria de Línea Base de SO<sub>2</sub> por Sector.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de calidad de aire de red SINCA y a datos de estudio de CENMA "Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad de Aire de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).

Figura C: Para el caso de la norma diaria propuestas, ninguna de las comunas supera los niveles propuestos de 150 ug/m<sup>3</sup> por lo que las fuentes asociadas no deben incurrir en costos adicionales de reducción, como tampoco considera beneficios cuantificables.

<sup>5</sup> <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/45>



Figura D: Concentración Anual de Línea Base de SO2 por Sector.

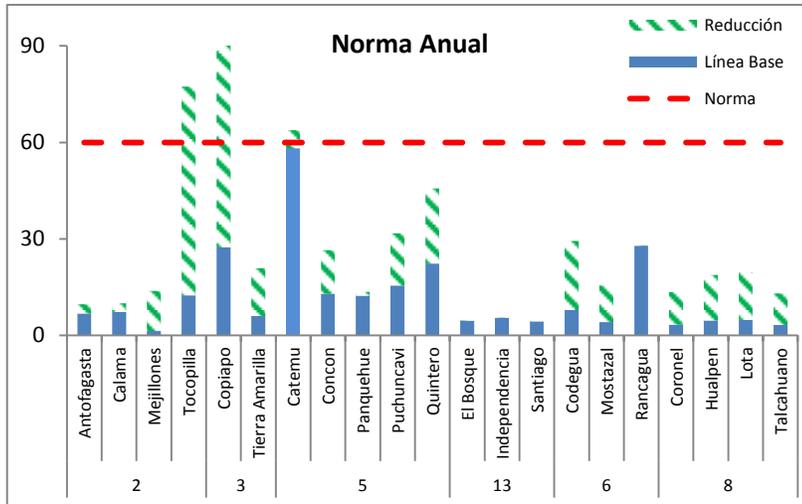


Figura D: La norma anual propuesta no posee superaciones para ninguna de las comunas evaluadas, los niveles propuestos de 60 ug/m3 no son superados por lo que las fuentes asociadas no deben incurrir en costos adicionales de reducción, como tampoco considera beneficios cuantificables.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de calidad de aire de red SINCA y a datos de estudio de CENMA “Análisis de Antecedentes y Evaluación Técnica-Económica para Revisar la Norma Primaria de Calidad de Aire de Dióxido de Azufre (SO2).

Tabla B. Reducciones de efectos dañinos (casos en 10 años)

| Causa                          | Casos evitados |
|--------------------------------|----------------|
| Mortalidad                     | 0,09           |
| Asma crónica                   | 0,03           |
| AH: Cardiovascular             | 0,01           |
| VSE: Asma                      | 3,37           |
| Días de actividad perdidos     | 7,92           |
| Días de actividad restringidos | 36,02          |

VSE: Visita a salas de emergencia; AH: admisiones hospitalarias.

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios por la mejora en calidad del aire son cuantificados en reducciones para diferentes efectos dañinos en la salud de la población. La Tabla B muestra las reducciones de casos de mortalidad a largo plazo por efectos del MP2,5 secundario y morbilidad asociados a MP2.5 y SO2. Cabe destacar que debido al incumplimiento de la norma horaria, es este nivel el único que genera beneficios, por lo que se considera que los efectos en mortalidad y morbilidad son del tipo agudos. Solamente la comuna de Copiapó presenta reducciones asociadas a la norma, por lo que los beneficios están asociados a la población de esta comuna ([172,386-208,510] habitantes entre 2015 y 2024)

Tabla C. Costos y Beneficios anuales por escenario

| Indicador                               | Norma | Norma de Fundiciones |
|---|-------|----------------------|
| <b>Beneficio valorizado (MMUSD/año)</b> | 0,007 | <b>157</b>           |
| <b>Costo valorizado (MMUSD/año)</b>     | 1,396 | <b>97</b>            |
| <b>Razón beneficio costo</b>            | 0,005 | <b>1,62</b>          |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla C muestra los beneficios y costos valorizados. Para el cálculo de los costos se utilizó como supuesto de evaluación que, implementado un aumento de un 1% en la eficiencia de abatimiento para fundiciones (a un 96%), estas podrán cumplir con los límites de concentración establecidos. La única fuente que tendría que abatir sería la fundición Hernán Videla Lira (HVL), para cumplir con la norma horaria impuesta.

Adicionalmente y a modo de comparación se presentan los resultados del AGIES de la Norma de Fundiciones, con la finalidad de demostrar que el impacto económico para la implementación de esta norma es muy bajo respecto a otras normativas ya implementadas.



## Ficha Resumen del AGIES (A-PD)

| ÍTEM           | GLOSA  | DESCRIPCIÓN   |
|----------------|--|---|
| Identificación | Nombre AGIES   | Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Proyecto Definitivo de la Norma de Calidad Primaria por Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ).  |
|                | Versión de AGIES   | Versión 2, “Corresponde a la segunda evaluación del Proyecto Definitivo”.   |
|                | Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES          | Declaración de zona saturada: Decreto Supremo N° 53 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente.   |
|                | Tipo de regulación   | Norma Primaria de Calidad del Aire.   |
|                | Fecha de término del AGIES                                   | 30 de Noviembre de 2016   |
|                | Alcance geográfico   | Nivel Nacional  |
|                | Instrumento nuevo o revisión                                 | Revisión de la Norma Nacional de Calidad del Aire para Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) del 6 de Marzo de 2003.   |
|                | Área de aplicación   | Asuntos Atmosféricos.   |
| Metodología    | Metodología  | Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013) <sup>6</sup>  |
|                | Normativas consideradas de línea base                        | Norma de Emisión Termoeléctricas (DS 13/2011)<br>Norma de Emisión Fundiciones (DS 28/2013)  |
|                | Nivel de evaluación de beneficios                            | Valorados beneficios en salud (mortalidad, morbilidad y actividad restringida)  |
|                | Tasa de descuento  | 6%  |
|                | Valor de la vida estadística                                 | Proveniente de la Norma de Fundiciones. (Valor de la Vida Estadística (VSL) igual a 390.500 USD/caso (Hojman, Ortúzar et al. 2005) proyectada 3% anual producto del aumento del poder adquisitivo). |
|                | Beneficios marginales por concentración de MP <sub>2,5</sub> | Valores Recomendados (MMA 2011) <sup>7</sup>  |
| Resultados     | Costos estimados en MM USD (valor presente)                  | 1,396   |
|                | Beneficios estimados en MM USD (valor presente)              | 0,007   |
|                | Razón Beneficio Costo  | 0,005   |

<sup>6</sup> MMA (2013). 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.

<sup>7</sup> MMA (2011). 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.

