

**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**

Documento Preparado Por:
División de Estudios
Departamento de Economía Ambiental
Ministerio del Medio Ambiente

Santiago, Agosto 2012

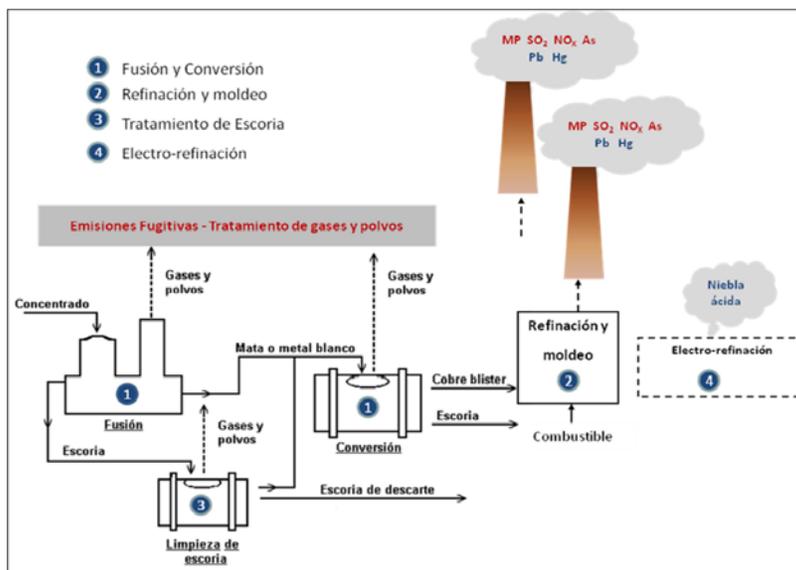
Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA NORMATIVA	5
3. LÍNEA BASE Y ESCENARIO CON NORMA.....	7
4. METODOLOGÍA	9
4.1 BENEFICIOS.....	10
4.1.1 <i>Material particulado fino (MP_{2,5})</i>	11
4.1.2 <i>Arsénico (As)</i>	12
4.2 COSTOS.....	12
4.3 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE	14
5. RESULTADOS	15
5.1 BENEFICIOS Y COSTOS.....	15
6. CONCLUSIONES.....	18
7. REFERENCIAS	19

1. Introducción

La fundición de cobre es un proceso pirometalúrgico de la industria de la minería que tiene por objetivo la producción de cobre metálico. Para ello, los concentrados de cobre proveniente de la extracción minera, son tratados para separar el cobre de otros compuestos tales como azufre, hierro, sílice, entre otros.

Figura 1-1. Diagrama del proceso de fundición.



Fuente: (MMA 2012a)

Dadas las características del proceso, las fundiciones de cobre generan importantes emisiones de contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre (SO_2), material particulado (MP), arsénico (As) y mercurio (Hg)) que afecta a la salud de las personas y causar importantes daños al medio ambiente. Por estos motivos, en el contexto del Programa Estratégico de Normas definido por la Comisión Nacional del Medio Ambiente correspondiente al año 2010, se priorizó la elaboración de una norma de emisión para fundiciones de cobre.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Emisión. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (DS N° 93/95), se requiere de un análisis técnico y económico de las propuestas normativas. En particular, el reglamento señala que se realizará un “análisis general del impacto económico y social de la o las normas contenidas en dicho anteproyecto” que sirva como apoyo a la toma de decisiones.

El presente documento se desarrolla en cuatro secciones. La primera, presenta un resumen del anteproyecto de norma analizada según los puntos de relevancia para la evaluación del AGIES; en segundo lugar, se hace referencia a la metodología utilizada para el cálculo de costos y beneficios de la norma; la tercera parte, se exponen los principales resultados del análisis, y finalmente, se detallan las conclusiones del análisis.

2. Descripción de la normativa

El anteproyecto “Norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico” (MMA 2012c) tiene por objetivo disminuir efectos nocivos de los contaminantes emitidos por este sector productivo. Para ello, la normativa limita las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), material particulado (MP), arsénico (As) y mercurio (Hg) para las fundiciones de cobre existentes y nuevas, y cualquier fuente emisora cuyo contenido de arsénico en la alimentación es superior a 0,005% en peso. Son 7 las fundiciones existentes: Altonorte, Caletones, Chagres, Chuquicamata, Hernán Videla Lira (HVL), Potrerillos y Ventanas.

El anteproyecto restringe las emisiones de dos formas. En primer lugar, se limita las toneladas anuales de SO₂ y As asumiendo 95% de captura para ambos contaminantes, en relación a la línea base aumentada en un 5%¹. De esta manera, los límites de emisión considera la capacidad nominal de cada fundición, las cuales se les exige implementar medidas de mitigación para alcanzar un mismo nivel de eficiencia. Las fundiciones de Chagres y Altonorte poseen límites más estrictos por la existencia de Planes de Descontaminación Ambiental (PDA) vigentes. Considerando lo anterior, la norma de emisión NE_{ij} se calcula con la siguiente expresión:

$$NE_{ij} = \text{Min} \{ PDA_{ij} , CN_{ij} \cdot x_{ij} \cdot 1.05 \cdot (1 - \eta) \cdot RPM_j \}$$

i : fundición

j : parámetro

NE_{ij} : norma de emisión [ton/año]

PDA_{ij} : límite de emisión determinado en un PDA para la fundición [ton/año]

CN_{ij} : capacidad nominal [ton/año]

x_{ij} : proporción del parámetro en el concentrado de cobre

η : captura o eficiencia de la norma, igual a 95%

RPM_j : relación entre el peso molecular del parámetro en el aire vs. su fase sólida, igual a 2 y 1 para el SO₂ y As respectivamente

Los límites de emisión y los valores para su cálculo son representados en la tabla a continuación:

¹ Este aumento está asociado a otorgar cierta flexibilidad en la norma ante un aumento de eficiencia del proceso productivo, tales como mantenciones más cortas.

Tabla 2-1. Límites máximos de emisión de SO₂ y As para fuentes existentes (ton/año)

Fundición	Capacidad nominal (ton/año)	S (%)	As (%)	Norma emisión SO ₂ (ton/año)	Norma emisión As (ton/año)
Altonorte	1.160.000	31,0	0,42	24.000	126
Caletones	1.372.000	33,1	0,18	47.684	130
Chagres	660.000	30,0	0,10	13.950	26
Chuquicamata	1.650.000	28,7	0,55	49.723	476
HVL	350.000	35,0	0,09	12.881	17
Potrerrillos	680.000	34,2	0,44	24.419	157
Ventanas	436.000	32,0	0,21	14.650	48
Total				187.306	980

Fuente: Elaboración propia en base a datos CODELCO

En segundo lugar, se limita las emisiones de chimeneas para algunos procesos en particular. Las plantas de ácido deben emitir una cantidad inferior o igual a 800 ppm_v² de SO₂ y emitir una cantidad inferior o igual a 1 mg/Nm³ de As; los secadores y los hornos de limpieza de escoria deben emitir una cantidad inferior o igual a 50 mg/Nm³ de MP y adicionalmente, los hornos de limpieza de escoria deben emitir una cantidad inferior o igual 1 mg/Nm³ de As.

Tanto estos límites como los de captura serán obligatorios a partir del quinto año posterior a la publicación de la norma en el Diario Oficial de Chile. Para los 5 primeros años, la norma exige mantener las emisiones históricas a través de un límite de emisión calculado como el promedio de los años 2006 a 2010 señalados en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Congelamiento de emisión SO₂ (ton/año)

Fundición	2006	2007	2008	2009	2010	Límite emisión
Altonorte	61.192	56.508	39.599	39.958	49.314	51.500
Caletones	155.056	107.984	141.144	128.468	60.560	124.500
Chagres	15.581	11.508	14.153	13.943	13.796	14.500
Chuquicamata	78.190	67.620	90.610	115.100	109.020	96.500
Paipote (HVL)	22.380	24.082	24.688	21.344	22.610	24.000
Potrerrillos	80.272	86.866	99.730	61.968	97.406	89.500
Ventanas	23.020	21.328	20.314	15.590	13.840	19.500
Total						420.000

Fuente: Elaboración propia en base a datos CODELCO

² Partes por millón en volumen.

3. Línea base y escenario con norma.

Se estima que los límites globales de la norma implica una reducción del 50% y 37% de las emitidas en la línea base para el SO₂ y As, aproximadamente 210.000 y 390 ton/año respectivamente (Tabla 3-1)³. Es importante mencionar que tanto Altonorte como Chagres poseen compromisos adicionales de reducción de emisiones de SO₂, por lo que para efectos del análisis de costos y beneficios desarrollado en los capítulos precedentes no fueron considerados.

Tabla 3-1. Emisiones base y con proyecto de SO₂ y As por fundición.

Fundición	Captura base promedio	Emisión base (ton/año)	Reducción norma (ton/año)
Altonorte	93,1%	49.314	25.314
Caletones	86,9%	118.642	70.959
Chagres	96,5%	13.796	0
Chuquicamata	93,2%	64.403	14.680
HVL	90,6%	23.021	10.140
Potrerrillos	81,7%	85.248	60.830
Ventanas	93,3%	18.818	4.169
Total		373.243	186.091

Fuente: Elaboración propia en base a CODELCO y (MMA 2012b)

Tabla 3-2. Emisiones base y con proyecto de As por fundición.

Fundición	Captura base promedio	Emisión base (ton/año)	Reducción norma (ton/año)
Altonorte	96,0%	195	69
Caletones	90,9%	225	95
Chagres	94,3%	38	12
Chuquicamata	98,2%	163	0
HVL	91,3%	27	11
Potrerrillos	88,1%	356	199
Ventanas	95,1%	45	0
Total		1.049	385

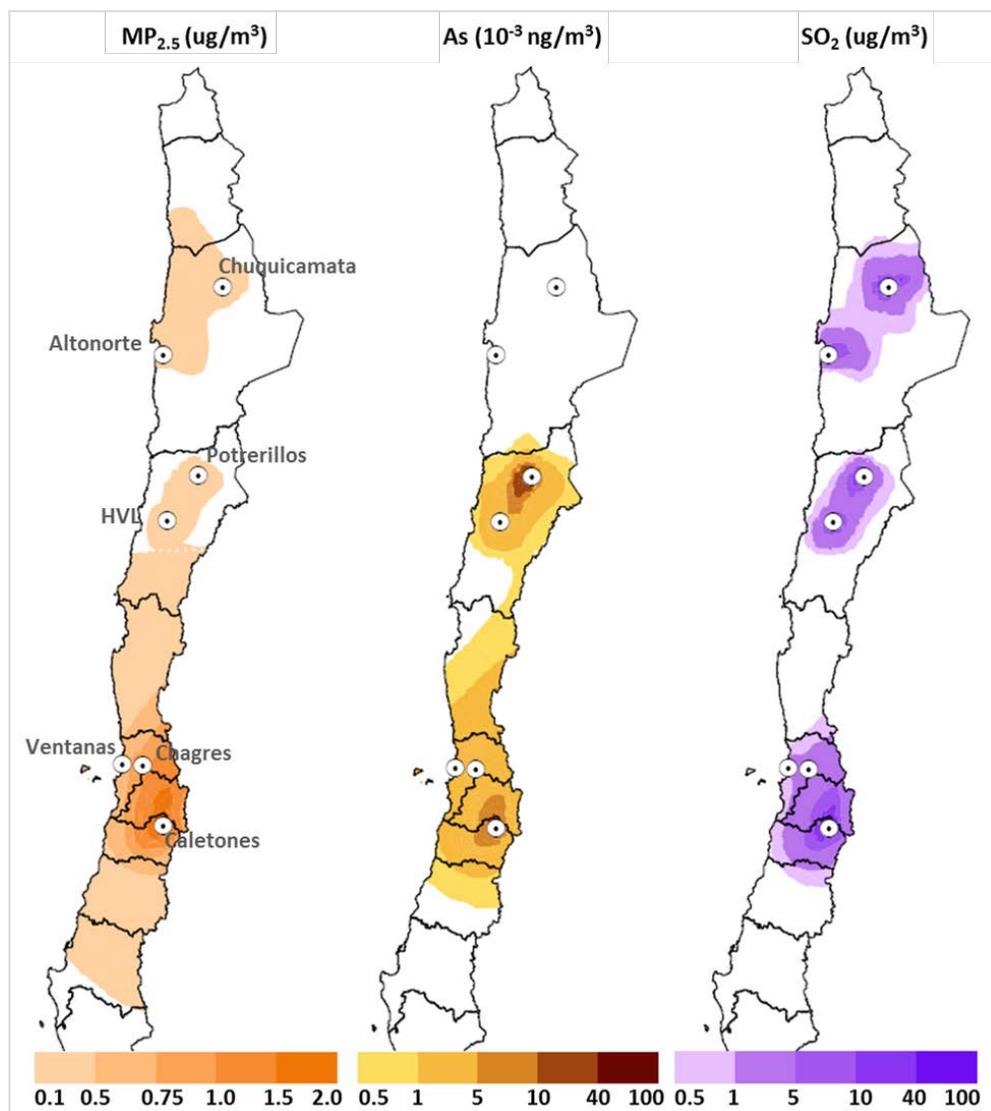
Fuente: Elaboración propia en base a CODELCO y (MMA 2012b)

Las mayores reducciones de SO₂ producto de la norma se concentran en Potrerillos y Caletones con aproximadamente 130.000 ton/año en conjunto, equivalente a un 71% de las reducciones totales. Esto se debe a que Potrerillos debe aumentar en más de 12 puntos porcentuales su captura actual para cumplir con la norma, mientras que Caletones, producto de su gran nivel de actividad, cada punto implica importantes reducciones de emisiones. El caso del arsénico es semejante, dado que son las mismas dos fundiciones las que abaten la mayoría de las emisiones de la norma (76% del total).

³ A partir de información proporcionada por CODELCO, se considera como línea base la transformación de Chuquicamata a una línea flash, lo que incide en la captura base.

Las reducciones de emisiones producen una disminución de concentraciones atmosféricas de material particulado, SO_2 y As. Para estimar la mejora en la calidad del aire ΔC_i , se utilizó el modelo CALMET-CALPUFF (MMA 2012a), el cual simula para los escenarios con y sin norma la dispersión de contaminantes en la atmósfera a largas distancias de la fuente emisora, incorporando la fotoquímica de los contaminantes para la generación de material particulado secundario⁴. El beneficio de la norma corresponde a la diferencia entre los dos escenarios modelados, gráficamente representado en la Figura 3-1. En ella se aprecia que las mayores reducciones de contaminantes corresponden a zonas aledañas a las fundiciones que en línea base no cumplían con los límites de la norma.

Figura 3-1. Reducción de concentraciones de $\text{MP}_{2.5}$, As y SO_2 producto de la norma de emisión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



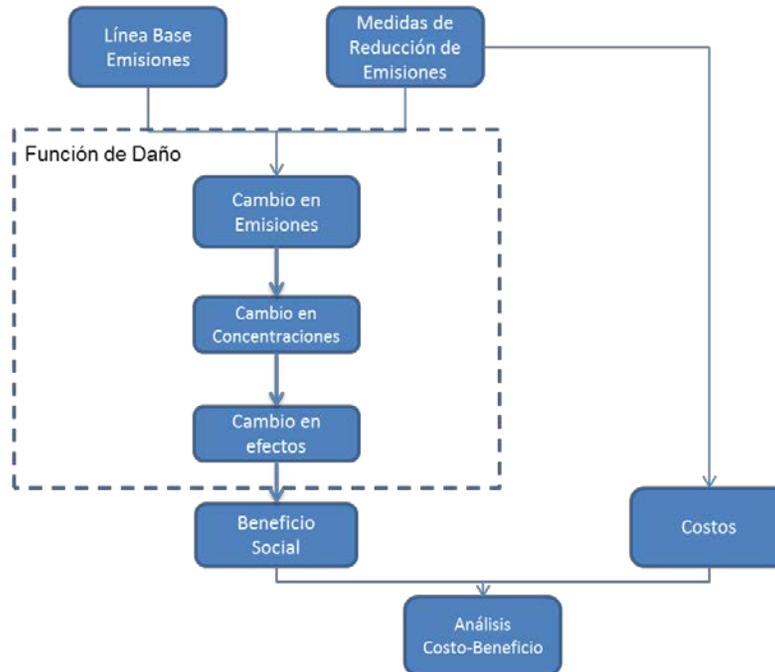
Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2012a)

⁴ Formación de sulfatos producto de las emisiones de SO_2 de las fundiciones. Los resultados obtenidos por (MMA 2012a) fueron calibrados para representar la proporción $\text{MP}_{2.5}$ y As asociable a fundiciones de cobre que ha sido reportada en (Kavouras, P. et al. 2001) en base a análisis de filtros (Artaxo 1999) de diferentes comunas del país.

4. Metodología

La metodología empleada en la elaboración del AGIES corresponde a un Análisis Costo-Beneficio (ACB), el cual ha sido ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de regulaciones ambientales (EPA 2010). La reducción de emisiones asociadas al cumplimiento de la normativa tiene efectos económicos, sociales y medioambientales, que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados en el presente capítulo.

Figura 4-1. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio



Fuente: Evaluación propia basado en (EPA 2000; MMA 2011)

La metodología utiliza la denominada Función de Daño, la cual consiste en una serie de etapas que estiman el número de casos de los distintos efectos adversos ocasionados por la contaminación, que son evitados producto de una reducción de emisiones. Finalmente, se compara los beneficios valorizados con los costos debido a la implementación de medidas de abatimiento de emisiones.

La metodología utilizada en el AGIES, particularmente sus costos y beneficios, se detalla a continuación⁵.

⁵ Para mayor detalle consultar el documento “Guía Metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire” (MMA, 2011).

4.1 Beneficios

Los beneficios proporcionados por las normas que limitan emisiones de contaminantes dependen principalmente de las características físicas y químicas del parámetro regulado, y de los receptores de la emisión. Si bien la literatura ha identificado numerosos efectos nocivos provocados por la contaminación, sólo algunos de éstos pueden llegar a valorizarse debido a limitantes de información y/o dificultades metodológicas.

La norma de fundiciones debe sus beneficios a la disminución de concentración ambiental de material particulado fino⁶ (MP_{2,5}) y arsénico (As). La Tabla 4-1 muestra los beneficios identificados de la norma de fundiciones y los finalmente valorizados, indicando, por una parte, el parámetro asociado a dicho beneficio y la escala espacial donde es posible percibirlos.

Tabla 4-1. Beneficios identificados y valorizados según tipo de impacto y parámetro.*

Escala del impacto	Identificados	Valorizados
Locales	↓Eventos de contaminación (SO ₂) ↓Contaminación de suelos (SO ₂ , As, Hg)	
Regionales	↓Mortalidad prematura (MP, As) ↓Morbilidad (MP, SO ₂ , As, Hg) ↓Productividad perdida (MP, SO ₂) ↓Actividad restringida (MP) ↑Visibilidad (MP, As) ↓Corrosión de materiales (SO ₂) ↑Producción agrícola (MP, SO ₂) ↑Efectos en Ecosistemas (SO ₂ , Hg) ↑Imagen País (recomendaciones OCDE) ↓Depositación de contaminantes (MP, SO ₂ , Hg)	Mortalidad prematura (MP, As) Morbilidad (MP) Productividad perdida (MP) Actividad restringida (MP)

*↑Aumento, mejora en /↓ Disminución en, con respecto a la línea base.

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2012a)

El beneficio total de la normativa corresponde a la valorización de los casos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida para el MP_{2,5}, y los casos evitados de mortalidad por cáncer al pulmón debido a disminución de emisiones de As. El indicador financiero corresponde al valor presente de los beneficios al año 2012, utilizando la tasa de descuento social de un 6% (MIDEPLAN 2011) y tomando los años 2012 a 2035 como el período de evaluación del proyecto.

⁶ Partículas presentes en el aire con un diámetro igual o menor a 2.5 micrones.

$$VP \text{ Beneficio} = \sum_{i,j,k} \frac{Ben_{ijk}}{(1+r)^k} = \sum_{i,j,k} \frac{\Delta Casos_{ijk} \cdot VU_j}{(1+r)^k}$$

Donde:

i : contaminante: $MP_{2.5}$, As

j : efecto o *endpoint* valorizado

k : tiempo [año]

$VP \text{ Beneficio}$: valor presente del beneficio de la norma

Ben_{ijk} : beneficio anual de la reducción de la concentración ambiental de contaminantes [USD/año]

$\Delta Casos_{ijk}$: reducción de casos anuales de los efectos valorizados [casos/año]

VU_j : valoración unitaria por efecto valorizado [USD/caso]

r : tasa de descuento social [%]

4.1.1 Material particulado fino ($MP_{2.5}$)

La formación de material particulado fino en la atmósfera puede generarse de dos formas: emisión directa de $MP_{2.5}$ por parte de diversas fuentes emisoras, o bien, producto de la reacción química de algunos compuestos gaseosos (precursores), los cuales bajo determinadas condiciones atmosféricas, generan partículas en suspensión. El primer grupo es denominado MP primario, mientras que el segundo, MP secundario, donde el SO_2 es uno de sus precursores.

La metodología consiste en cuantificar y posteriormente valorizar la reducción de los casos provocados por los contaminantes debido a una menor concentración de ellos en el aire. Para el primer punto, el diferencial de casos entre la situación actual y el escenario con norma, se calcula utilizando funciones dosis-respuesta reportadas en la literatura como se señala a continuación:

$$\Delta Casos_j^{MP} = \sum_i y_{0j} \cdot e^{(\beta_j \Delta C_i - 1)} \cdot P_{ij}$$

Donde:

i : ubicación geográfica

j : efecto o *endpoint* cuantificado

y_{0j} : tasa de incidencia base [casos/hab-año]

β_j : coeficiente de riesgo unitario de $MP_{2.5}$ [$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$]

ΔC_i : cambio en concentración de $MP_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

P_{ij} : población expuesta [hab]

La expresión anterior es posible aproximarla a una relación lineal entre los niveles de concentración y daños en la salud⁷.

$$\Delta Casos_j^{MP} \approx \beta_j \cdot \Delta C_i \cdot P_{ij} \cdot y_{0j}$$

Se utiliza el valor del coeficiente de riesgo de muerte β de $0.0093 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ para la población adulta mayor a 30 años (Pope, Burnett et al. 2004) y se utilizó un Valor de la Vida Estadística⁸ (VSL) igual a 390.500 USD/caso (Hojman, Ortúzar et al. 2005) proyectada 3% anual producto del aumento del poder adquisitivo⁹.

⁷ La aproximación resulta de la expansión de Series de Taylor de la función exponencial, eliminando las expresiones con un orden mayor o igual a 2 dado que el coeficiente de riesgo β es pequeño.

⁸ Extrapolación del valor que la sociedad le atribuye a una reducción marginal de riesgo de muerte.

⁹ Valor del dólar y de la UF de 517 CLP y 22.600 CLP respectivamente.

4.1.2 Arsénico (As)

Existe en la literatura significativa relación entre la exposición de arsénico y la formación de tumores cancerígenos, y en particular, un aumento en la probabilidad de padecer cáncer al pulmón. Según la Guía de la Calidad del Aire para Europa de la OMS (Danzon, Van Leeuwen et al. 2000), un aumento de 1 ug/m^3 de As en el aire implica 15 casos adicionales de cáncer al pulmón cada 10000 habitantes. La reducción de eventos de cáncer al pulmón por una mejora en la calidad del aire de arsénico se calcula mediante una función de respuesta lineal como se señala a continuación:

$$\Delta \text{Casos}_k^{\text{As}} = \sum_i RR \cdot P_{ij} \cdot \Delta C_i$$

Donde:

i : ubicación geográfica

j : efecto cuantificado o *endpoint*

k : tiempo [año]

$\Delta \text{Casos}_k^{\text{As}}$: reducción de casos de cáncer pulmonar atribuibles a la reducción de concentración de arsénico [casos/año]

RR : Riesgo relativo de padecer cáncer pulmonar por un aumento en la concentración ambiental de As [casos/ ug/m^3 -año]

P_{ij} : población expuesta que puede padecer alguno de los efectos cuantificados [hab]

ΔC_j : reducción del promedio anual de la concentración de As en la comuna. [ug/m^3]

Aproximadamente, el 90% de los enfermos que padecen cáncer pulmonar mueren al cabo de 5 años (WHO 2011), siendo éste el más letal de todos los cánceres. La valorización de los casos de mortalidad evitados finalmente se estima como el número esperado de muertes valorizados según la vida estadística.

$$\text{Ben}_k^{\text{As}} = \Delta \text{Casos}_k^{\text{As}} \cdot \text{Pr}(\text{muerte}) \cdot VU_M$$

Donde:

Ben_k^{As} : beneficio anual por reducción de concentración de arsénico [casos/año]

$\text{Pr}(\text{muerte})$: probabilidad de muerte en un paciente que padece cáncer pulmonar

VU_M : valor de la vida estadística [USD/caso]

4.2 Costos

Los costos de la normativa lo incurren las propias fundiciones las cuales deberán implementar diferentes medidas de captura y tratamiento de contaminantes para cumplir los estándares de la norma de emisión. Se consideraron tres tipos de costos para el cumplimiento de la norma evaluada: costos por captura de contaminantes (SO_2 y As), costos para el cumplimiento de límites de chimenea y finalmente costos por lucro cesante que corresponde a menores ingresos por días adicionales de detención de la fundición ocasionados por la implementación de las medidas de abatimiento. La metodología de costos consiste en la evaluación de diferentes soluciones de modo de resolver el siguiente problema de optimización¹⁰:

¹⁰ Adicionalmente a las restricciones de la norma de emisión se considera la factibilidad de ingeniería en la implementación de medidas.

$$\text{Min}_x \text{Costos}_i = \sum_{i,j,k} C_{ijk} \cdot x_{ijk}$$

$$\text{s. a.} \quad (1) \quad E_i = \sum_{j,k} E0_{ij} (1 - \eta_{ijk})^{x_{ijk}} \leq NE_i, \quad \forall i$$

$$(2) \quad ECh_{ij} = \sum_k ECh0_{ik} (1 - \eta_{ijk})^{x_{ijk}} \leq NCh_j, \quad \forall i, j$$

Donde:

i : índice de la fundición	E_i : emisión final [ton/año]
j : índice del proceso unitario	$E0_{ij}$: emisión inicial [ton/año].
k : índice de medida de mitigación	η_{ijk} : eficiencia de reducción de emisiones por medida
Costos_i : valor presente (VP) de costos totales [USD]	NE_i : norma de emisión global [ton/año]
C_{ijk} : VP costo de la medida de mitigación [USD].	ECh_{ik} : emisión final chimenea [ton/año]
x_{ijk} : variable de decisión (0,1). Indica si se instala la medida k en el proceso j de la fundición i .	$ECh0_{ik}$: emisión inicial chimenea [ton/año].
	NCh_j : norma de emisión de chimenea

En este análisis fueron considerados dos fuentes de información. En primer lugar, los resultados de (MMA 2012a), donde se calculan los costos de las medidas que tendrían que aplicar cada fundición para cumplir con la norma. Éstas fueron evaluadas considerando tanto en su configuración particular, como limitantes espaciales, de modo de estimar los costos de inversión, pre-inversión, operación, mantención, y adicionalmente, co-beneficios de la aplicación de las medidas de abatimiento como por ejemplo ahorro de insumos y aumento de producción de ácido sulfúrico¹¹. Los costos de lucro cesante fueron proporcionados por el Ministerio de Minería.

En segundo lugar, se utilizan los costos de inversión declarados por el sector regulado, valor que fue complementado con los costos faltantes para generar el otro escenario de evaluación.

¹¹ Los valores de este estudio fueron ajustados por el MMA, incorporando el valor residual de inversiones y las medidas de chimenea para Potrerillos y Caletones.

4.3 Análisis de Incertidumbre

MMA (2011) recomienda incorporar la incertidumbre a las variables relevantes del modelo con el fin de proporcionar al tomador de decisión la mejor información disponible. En este contexto, se incorporó incertidumbre en tres variables relevantes del modelo.

En primer lugar, se asignó al valor de la vida estadística una distribución triangular con percentiles 5, 50 y 95 de 210, 390 y 700 MMUSD/caso respectivamente (Hojman, Ortúzar et al. 2005); para coeficiente de riesgo de muerte β se utiliza una distribución normal con parámetros $(\mu, \sigma)=(0.0093, \pm 2.9 \cdot 10^{-3})$ (Pope, Burnett et al. 2004). Para los costos de las medidas se asume una distribución triangular uniforme, con moda igual al valor reportado, con un máximo y mínimo $\pm 35\%$. El análisis de incertidumbre fue realizado utilizando el *software* Analytica 4.4 mediante simulación de Montecarlo¹².

¹² Método numérico de propagación de incertidumbre, el cual genera una muestra aleatoria de todas las variables inciertas del modelo respetando la distribución de probabilidad respectiva. Cada etapa del modelo es calculada para cada valor de la muestra y propagada en el modelo hasta los resultados finales.

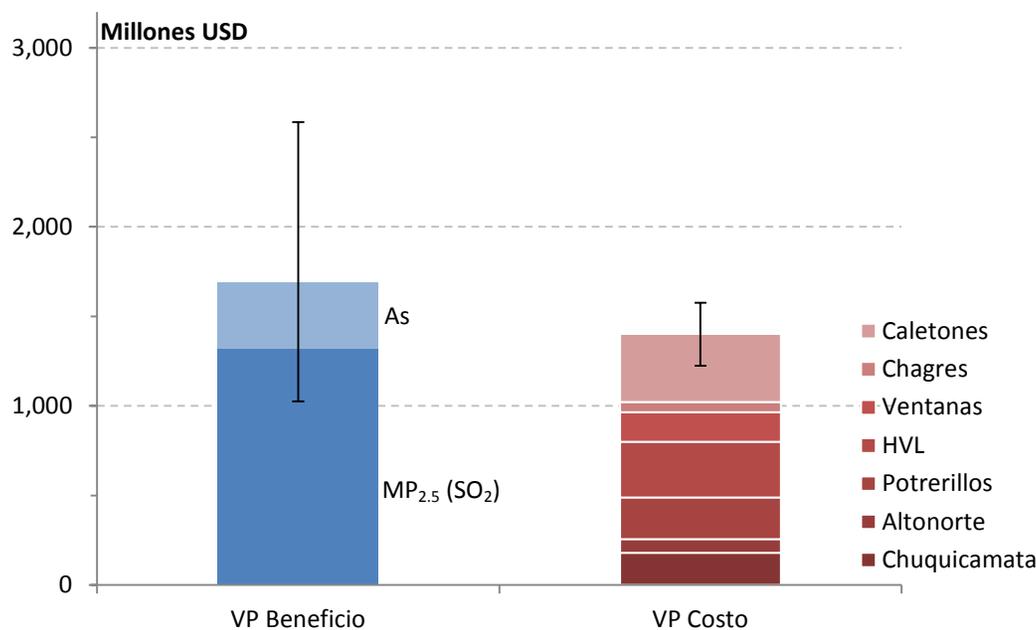
5. Resultados

En este capítulo se presentan los valores presentes de los beneficios y costos con la metodología explicitada en el capítulo anterior. Los resultados representan un escenario conservador y fueron calculados utilizando los costos de inversión estimados por el sector regulado. Sin embargo, ante el desconocimiento del valor real, se analiza este resultado con ambas fuentes de información.

5.1 Beneficios y costos

En primer lugar se muestran los beneficios y costos de la norma (Figura 5-1). La reducción de emisiones se valorizan en 1710 (1030–2540) MMUSD como beneficios de la normativa, 1400 (1320–1460) MMUSD como costos, por lo que los beneficios netos de la norma son de 300 (-360–1170) MMUSD¹³ y una razón beneficio-costo de 1.2x para la mediana. Importante mencionar que considerando los costos de inversión determinados en (MMA 2012a), los beneficios netos de la norma ascenderían en un 20%, es decir, a 360 MMUSD. Se aprecia una alta incertidumbre en el cálculo de los beneficios, específicamente en la valoración de eventos de mortalidad.

Figura 5-1. Valor presente de beneficios y costos por fundición (MMUSD, IC95%).

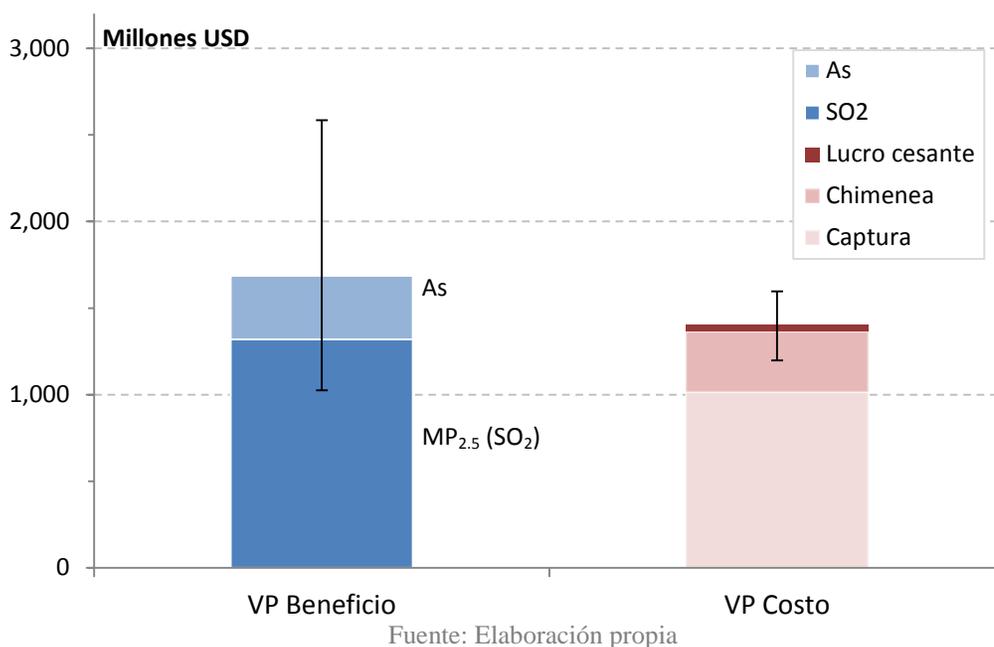


Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se analizó los costos de la norma desagregados según la normativa que los genera, es decir, si corresponden a los límites de captura, chimenea, o bien, lucro cesante. En la Figura 5-2, los costos de chimenea corresponden al 25% de los costos de la normativa, mientras que los de lucro cesante menores al 3%.

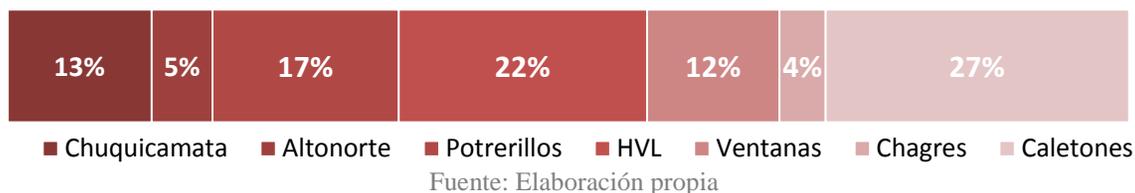
¹³ El beneficio neto no corresponden exactamente a la diferencia entre los beneficios y costos debido a que el análisis de incertidumbre simula esta variable como una distribución de probabilidad conjunta.

Figura 5-2. Valor presente de beneficios y costos por tipo de medida (MMUSD, IC95%).



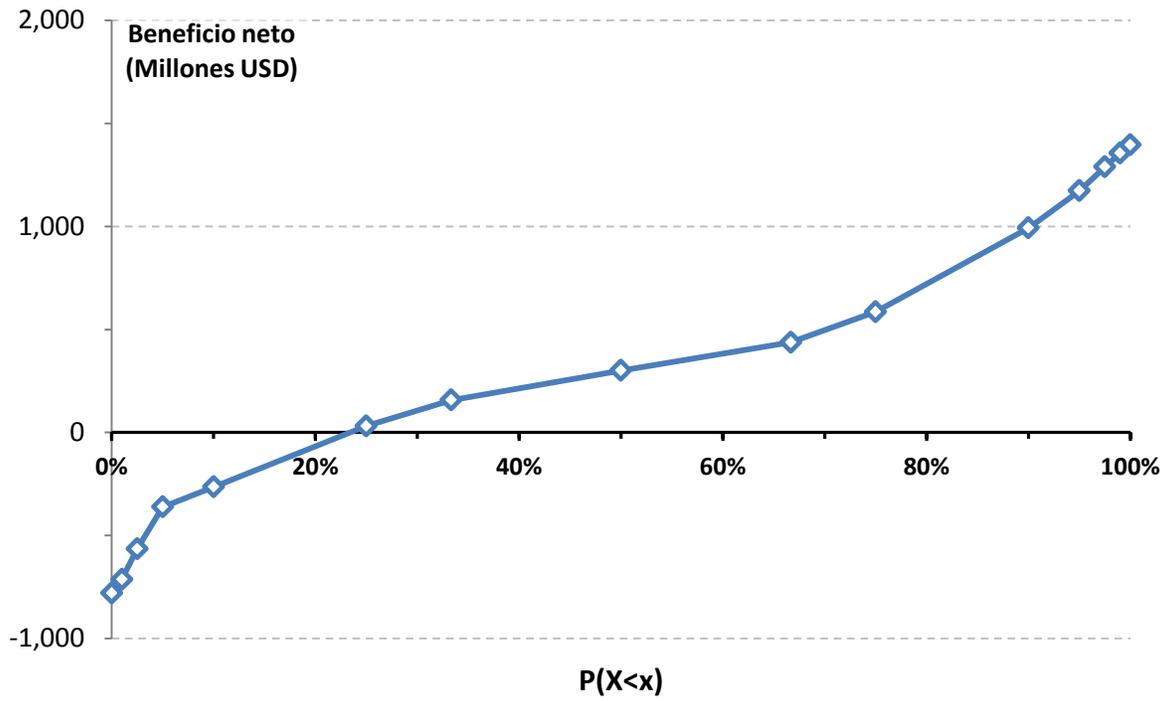
Caletones y HVL en conjunto aportan aproximadamente 50% de los costos totales de la norma. Chuquicamata, Potrerillos y Ventanas fluctúan entre el 12% y 17%, mientras Chagres y Altonorte, como fue mencionado, incurren en costos menores debido a los poseen exigencias mayores en los planes de descontaminación asociado a captura y la norma sólo agrega exigencias mayores en las chimeneas.

Figura 5-3. Distribución de costos por fundición (MMUSD).



La Figura 5-4 muestra la incertidumbre en la estimación de beneficio neto. En ella se aprecia que los beneficios son estadísticamente menores que los costos con un 75% de confianza. Como ya fue mencionado, la gran variabilidad de los resultados (existe una diferencia de 1500 MMUSD entre el p95 y p5) se debe a la incertidumbre conjunta en los parámetros utilizados para el cálculo de beneficios, específicamente en el coeficiente de riesgo de muerte β y en el valor de la vida estadística. La razón beneficio-costo en el intervalo de confianza es de 0.8 y 1.7 veces para los percentiles 5 y 95 respectivamente.

Figura 5-4. Análisis de incertidumbre del beneficio neto de la normativa (MMUSD).



Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones

La norma de emisiones para las fundiciones tiene por objetivo disminuir el impacto ambiental y social que actualmente es ocasionado por las empresas de este rubro, a las cuales se les exige incorporar en su proceso productivo mayores y mejores medidas de mitigación de emisiones. Éstas están enfocadas en la reducción de dióxido de azufre y arsénico, contaminantes relacionados con el aumento del riesgo de enfermedades, e incluso de mortalidad. La norma abarca dos dimensiones: límites de captura de la fundición y límites de chimenea, ambos con el objetivo de disminuir el impacto local y regional de las emisiones.

En el documento se analizaron los beneficios en salud de reducir las emisiones en los niveles señalado en el anteproyecto, y por otro lado, los costos asociados a la implementación de las medidas de mitigación que deben realizar las fundiciones. Se concluye a partir de los resultados del análisis, que existe 290 MMUSD de beneficio neto (percentil 50, año 2012) y una razón beneficio-costos de 1.2x. Se analiza además la incertidumbre de los parámetros utilizados y sus efectos en los resultados finales, concluyendo que existe una probabilidad de 75% que los beneficios netos de la normativa sean positivos.

Se realizó un análisis distributivo en beneficios y costos. En primer lugar, tanto los beneficios producto de la disminución de SO₂ y As son relevantes a la hora de valorizarlos, con participaciones de un 70% y 30% del total respectivamente. Los principales costos de la normativa son producto de los límites de captura (72%), y en menor medida, a los límites de chimenea (25%) y lucro cesante (3%). Las diferentes configuraciones y abatimiento base hacen que los costos difieran entre las fundiciones normadas, destacando entre ellas a Caletones y HVL con valores de 380 MMUSD (27%) y 310 MMUSD (22%) respectivamente.

Queda en manifiesto que muchos beneficios identificados no fueron posibles de valorizar por limitantes metodológicas y/o falta de información. La norma, adicionalmente a los beneficios valorizados, tiene incidencia en disminución de los episodios de contaminación por SO₂, mejora en la calidad de los suelos, mejora en la imagen país, cumplimiento de las recomendaciones de la OCDE, entre otros. Aún con esta limitante, los beneficios netos de la norma son positivos.

Tomando en cuenta lo anterior, es importante recalcar que los resultados del ACB son tan solo un antecedente más para la toma de decisiones y es por ello que la implementación de la política pública debe considerar todos los antecedentes disponibles de manera de evitar que la efectividad económica sea el único criterio considerado en la decisión final (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996).

7. 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.

Artaxo, P., Oyola, P. y Martínez, R. (1999). "Aerosol composition and source apportionment in Santiago de Chile." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **150**: 409-416.

Danzon, M. A., R. Van Leeuwen, et al. (2000). Air quality guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe.

EPA (2010). Guidelines for preparing economic analyses, National Center for Environmental Economics, Office of Policy, U.S. Environmental Protection Agency.

EPA, U. (2000). Guidelines for preparing economic analyses, EPA 240-R-00-003.. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.

Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."

Hedberg, E., L. Gidhagen, et al. (2005). "Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization." Atmospheric Environment **39**(3): 549-561.

Hojman, P., J. d. D. Ortúzar, et al. (2005). "On the joint valuation of averting fatal victims and severe injuries in highway accidents." Journal of Safety Research **36**: 377-386.

Kavouras, I. G., K. P., et al. (2001). "Source apportionment of PM10 and PM2.5 in five Chilean cities using factor analysis." Journal of the Air and Waste Management Association **51**: 451-464.

MIDEPLAN (2011). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos, División de Planificación. Santiago, Chile.

MMA (2011). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Santiago, Elaborado por DICTUC.

MMA (2012a). Evaluación de beneficios de una norma de emisión para fundiciones de cobre., Elaborado por GeoAire. **Informe Final**.

MMA (2012b). Evaluación de costos de escenarios regulatorios para una norma de emisión de fundiciones de cobre., Elaborado por COPRIM Ingeniería S.A. **Informe Final**.

MMA (2012c). Norma de emisión del anteproyecto norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico.

Pope, C. A., 3rd, R. T. Burnett, et al. (2004). "Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease." Circulation **109**(1): 71-77.

WHO (2011). "International Agency for Research on Cancer, GLOBOCAN 2008." from <http://globocan.iarc.fr/>.