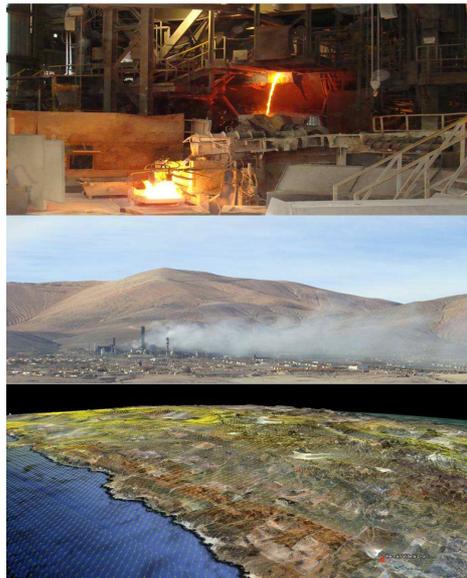


INFORME FINAL

EVALUACIÓN DE BENEFICIOS DE UNA NORMA DE EMISIÓN PARA FUNDICIONES DE COBRE



Elaborado por:
**ASESORIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
 PEDRO A. SANHUEZA H. E.I.R.L.**
 (GEOAIRE)

Para:

**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
 División Políticas y Regulación Ambiental**

Febrero 2012 (informe final corregido)

Nº Proyecto	Elaboración		Revisión A		Revisión B		Versión	
G17-11	MJR	30-11-11	MTV	01-12-11	PSH	02-12-11	V	FINAL



ESTUDIO DESARROLLADOR POR:

Dr. Ing. Pedro Sanhueza H.
Dr. Ing. Luis Rizzi
Ing. Mónica Torreblanca V.
Ing. Evelyn Salazar M.
Ing. María José Rodríguez A.
Msc. Alberto Gil L.

Jefe de Proyecto
Evaluación Social de Proyectos
Modelación Calidad del Aire
Inventario de Emisiones
Calidad del Aire
Economía ambiental

CONTRAPARTE TÉCNICA:

Carmen Gloria Contreras F.
Priscilla Ulloa M.
Francisco Donoso G.
Jenny Tapia
Siomara Gómez
Cinthia Arellano
Adolfo López
Pedro Santic

Coordinación Técnica, MMA
Coordinación Técnica, MMA
Economía Ambiental, MMA
SEREMI del Medio Ambiente Antofagasta
SEREMI del Medio Ambiente Valparaíso
SEREMI del Medio Ambiente L.B. O'Higgins
COCHILCO
COCHILCO

TABLA DE CONTENIDOS

GLOSARIO	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
1. INTRODUCCIÓN	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. ANÁLISIS DE LA FUENTE	24
2.1 EMISIONES DE LAS FUNDICIONES DE COBRE EN CHILE	28
2.1.1 Emisiones de SO ₂	28
2.1.2 Emisiones de As	29
2.1.3 Emisiones de MP	29
2.1.4 Emisiones de Hg	30
3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS EFECTOS	36
3.1 MATERIAL PARTICULADO (MP)	37
3.1.1 Efectos del MP en Salud	37
3.1.2 Efectos del MP sobre el Medioambiente	38
3.2 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	39
3.2.1 Efectos del SO ₂ en Salud	39
3.2.2 Efectos del SO ₂ sobre el Medioambiente	40
3.3 MERCURIO (Hg)	41
3.3.1 Efectos del Hg en Salud	41
3.3.2 Efectos del Hg sobre el Medioambiente	41
3.4 ARSÉNICO (As)	43
3.4.1 Efectos del As en Salud	43
3.4.2 Efectos del As sobre el Medioambiente	44
4. DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	45
4.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	45
4.1.1 Análisis de Estudios Realizados	45
4.1.2 Área de Estudio	46
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO RECEPTOR	48
4.2.1 Indicadores de Diagnóstico	57
4.2.2 Situación Ambiental Sin Norma de Emisión	58



5.	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS	59
5.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS.....	59
5.1.1	Beneficios sobre la salud	60
5.1.2	Beneficios sobre el medio ambiente	61
5.1.3	Beneficios sobre los materiales	61
5.1.4	Beneficios sobre la visibilidad.....	61
5.1.5	Otros beneficios	62
5.2	CUANTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS	63
5.2.1	Modelación de Calidad del Aire	63
5.2.2	Beneficios sobre la salud	65
5.2.3	Beneficios en Agricultura	67
5.2.4	Beneficios en Visibilidad	68
5.2.5	Beneficios en Materiales.....	69
5.3	VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS	70
5.3.1	Efectos en salud.....	70
5.3.2	Productividad Agrícola	71
5.3.3	Mejora de la Visibilidad	72
5.3.4	Mejora en materiales	72
6.	EVALUACIÓN DE BENEFICIOS SEGÚN ESCENARIO REGULATORIO	73
6.1	POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	73
6.1.1	Reducción de Emisiones de Dióxido de Azufre y Arsénico.....	73
6.1.2	Emisiones de Material Particulado (MP) y Mercurio (Hg)	78
6.1.3	Reducción Global de Emisiones	80
6.2	REDUCCIÓN EN CONCENTRACIONES	81
6.3	BENEFICIOS EN SALUD.....	84
6.4	BENEFICIOS EN AGRICULTURA	88
6.5	BENEFICIOS EN VISIBILIDAD	90
6.6	BENEFICIOS EN MATERIALES	91
6.7	EVALUACIÓN MONETARIA DE LOS BENEFICIOS	91
6.7.1	Beneficios por tonelada reducida	93
6.8	BENEFICIOS NO VALORADOS	94
6.8.1	Reducción de las Concentraciones de SO ₂	96
6.8.2	Depositación de Material Particulado.....	98
7.	CONCLUSIONES	99
8.	REFERENCIAS	102
ANEXOS	107

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla II. 1 Factores Emisivos por operación unitaria (2)	27
Tabla II. 2 Factores Emisivos de Hg (3)	27
Tabla II. 3 Emisiones de SO ₂ por Fundición de Cobre, Año 2010	28
Tabla II. 4 Emisiones de As por Fundición de Cobre, Año 2010	29
Tabla II. 5 Emisiones de MP por Fundición de Cobre , Año 2010	30
Tabla II. 6 Emisiones de Hg por Fundición de Cobre, Año 2010	30
Tabla II. 7 Escenarios Regulatorios en Términos de Captura Global.....	31
Tabla II. 8 Límites Máximos de Emisión en Chimeneas	32
Tabla II. 9 Emisiones de SO ₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N ^o 1 yN ^o 2, T1.....	34
Tabla II. 10 Emisiones de SO ₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N ^o 1, T2.....	34
Tabla II. 11 Emisiones de SO ₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N ^o 2, T2.....	34
Tabla II. 12 Emisiones de MP y Hg por Fundición de Cobre, Escenario N ^o 1 yN ^o 2, T2	35

CAPÍTULO 3

Tabla III. 1 Estudios nacionales sobre efecto del MP en salud.....	38
Tabla III. 2 Contaminante y su Efecto en Salud.....	36

CAPÍTULO 5

Tabla V. 1 Efectos en salud considerados en la estimación de beneficios.....	60
Tabla V. 2 Betas de MP _{2.5} utilizados en la estimación de beneficios	66
Tabla V. 3 Betas de SO ₂ utilizados en la estimación de beneficios.....	66
Tabla V. 4 Valoración de efectos en salud (UF/caso al año 2009)	70
Tabla V. 5 Precios de los cultivos (US\$/ton)	71
Tabla V. 6 Costos (\$) de repintado y lavado de superficies (m ²).....	72

CAPÍTULO 6

Tabla VI. 1 Reducción de Emisiones (Ton/año) Según Escenario Regulatorio	74
Tabla VI. 2 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario Regulatorio	74
Tabla VI. 3 Emisiones y Porcentaje de Captura según Escenario 1	75
Tabla VI. 4 Emisiones y Porcentaje de Captura según Escenario 2	75
Tabla VI. 5 Reducción de Emisiones (Ton/año) Según Escenario Regulatorio	79
Tabla VI. 6 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario Regulatorio	79
Tabla VI. 7 Emisiones Esperada (Ton/año) Según Escenario Regulatorio	80
Tabla VI. 8 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario regulatorio	80
Tabla VI. 9 Número de casos evitados de Mortalidad al año para Escenario 1	84
Tabla VI. 10 Número de casos evitados de Mortalidad al año para Escenario 2	84
Tabla VI. 11 Número de casos evitados de Morbilidad al año para Escenario 1	85
Tabla VI. 12 Número de casos evitados de Morbilidad al año para Escenario 2	85
Tabla VI. 13 Número de casos evitados de Ausentismo laboral al año para	85
Tabla VI. 14 Número de casos evitados de Ausentismo laboral al año para	85
Tabla VI. 15 Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año para	86
Tabla VI. 16 Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año para	86
Tabla VI. 17 Casos evitados de Cáncer por As según Escenario Regulatorio	86
Tabla VI. 18 Valoración de beneficios por mortalidad y morbilidad evitada según Escenario regulatorio	87
Tabla VI. 19 Valoración de beneficios por mortalidad y morbilidad evitada según Escenario regulatorio	87
Tabla VI. 20 Valoración Beneficios por Morbilidad anual evitada según Escenarios	88
Tabla VI. 21 Producción por Cultivo	89
Tabla VI. 22 Beneficios en Agricultura, según Escenario regulatorio	90
Tabla VI. 23 Beneficios por mejora en visibilidad	90
Tabla VI. 24 VAN (MillUS\$) de los Beneficios según Escenario Regulatorio	92
Tabla VI. 25 VAN (MillUS\$) de los Beneficios según Escenario Regulatorio	92
Tabla VI. 27 Concentración de SO ₂ Evitada (µg/m ³ N) por Escenario Regulatorio	96
Tabla VI. 28 Porcentaje de Reducción con respecto a la Norma (60 µg/m ³ N)	97
Tabla VI. 29 Depositación de MP Evitada (ton/año) por Escenario Regulatorio	98

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1 Diagrama de Flujo de los Procesos en Fundición de Cobre 25

CAPITULO 5

Figura 5.1 Esquema del sistema de Modelación de Beneficios 64

CAPITULO 6

Figura 6.1 Emisiones de SO₂ Caso Base y Escenarios Regulatorios 76

Figura 6.2 Potencial de Reducción de Emisiones de SO₂ de cada Escenario Regulatorio respecto a caso Base 76

Figura 6.3 Emisiones de As Caso Base y Escenarios Regulatorios 77

Figura 6.4 Potencial de Reducción de Emisiones de As según Escenario Regulatorio respecto al caso Base 77

Figura 6.5 Diferencia de SO₂ (Caso Base – Escenarios)..... 81

Figura 6.6 Diferencia de As (Caso Base – Escenarios)..... 82

Figura 6.7 Diferencia de MP2.5 (Caso Base – Escenarios) 83

Figura 6.8 Diferencia de Dv (Caso Base – Escenarios) 91

Figura 6.9 Distribución de superficie por tipos de suelo. 94

Figura 6.10 Usos de Suelos Área de Modelación 95



GLOSARIO

As: Arsénico.

Capacidad Nominal: Es la capacidad para la que están diseñados los equipos. La capacidad real en un momento determinado puede ser mayor o menor que la nominal.

Captura: capacidad de colectar un elemento o compuesto en un determinado volumen de flujo de gas, expresado en porcentaje.

Concentrado de Cobre: pulpa espesa obtenida de la etapa de flotación en el proceso productivo, en la que se encuentra una mezcla de sulfuro de cobre, fierro y una serie de sales de otros metales. Su proporción depende de la mineralogía de la mina.

Diámetro Aerodinámico: Indicador del tamaño de las partículas y corresponde al tamaño de una partícula esférica de densidad unitaria, que tiene la misma velocidad de sedimentación que la partícula de interés.

Escenario de Regulación: Límite de emisión en (mg/Nm^3) para procesos unitarios y porcentaje de captura global que debe cumplir la fuente emisora en un determinado tiempo.

Criterios de Evaluación de Beneficios: Beneficios obtenidos al aplicar distintas funciones Dosis-Respuestas para los efectos en Salud, funciones de daño para la agricultura, entre otros.

Hg: Mercurio

Material particulado fino MP2,5: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 2,5 micrómetros

Potencial de reducción de emisiones: corresponde a la cantidad esperada que se logra reducir en un proceso unitario, a través de la incorporación de un sistema de control y/o mejores prácticas operacionales.

SO₂: Dióxido de Azufre.

RESUMEN EJECUTIVO

El Ministerio del Medio Ambiente contrató a GEOAIRE, para realizar el estudio denominado "Evaluación de beneficios de una norma de emisión para fundiciones de cobre en Chile", con el fin de contar con un análisis y evaluación de los beneficios sociales de los escenarios regulatorios para fundiciones de cobre en Chile que servirán de base para la formulación de un anteproyecto de norma de emisión para el sector, tal como lo exige el Reglamento para la dictación de Normas de Calidad y de Emisión (D.S. N° 93/95 del MINSEGPRES).

Es necesario regular las emisiones de las fundiciones de cobre debido a que son la primera fuente emisora de dióxido de azufre (SO₂) y arsénico (As) a nivel nacional, además de emitir material particulado y sustancias tóxicas, tales como: mercurio, plomo, cadmio, entre otros. Los contaminantes prioritarios a regular en la futura norma de emisión son: dióxido de azufre (SO₂), material particulado (MP), arsénico (As), y mercurio (Hg).

De las emisiones y sus efectos en salud y el medio ambiente

Las fundiciones de cobre son procesos pirometalúrgicos, destinados a producir cobre metálico a través del uso de calor para separar el cobre de otros minerales contenidos en el concentrado. Las principales operaciones unitarias corresponden a secado del concentrado, fusión, conversión, refinación, moldeo de ánodos, tostación, y tratamiento de escoria. Estos procesos generan emisiones de material particulado, dióxido de azufre y sustancias tóxicas. El dióxido de azufre liberado a la atmósfera reacciona generando compuestos secundarios, denominados sulfatos, el cual forma parte del particulado fino (MP2.5). La materia particulada (MP) emitida contiene óxidos de cobre y fierro, además de trazas de sustancias tóxicas tales como: arsénico, antimonio, cadmio, plomo, mercurio, entre otras.

La Tabla 1 presenta un resumen de los efectos en salud provocados por los contaminantes emitidos por las fundiciones de cobre.

Tabla 1. Contaminantes y efectos en salud

Contaminante	Efecto
MP2,5	<ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad Prematura - Bronquitis Aguda y Crónica - Admisión Hospitalaria: Respiratoria, Cardiovascular, y Cerebro-Vascular - Visita de Urgencia por Asma - Cáncer Pulmón y Tráquea - Enfermedades respiratorias superior e inferior - Días de Actividad Restringida - Ausentismo Laboral - Exacerbación Asma - Tos Crónica (Niños) - Tos (Niños Asmáticos) - Mortalidad Infantil
SO₂	- Admisión Hospitalaria: Respiratoria, y Cardiovasculares
As	<ul style="list-style-type: none"> - Cáncer a la Piel - Cáncer al Pulmón - Cáncer a la Vejiga - Mortalidad Cardiovascular - Muerte Fetal
Pb	- Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños

	- Anemia
Hg	- Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños - Ataxia ¹ - Disfunción Renal
Cd	- Osteoporosis - Disfunción Renal

Fuente: Searle 2005 (12), Hunt and Ferguson 2010 (13)

Además de los efectos en salud, los contaminantes emitidos por las fundiciones generan daños sobre el rendimiento agrícola, deterioran la visibilidad, y generan daños en los materiales. Estos efectos fueron estimados y valorados en este estudio.

Descripción del parque de Fundiciones de cobre en Chile

En Chile existen siete Fundiciones de cobre, cinco de ellas son estatales, de la cuales Chuquicamata, Potrerillos, Ventanas, y Caletones pertenecen a CODELCO, y Hernán Videla Lira a ENAMI. Las dos restantes pertenecen a empresas privadas, Altonorte a Xstrata, y Chagres a Angloamerican.

Para la elaboración de la norma de emisión se consideró el 2010 como año base. Para este año se estableció, a partir de los resultados validados de una encuesta aplicada al sector a regular, la información sobre las instalaciones, las horas de funcionamiento, el combustible utilizado, el temperatura de los gases). Cabe señalar que las fundiciones de cobre generan emisiones fugitivas (asociadas a las transferencias de materiales) y por chimeneas. Ambas fueron consideradas en este estudio.

La estimación de emisiones de SO₂ y As, así como el porcentaje de captura de azufre por fundición de cobre al año base (2010), se presentan en las Tablas 2 y 3, respectivamente. Las Tablas 4 y 3 muestran las emisiones basales de MP y Hg, respectivamente.

Tabla 2: Emisiones de SO₂ por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de Captura S ^(e)
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(d)	
Chuquicamata	108.214	41.687	66.527	91,0%
Altonorte	39.958	31.250	8.708	93,7%
Potrerillos	65.280 ^(b)	13.679	51.601	83,5%
Hernán Videla Lira	21.344	10.810	10.534	89,4%
Ventanas	15.590	1.714	13.876	93,8%
Chagres	13.944	3.374	10.570	95,7%
Caletones	128.468 ^(c)	41.844	86.624	88,0%

a- Emisiones Globales de SO₂ año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
b- Emisión declarada corresponde al 15% de las emisiones sin control, considerando alimentación año 2010 de 640 kton/año de concentrado y 34% de S.
c- Emisión global declarada, se distribuyo por chimenea según balance de masa, otorgado por MMA.
d- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo declarado global y por chimeneas.
e- Información entregada por el sector al MMA, año 2011.

¹ Trastorno caracterizado por la disminución de la capacidad de coordinar los movimientos.

Tabla 3: Emisiones de As por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	As (Ton/año)			% de Captura As ^(d)
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(c)	
Chuquicamata	75	4,8 ^(b)	70,2	98,8%
Altonorte	83	21,0 ^(b)	62,0	96,4%
Potrerillos	460	64,8	395,2	83,1%
Hernán Videla Lira	14	8,4 ^(b)	5,6	88,6%
Ventanas	118	13,7	104,3	84,1%
Chagres	2,7	1,3 ^(b)	1,4	99,2%
Caletones	201	99,0 ^(b)	102	90,3%

a- Emisiones Globales de As año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
b- Emisión global declarada, se distribuyo por chimenea según balance de masa otorgado por MMA.
c- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo declarado global y por chimeneas.
d- Porcentaje de captura de As se cálculo en base a la capacidad nominal, el porcentaje de As promedio para el año 2010 y la emisión global de As declarada.

Tabla 4: Emisiones de MP por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	MP (Ton/año)		
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(g)
Chuquicamata	1.850 ^(b)	701,5	1.148,5
Altonorte	1.043 ^(c)	438,8	604,2
Potrerillos	3.900 ^(d)	2.146,6	1.753,4
Hernán Videla Lira	600 ^(e)	484,4	115,6
Ventanas	405	379,5	25,5
Chagres	743	187,0	556,0
Caletones	1.565 ^(f)	259,6	1.305,4

a- Emisiones Globales de MP año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
b- Informe Seguimiento Plan de Descontaminación de Chuquicamata, año 2005.
c- Elaboración Inventario de Emisiones para MP10 y SO2, Sector La Negra Antofagasta, Ambiosis año 2010
d- Estimación Factores Emisivos EPA.
e- Plan de Descontaminación de la Fundición HVL, año 1995.
f- Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, DICTUC, año 2008.
g- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo global y por chimeneas.

Tabla 5: Emisiones de Hg por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	Hg (Ton/año)		
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(b)	Fugitivas ^(c)
Chuquicamata	3,3	0,5	2,8
Altonorte	1,6	0,1	1,5
Potrerillos	1,0	0,1	0,9
Hernán Videla Lira	0,5	0,0	0,5
Ventanas	1,7	0,1	1,6
Chagres	0,8	0,5	0,3
Caletones	1,5	0,1	1,4

a- Factor emisor (5,81 mg/kg), Hylander and Herbert, año 2008
b- Emisión global, se distribuyo por chimenea según MMA.
c- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo global y por chimeneas.

De los escenarios regulatorios evaluados

Los escenarios de regulación contemplan la regulación de los siguientes contaminantes: Material Particulado (MP), Dióxido de Azufre (SO₂), Arsénico (As) y Mercurio (Hg). Las fundiciones de cobre deberán cumplir con 2 límites de emisión, global y en la o las chimeneas de los procesos unitarios.

La Tabla 6 presenta los escenarios regulatorios a evaluar, donde se ha considerado además, un gradualismo en el cumplimiento. Es así como el Escenario 1 que corresponde a un 95% de captura de SO₂ y 96% de As, contiene una primera etapa (T1) en que se debe alcanzar un 94% de SO₂ y 95% de As.

Tabla 6: Escenarios Regulatorios en Términos de Captura Global

Escenarios Regulatorios	T1	T2
Escenario N°1	94% SO ₂	95% SO ₂
	95 % As	96% As
Escenario N°2	94% SO ₂	96% SO ₂
	95% As	97% As

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

Las fuentes emisoras deberán cumplir los límites en chimeneas de los procesos unitarios de la Tabla 7 en el plazo T2, dando así cumplimiento al concepto de gradualidad.

Tabla 7: Límites Máximos de Emisión en Chimeneas

Chimenea (s) de procesos unitarios de Fundición de cobre Existentes	Límites máximos de emisión en chimeneas en mg/Nm ³			
	MP	SO ₂	As	Hg
Planta de Ácido	No Aplica	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,07 ⁽¹⁾
Limpieza de Escoria (No aplica Plantas de Flotación)	50	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,1 ⁽³⁾
Secador de Concentrados de Cobre	Informar	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Planta de Tostación (para molibdenita y fuentes nuevas)	50 ⁽³⁾	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,1 ⁽³⁾

Los valores de los límites en chimenea corresponden a:
 1) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries, 2001. Valor para plantas de ácido, p.146. Para limpieza de escoria, p. 268.
 2) Tomado y adaptado de la Guía sobre medioambiente, salud y seguridad. Fusión y refinado de metal base, del IFC del Banco Mundial ,2007.p.18y19.
 3) Valores considerados en la regulación de otras megafuentes existentes reguladas en Chile: incineradores y plantas de generación. D.S N° 45/2007 y D.S N° 13/2011 MINSEGPRES

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

De las reducciones de emisión obtenidas

Al aplicar los escenarios regulatorios se obtienen las siguientes reducciones en emisiones para SO₂ y As (Tabla 8), MP y Hg (Tabla 9).

Tabla 8: Reducción de Emisiones de SO₂ y As (Ton/año) Según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1			Escenario 2		
	Tiempos	SO ₂	As	Tiempos	SO ₂	As
Chuquicamata	T1: 2012	36.071	0	2012	36.071	0
	T2: 2014	48.095	0	2014	60.119	0
Altonorte	T1: 2012	1.903	0	2012	1.903	0
	T2: 2014	12.813	0	2014	14.588	13
Potrerillos	T1: 2012	41.542	324	2012	41.542	324
	T2: 2014	45.498	351	2014	49.455	378
Hernán Videla Lira	T1: 2012	9.262	8	2012	9.262	8
	T2: 2014	11.276	9	2014	13.290	10
Ventanas	T1: 2012	503	81	2012	503	81
	T2: 2014	3.017	88	2014	5.532	96
Chagres	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	1.748	0,7	2014	1.748	0,7
Caletones	T1: 2012	64.234	97	2012	64.234	97
	T2: 2014	74.940	118	2014	85.645	139

Tabla 9: Reducción de Emisiones de MP y Hg (Ton/año) Según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1			Escenario 2		
	Tiempos	MP	Hg	Tiempos	MP	Hg
Chuquicamata	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	0	0	2014	0	0
Altonorte	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	0	0	2014	0	0
Potrerillos	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	989	0	2014	989	0
Hernán Videla Lira	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	8	0	2014	8	0
Ventanas	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	57	0	2014	57	0
Chagres	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	0	0	2014	0	0
Caletones	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	0	0	2014	0	0

Modelos utilizados en la estimación de beneficios

Para estimar los beneficios de los escenarios regulatorios, se utilizaron varios modelos siendo los más relevantes los que estiman las concentraciones y depositaciones de contaminantes, y las funciones de daño que ligan dichas concentraciones/depositaciones con un efecto específico sobre la salud, la agricultura, la visibilidad, los materiales, entre otros. La cuantificación se logra al estimar las concentraciones y depositaciones de contaminantes para la situación sin norma (caso base) y con norma de emisión (escenario regulatorio).

Para estimar las concentraciones de partículas y gases, primarias y secundarias, producto de las emisiones para el caso base y los escenarios de norma de emisión de fundiciones de cobre, se utilizó el sistema de modelación de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos aprobado y recomendado por la USEPA, denominado CALMET/CALPUFF, el cual ha sido utilizado en diversas evaluaciones en Chile y en extranjero, y en particular en la norma de emisión para termoeléctricas en Chile. Con el sistema CALMET/CALPUFF se estimaron las concentraciones de SO₂, As, y MP2.5, también las tasas de depositación de gases y partículas, y la reducción en visibilidad (deciview). La Figura 1 muestra el sistema de modelación de beneficios utilizado.

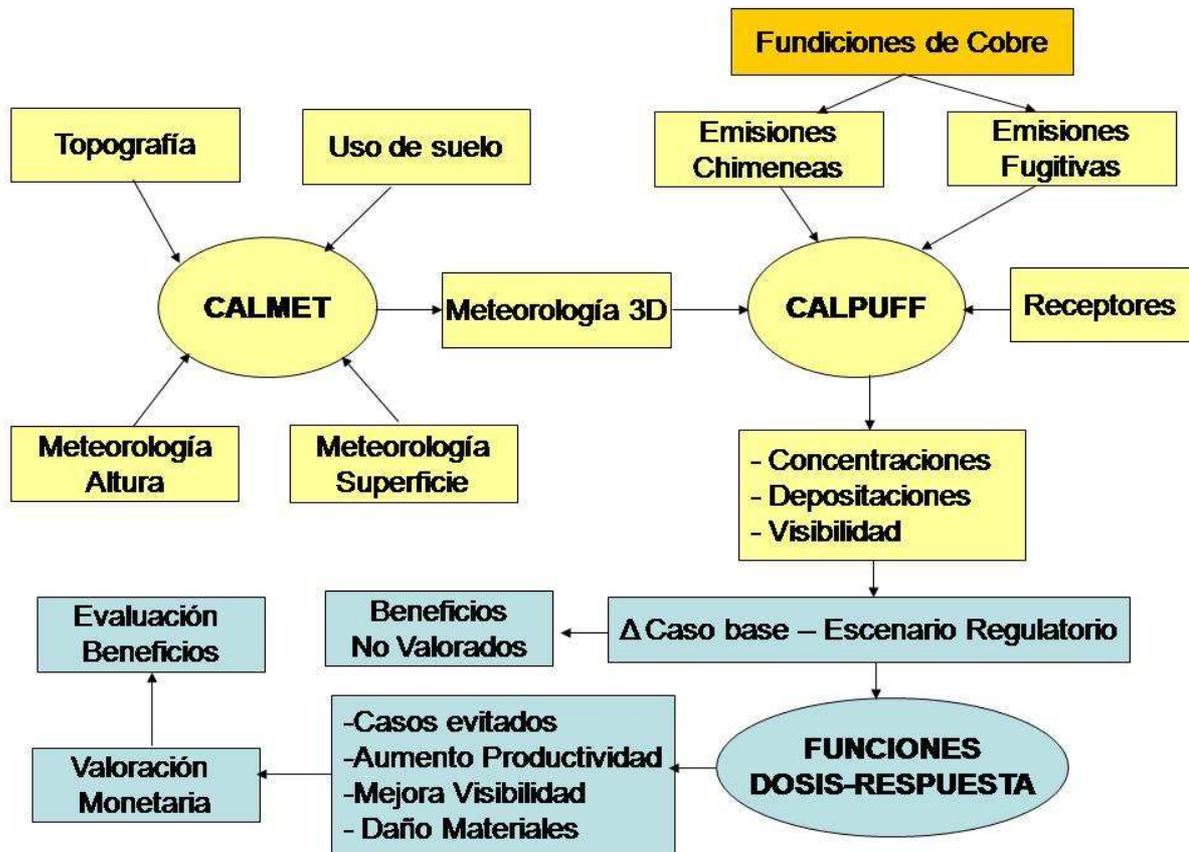


Figura 1: Esquema del sistema de Modelación de Beneficios

Estimación de beneficios

Para la estimación de los beneficios de la norma de emisión para Fundiciones de cobre en Chile, se ha seguido la metodología recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), denominada Regulatory Impact Analysis (RIA), la cual es además recomendada por la OCDE para sus países integrantes. En conjunto con lo anterior, se han seguido también, las recomendaciones establecidas en la Guía Metodológica para la elaboración de un análisis general del impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire en Chile, desarrollado por el Ministerio del Medioambiente.

La Guía Metodológica para la estimación de beneficios del Ministerio del Medio Ambiente, sólo propone funciones de daño para salud y agricultura (sólo cebada). Sin embargo, existen otras funciones de daño y recomendaciones para otros cultivos utilizadas en evaluaciones tanto en Chile como en el extranjero, por tanto, se estimó los beneficios considerando dos criterios de evaluación, denominados Guía MMA y Consultor.

El criterio del Consultor consideró para la estimación de beneficios en salud y visibilidad, lo propuesto por la agencia ambiental de Estado Unidos (USEPA) en todos sus análisis de impacto regulatorio (RIA). Para determinar los beneficios en agricultura se consideró la propuesta de Externe (Grupo de Investigación de la Comunidad Europea), y para los daños en materiales, lo utilizado por CONAMA en la evaluación del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana.

Se reconoce que no todos los impactos asociados a una reducción de emisiones pueden llegar a ser valorados, y en algunos casos ni siquiera llegan a ser cuantificados, no obstante, en estos casos, se realiza una descripción cualitativa de los impactos esperados. Dado lo anterior, se recomienda tener cautela a la hora de interpretar los resultados de **los beneficios, debido que al NO valorizar monetariamente todos los efectos, se estará subestimando los efectos de la aplicación de la norma.**

Para aquellos efectos cuantificables se utiliza el método de la función de daño, con lo cual es posible obtener valores asociados al beneficio de contar con una norma de emisión para fundiciones de cobre, versus el caso base sin regulación. La evaluación se realiza al comparar la situación base proyectada (BAU), con la situación esperada al aplicar la norma de emisión.

Beneficios en Salud

Las Tablas 10 a la 13 presentan los casos evitados de mortalidad y morbilidad anual según escenario regulatorio para la norma de fundiciones de cobre, para los dos criterios utilizados: Guía MMA y Consultor.

Tabla 10: Número de casos evitados de Mortalidad al año

ESCENARIO REGULATORIO	Criterios de evaluación			
	GUÍA MMA		CONSULTOR	
	Cifuentes 2000	Pope 2004	Pope 2004	Laden 2006
Mortalidad evitada según Escenario 1	76	282	282	913
Mortalidad evitada según Escenario 2	88	322	322	1.047

Tabla 11: Número de casos evitados de Morbilidad al año

ESCENARIO REGULATORIO	Criterios de evaluación		
	GUÍA MMA	CONSULTOR	
	MP2.5	MP2.5	SO ₂
Morbilidad evitada según Escenario 1	865	865	1.153
Morbilidad evitada según Escenario 2	987	987	1.355

Tabla 12: Número de casos evitados Días de Ausentismo laboral y actividad Restrictiva al año

ESCENARIO REGULATORIO	Ausentismo Laboral	Actividad restrictiva
Escenario 1	200.381	727.904
Escenario 2	228.989	831.831

Tabla 13: Número de casos de Cáncer evitados al año

Casos Evitados	Escenario N°1 (95% SO ₂ y 96%As)	Escenario N°2 (96% SO ₂ y 97%As)
Cáncer Pulmonar	868	1.065

La Tabla 14 presenta la valoración de los beneficios en salud, considerando los casos evitados de mortalidad y morbilidad para los escenarios regulatorios.

Tabla 14: Beneficios en Salud por Mortalidad y Morbilidad evitada (Millones de USD/año)

Criterio de Evaluación	Autor	Escenario1	Escenario 2
Guía MMA	Cifuentes 2000	50 -141	57-161
	Pope 2004	140-473	161-541
Consultor	Pope 2004	143-476	164-544
	Laden 2006	421-1.496	482-1.714

Beneficios en agricultura

La Tabla 15 presenta la valoración de los beneficios en agricultura para cada escenario regulatorio, considerando el aumento en la productividad por disminución de las concentraciones de SO₂ asociados a la norma de emisión de fundiciones de cobre. El criterio de la Guía MMA considera solo la cebada, y el criterio del Consultor, todos los cultivos (considerando la recomendación del grupo ExternE).

Tabla 15: Beneficios en Agricultura, según Escenario regulatorio

Cultivo	Escenario N°1 (95% S02 y 96 As%)		Escenario N°2 (96% S02 y 97 As%)	
	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año
Total	0,002	16	0,003	19

Beneficios en visibilidad

La Tabla 16 presenta la valoración por una mejora en la visibilidad para cada escenario regulatorio de norma de emisión de fundiciones de cobre.

Tabla 16: Beneficios por mejora en visibilidad

Beneficio Anual (Millones USD/año)	
CONSULTOR	
Escenario 1	Escenario 2
0,04	1,6

Beneficios en materiales

No se obtuvo beneficios en materiales para los escenarios regulatorios de la norma de emisión de fundiciones de cobre, debido a que los porcentajes de reflectancia no superaban el 30% considerado significativo para realizar la mantención (repintado).

Evaluación de beneficios

Las Tablas 17 y 18 presentan el valor actual neto (VAN) para el escenario regulatorio 1 y 2, considerando un período de 25 años, respectivamente. Para la valoración de la mortalidad se

presentan dos estimaciones que consideran distintos coeficientes concentración-respuesta (betas), para fines de considerar la incertidumbre en este estimador, debido a que el efecto más valorado.

Tabla 17: VAN (Millones USD) de los Beneficios según Escenario 1

Escenario 1	Guía MMA	Consultor
Salud	904 – 2.524 ¹	2.564 – 8.485 ⁴
	2.512 – 8.433 ²	7.514-26.674 ⁵
Agricultura	0,03 ³	243 ⁶
Visibilidad	-	1
Total	904 – 2.524	2.808-8.729
	2.512 – 8.433	7.758-26.918

1.-Cifuentes, 2000 + morbilidad por MP2,5
 2.-Pope,2004 + morbilidad por MP2,5
 3.-Sólo considera la Cebada
 4.-Pope, 2004 + morbilidad por MP2,5 y SO₂
 5.-Laden, 2006 + morbilidad por MP2,5 y SO₂
 6.-Considera todos los cultivos (Trigo, Maíz, Uva de Mesa, poroto de exportación, etc)

Tabla 18: VAN (Millones USD) de los Beneficios según Escenario 2

Escenario 2	Guía MMA	Consultor
Salud	1.021-2.852 ¹	2.904-9.604 ⁴
	2.843-9.543 ²	8.517-30.229 ⁵
Agricultura	0,04 ³	275 ⁶
Visibilidad	-	20
Total	1.021-2.852	3.199-9.899
	2.843-9.543	8.812-30.524

1.-Cifuentes, 2000 + morbilidad por MP2,5
 2.-Pope,2004 + morbilidad por MP2,5
 3.-Sólo considera la Cebada
 4.-Pope, 2004 + morbilidad por MP2,5 y SO₂
 5.-Laden, 2006 + morbilidad por MP2,5 y SO₂
 6.-Considera todos los cultivos (Trigo, Maíz, Uva de Mesa, poroto de exportación, etc)

Beneficios por tonelada reducida de SO₂

Se determinó un índice que da cuenta de los beneficios por tonelada reducida de SO₂, debido a que la reducción de SO₂ (precursor de MP2.5) genera beneficios en mortalidad (MP2.5), agricultura, y visibilidad. Al respecto, se obtuvo que:

El Escenario 1 reporta según criterio de la Guía del Ministerio del Medio Ambiente y criterio del consultor:

- Guía MMA:
 - 180 a 640 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Cifuentes, 2000)
 - 637 a 2.321 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
- Consultor:

- 735 – 2.419 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
- 2.143 – 7.591 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Laden, 2006)

El Escenario 2 reporta según criterio de la Guía del Ministerio del Medio Ambiente y criterio del consultor:

- Guía MMA
 - 176 - 626 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Cifuentes, 2000)
 - 625-2.275 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
- Consultor
 - 730 – 2.380 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
 - 2.112 – 7.459 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Laden, 2006)

Beneficios No Valorados

Al existir una norma de emisión de contaminantes atmosféricos para las Fundiciones de Cobre, se generarán otros beneficios que no se pueden valorar, pero si cuantificar. Tal es el caso de los daños en vegetación por concentraciones de SO₂ y depositación de materia particulada (por tal razón existen en Chile dos normas de calidad del aire secundaria, destinadas a proteger los recursos silvoagropecuarios. Una de ellas es el DS N° 22/2009 del Minseges, que establece los valores máximos permisibles de concentraciones de SO₂, aplicable a todo el territorio de la República, y el DS N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura, el cual establece los valores máximos de material particulado sedimentable, y es aplicable sólo para la Cuenca del Huasco. Por tal motivo, los beneficios de una norma de emisión de Fundiciones de Cobre sobre los recursos naturales, se estimaron a través de la reducción en las concentraciones de SO₂, y en la reducción en la depositación de materia particulada.

Concentraciones de SO₂ sobre la vegetación

En el área de influencia de las emisiones de las Fundiciones de cobre, existen 8,57 millones de Ha con recursos naturales, de las cuales 3,3 millones de Ha son Terrenos Agrícolas, 0,5 millones de Ha son Bosque Nativo, 2,2 millones de Ha son Plantaciones, 1,0 millones de Ha son Praderas, y 1.5 millones de Ha corresponden a Renovales.

La Tabla 19 resume las concentraciones promedio anual de SO₂ evitadas al considerar los distintos Escenarios de la Norma de emisión para Fundiciones de Cobre en Chile. De ella se desprende que existe una reducción significativa, si se comparan los valores con la norma secundaria de SO₂ de 60 ug/m³.

Tabla 19: Concentración de SO₂ Evitada (µg/m³N) por Escenario Regulatorio

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Concentración SO ₂ Evitada (µg/m ³ N)			
			Promedio		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Total	Agrícola	3.300.954	3,3	3,8	29,0	34,1
	Bosque	554.551	6,0	7,0	30,1	35,6
	Plantaciones	2.186.688	1,5	1,8	27,0	31,6
	Praderas	1.047.363	3,6	4,3	33,6	39,6
	Renovales	1.483.968	3,6	4,2	30,4	35,9

Depositación de MP sobre la vegetación

Las emisiones de las fundiciones provocan un daño sobre la vegetación y por tanto se estimó la depositación de materia particulada, formada por MP, SO₄, NO₃, As, y Hg, para toda el área de modelación, a fin de evaluar el beneficio de la norma de emisión de Fundiciones de Cobre, en términos de la reducción de material particulado sedimentable sobre los recursos naturales.

La Tabla 20 presenta la Depositación de MP evitada (ton/año), (promedio y máxima) por tipo de uso de suelo, para cada uno de los Escenarios de Regulación. El detalle espacial indica que para ambos escenarios, los mayores beneficios se obtienen en la zona central, especialmente en el sector agrícola, sector de gran desarrollo en la zona Central del país.

Tabla 20: Depositación de MP evitada (ton/año) por Escenario Regulatorio

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Depositación MP (Ton/Año)			
			Promedio		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Total	Agrícola	3.300.954	281	321	2.010	2.510
	Bosque	554.551	53,2	60,6	105	119
	Plantaciones	2.186.688	170	196	418	479
	Praderas	1.047.363	97,9	113	559	691
	Renovales	1.483.968	137	157	291	328

- Del análisis de Incertidumbre

Hay varias fuentes de incertidumbre en cualquier análisis de beneficios de una norma de emisión. En particular en este estudio se reconocen como fuentes de incertidumbre: la calidad de la información de las emisiones, principalmente las fugitivas.

Otra fuente de incertidumbre corresponde a la estimación de los efectos en salud, principalmente en la mortalidad, en el estudio se presenta resultados utilizando coeficientes concentración-respuesta de Cifuentes, Pope y Laden².

² Laden, 2006 (24); Pope, 2004 (36); Cifuentes, 2000 (37)

Un tercer aspecto, que arrastra una mayor incertidumbre corresponde a la modelación de MP2.5. Para minimizar esto, se usó una herramienta de modelación probada, disponible y recomendada para evaluaciones regulatorias

Conclusiones

Dado que en la actualidad las Fundiciones de Cobre poseen distintos porcentajes de captura de SO₂ y As, los Escenarios propuestos aplican sólo a algunas de ellas. Es así como para el Escenario 1 de regulación, la Fundición Potrerillos es la que más reduce sus emisiones alcanzado un 69,7% de disminución en las emisiones de SO₂, un 76,3% en las emisiones de As, y un 25,4% de reducción de MP. Por otro lado, la Fundición Chagres es la que menos reduce sus emisiones en este Escenario, debido que el porcentaje de captura actual de SO₂ (95,7%) y As (99,2%) es superior al exigido en el Escenario 1, sin embargo, debe cumplir la norma en sus chimeneas.

En el Escenario 2 se mantiene la jerarquía de reducción de emisiones del Escenario 1, donde la Fundición Potrerillos alcanza un porcentaje de reducción de 75,8% SO₂ y 82,2% As, mientras que la Fundición Chagres disminuye en un 12,5% sus emisiones de SO₂ y en un 25,9% sus emisiones de As.

Se destaca el caso del Hg que para ambos escenarios los límites impuestos para las chimeneas de la o las Plantas de Ácido (0,07 mg/m³N) y Limpieza de Escoria (0,1 mg/m³N) se encuentran sobre los valores de emisión estimados, por éste motivo el porcentaje de reducción es 0%.

En términos generales, se obtuvo que para el Escenario 1, las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 50,3%, 59,5% y 10,4%, respectivamente, y en el Escenario 2, las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 58,7%, 66,8% y 10,4%, respectivamente.

Para ambos escenarios las emisiones de MP se reducen el mismo porcentaje, debido a que la norma considera limitar las emisiones de MP sólo por chimenea de Plantas de Ácido y Limpieza de Escoria.

Con las emisiones definidas del caso Base y ambos escenarios regulatorios, se corrió el sistema de modelación CALMET/CALPUFF, con el cual se estimaron las concentraciones de SO₂, As, MP, MP2.5, y Hg, para el Caso Base y para cada Escenario regulatorio. La diferencia de las concentraciones (caso Base - Escenario), permitió estimar los beneficios en Salud, Agricultura, Materiales y Visibilidad, al usar ecuaciones concentración-respuesta y funciones de daño

Es así como con las diferencias de concentraciones de SO₂ y MP2.5 y las ecuaciones de dosis-respuesta se estimó el número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, utilizando tres betas alternativos. Con el beta de Cifuentes, los casos evitados de mortalidad son 76 para el Escenario 1 y 88 para el Escenario 2, con el beta de Pope, los casos evitados de mortalidad son 282 para el Escenario 1 y 322 para el Escenario 2, mientras que al utilizar los betas Laden los casos evitados son 913 para el Escenario 1 y 1.047 para el Escenario 2.

Se evitarían 868 casos de Cáncer pulmonar al año, al considerar el Escenario 1, y 1.065 casos al año si se implementa el Escenario 2.

Los beneficios anuales valorados en salud resultaron ser entre MUSD 50 y MUSD 141 para el Escenario 1 y entre MUSD 57 y MUSD 161 para el Escenario 2, al considerar el beta de Cifuentes (2000), entre MUSD 140 y MUSD 473 para el Escenario 1 y entre MUSD 161 y MUSD 541 para el Escenario 2, al considerar el beta de Pope (2004), y ser entre MUSD 421 y

MUSD 1.496 para el Escenario 1 y entre MUSD 482 y MUSD 1.714 para el Escenario 2, al considerar el beta de Laden (2006).

Los beneficios en agricultura corresponden a 0,002 MUSD al año para el Escenario 1, y 0,003 MUSD al año para el Escenario 2 según la Guía MMA que considera sólo la cebada, mientras que los beneficios al considerar todos los cultivos (Consultor) se encuentran entre 16 MUSD al año para el Escenario 1, y 19 MUSD al año para el Escenario 2. Este beneficio corresponde a un aumento en el rendimiento de la producción agrícola producto de una reducción en las concentraciones de SO₂, debido a la norma de emisión.

Los beneficios en visibilidad resultaron ser de 0,04 MUSD al año para el Escenario 1, y 1,6 MUSD al año para el Escenario 2.

Por último, con las estimaciones de beneficios en salud, agricultura, y visibilidad, se calculó el VAN para un período de 25 años, asociado a cada Escenario regulatorio. Dado que la valoración más significativa corresponde a la mortalidad, se presentan dos estimaciones que consideran distintos coeficientes concentración-respuesta (betas), para fines de considerar la incertidumbre en este estimador. Al aplicar la Guía MMA se tiene que el VAN al utilizar el Beta de Cifuentes (2000) se encuentra entre los 904 y 1.021 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 2.524 y 2.852 millones de dólares para el Escenario 2, mientras que al utilizar el Beta de Pope (2004), el VAN se encuentra entre los 2.512 y 2.843 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 8.433 y 9.543 millones de dólares para el Escenario 2.

Por otra parte al aplicar el Criterio de evaluación del Consultor (USEPA-RIA) se tiene que se tiene el VAN al utilizar el Beta de Pope (2004) se encuentra entre los 2.808 y 3.199 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 8.729 y 9.899 millones de dólares para el Escenario 2, mientras que al utilizar el Beta de Laden (2006), el VAN se encuentra entre los 7.758 y 8.812 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 26.918 y 30.524 millones de dólares para el Escenario 2.

Se obtendrán beneficios sobre los recursos naturales, pues se evitaría que se depositen 281 a 321 ton/año de MP sobre áreas agrícolas y entre 458 y 527 ton/año de MP en plantaciones, bosques, praderas y renovales en Chile, según se aplique el Escenario 1 o 2 de la norma, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Programa Estratégico de Normas del 9 de Marzo del 2010, se ha considerado priorizar la dictación de la norma de emisión para Fundiciones de Cobre en Chile. De esta manera, el Ministerio del Medio Ambiente ha iniciado dicho proceso, de acuerdo a lo establecido en el DS N°93/1995 (1) que reglamenta la dictación de normas de calidad y emisión en nuestro país.

Las normas de emisión son aquellas que establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora. Estas normas se establecen mediante decreto supremo, que señalará su ámbito territorial de aplicación.

De acuerdo al DS N°93/1995, es necesario realizar una serie de estudios tendientes a generar los antecedentes que darán forma a la futura norma de emisión. En particular, se requiere estudiar las fuentes (procesos) y sus emisiones en el tiempo y en el espacio; un análisis de los receptores, y una estimación de los beneficios y costos que la nueva norma generará en los ámbitos público y privado. En especial, los estudios deben evaluar los costos y beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas.

Este estudio contiene la evaluación de los beneficios que la futura norma de emisión para las fundiciones de cobre generará, en base a dos escenarios regulatorios, lo cual corresponde a un insumo para la formulación del anteproyecto de norma de emisión para el sector. En particular se presenta una descripción de las fundiciones de cobre en Chile, los contaminantes que emiten y sus efectos en salud y medio ambiente, se describe la situación sin proyecto de norma en términos de sus impactos esperados, se delimita el área de estudio, se identifican las áreas de influencia y el medio receptor, se describe la población y medio afectado, y finalmente se estiman y evalúan los beneficios para la población y los ecosistemas de la aplicación de una norma de emisión para Fundiciones de Cobre en Chile en sus diversos escenarios regulatorios.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis y evaluación de los beneficios sociales de dos escenarios regulatorios de norma de emisión para las Fundiciones de Cobre en Chile, que servirán de base para el marco regulatorio de esta fuente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contar con análisis de la fuente emisora, de la situación sin proyecto y del área de estudio, en cuanto a la localización de receptores (beneficiarios de la norma).
- Contar con una evaluación de beneficios para cada escenario de regulación, comparando la situación base proyectada (Business as usual - BAU), con la situación esperada al aplicar cada uno de escenarios regulatorios.

2. ANÁLISIS DE LA FUENTE

Las fundiciones de cobre son procesos pirometalúrgico destinados a producir cobre a través del uso de calor para separar el cobre de otros minerales contenidos en el concentrado (sulfuros de cobre). Las principales operaciones unitarias corresponden a secado del concentrado, fusión, conversión, refinación, moldeo de ánodos, tostación, y tratamiento de escoria (ver Figura 2.1).

De la extracción se obtiene un mineral con menos del 1% de cobre, por tanto se requiere concentrarlo para llegar a valores entre un 15 y 35% de cobre. Este proceso se realiza al reducir el tamaño del material extraído, a través del chancado, molienda, y flotación que utiliza agua y químicos para separar el mineral en sus fracciones. Dependiendo de los químicos utilizados, algunos minerales flotan en la superficie y son removidos en una espuma de burbujas de aire, mientras que otros se depositan y son reprocesados. El concentrado de flotación se seca mediante procesos de clarificación y filtrado, resultando en un material entre un 10 y 15% de agua, 25% de azufre, 25% de fierro, y varias trazas de arsénico, mercurio, antimonio, bismuto, cadmio, plomo, selenio, magnesio, aluminio, cobalto, níquel, telurio, plata, oro, y paladio.

La conversión produce cobre blister al eliminar el fierro y azufre remanente presente en la mata. Los convertidores típicamente Pierce-Smith y Teniente son básicamente una estructura cilíndrica refractaria, que rota en su eje mayor, para carga y descarga. Una abertura en el centro del convertidor funciona como boca a través de la cual la mata fundida se carga y permite la salida de los gases producidos. Se sopla con aire enriquecido con oxígeno para oxidar el fierro y el azufre, generando FeO y SO_2 . Este soplado y eliminación de escoria continúa hasta que se produce una cantidad de Cu_2S , llamado metal blanco, que se acumula en el fondo del convertidor. Un último soplado de aire oxida el sulfuro de cobre a SO_2 , formando el cobre blister.

La refinación a fuego o eléctrica se utiliza para purificar aún más el cobre blister. Este cobre refinado se convierte en ánodos que se procesan en una refinación electrolítica para obtener una pureza aún mayor.

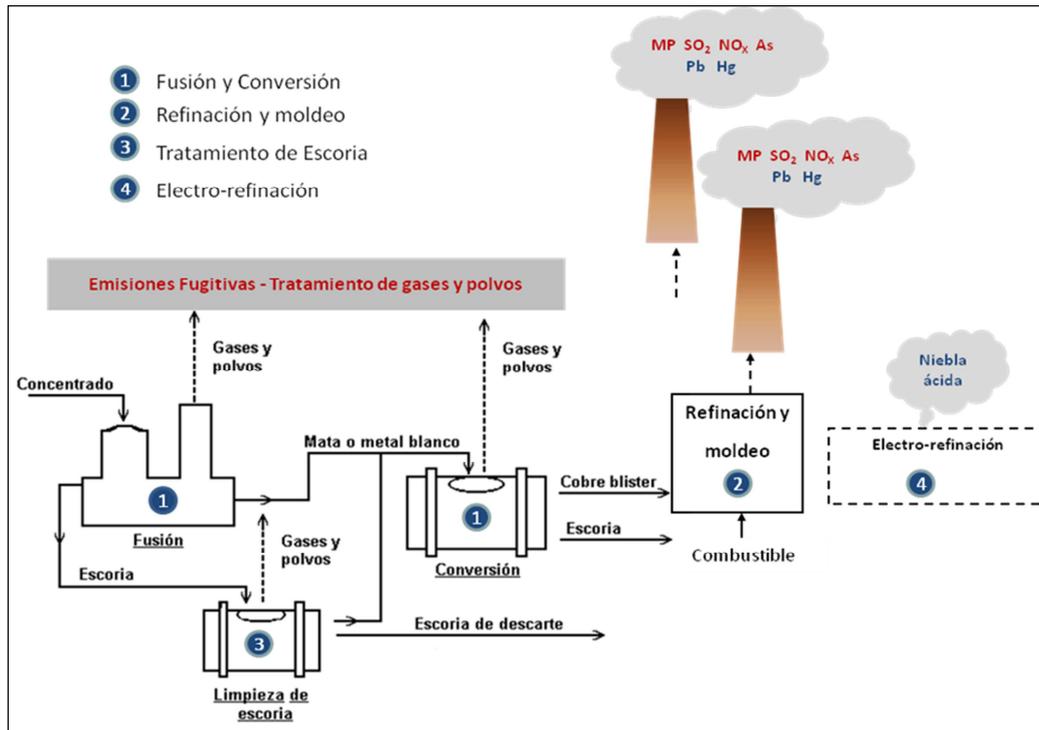


Figura 2.1 Diagrama de Flujo de los Procesos en Fundición de Cobre
Fuente: Ministerio de Medioambiente – División Políticas y Regulación Ambiental

Las emisiones de una fundición de cobre son principalmente material particulado, óxidos de azufre y sustancias tóxicas (arsénico, plomo, cadmio, mercurio, antimonio, entre otros). Las emisiones se producen en los hornos (secado, fusión, conversión, refinación), y de emisiones fugitivas durante las operaciones de traspaso y manejo de material.

La tostación, fusión, y conversión son fuentes de material particulado y óxidos de azufre. La materia particulada contiene principalmente óxidos de cobre y hierro, y otras sustancias tóxicas como el de arsénico, antimonio, cadmio, plomo, mercurio, y zinc, en conjunto con sulfato de metales y neblinas de ácido sulfúrico.

Los gases efluentes de los hornos se envían usualmente a un sistema de control antes de ser liberados a la atmósfera. Típicamente se utilizan precipitadores electrostáticos (ESP), Filtros mangas (FM), y Scrubbers para eliminar los contaminantes presentes en los flujos gaseosos.

En los convertidores, los gases de combustión se capturan durante la fase de soplado mediante campanas que se ubican sobre la boca del convertidor. Para evitar que la campana se adhiera al convertidor por el salpicado de metal fundido, se deja un espacio entre la campana y la nave del convertidor. De esta forma, durante las operaciones de carga y descarga, se generan cantidades significativas de emisiones fugitivas que escapan al control de la campana, debido a que esta debe ser removida para permitir el paso de la grúa. Los gases efluentes captados del convertidor se tratan en ESP para remover el material particulado, y en una Planta de ácido para remover el SO₂.

En los procesos que siguen a la conversión (refinación), debido al bajo contenido de azufre en el material que se trata, se emiten cantidades insignificantes de dióxido de azufre con respecto a los hornos de fusión y conversión, sin embargo, resultan importantes las emisiones de particulado, especialmente en el refino a fuego.

El Control de emisiones de SO₂ en fundiciones de cobre, se realizan típicamente en plantas de ácido, en que el SO₂ se convierte a ácido sulfúrico (H₂SO₄). Sin embargo, esto requiere que se elimine previamente el particulado del efluente gaseoso, y que la concentración de SO₂ se mantenga en al menos 3%. Las plantas de ácido denominadas de contacto simple, convierten típicamente entre un 96% del SO₂, y las de doble contacto remueven hasta el 99.8% del SO₂.

Las emisiones de contaminantes varían según la configuración de los procesos de una fundición de cobre. La USEPA entrega las emisiones de MP y SO₂ para diversas configuraciones de fundiciones de cobre en su Capítulo 12 del AP-42 (2).

La Tabla II.1 y II.2 muestran los factores de emisión para distintos procesos de una fundición de cobre.

Tabla II. 1 Factores de Emisión de MP por operación unitaria (2)

Fuente	Contaminante	Factor Emisivo	Unidad
Horno de Secado de Concentrado	MP	5	Kg/ ton de concentrado
Fuente: AP-42. Capítulo 12.3 Primary Copper Smelting Tabla 12.3-2			
Horno Flash	MP	70	Kg/ ton de concentrado
Fuente: AP-42. Capítulo 12.3 Primary Copper Smelting Tabla 12.3-2			
Horno Convertidor	MP	18	Kg/ ton de concentrado
	MP10	10,6	
	MP2,5	2,2	
Fuente: AP-42. Capítulo 12.3 Primary Copper Smelting Tabla 12.3-2/ Tabla 12.3-8			
Horno Eléctrico de Refinación	MP	50	Kg/ ton de concentrado
Fuente: AP-42. Capítulo 12.3 Primary Copper Smelting Tabla 12.3-2			
Horno Limpieza de Escoria	MP	5	Kg/ ton de concentrado
Fuente: AP-42. Capítulo 12.3 Primary Copper Smelting Tabla 12.3-2			

Tabla II. 2 Factores de Emisión de Hg (3)

Fuente	Contaminante	Factor Emisivo	Unidad
Fundición	Hg	5,81	mg Hg/Kg. Concentrado Procesado
Fuente: Hylander and Herbert (2008), Extraído de "Preliminary mercury emission estimates from non-ferrous metal smelting in India" Ragini Kumari, 2011. Página 516, Tabla 1			

En Chile existen siete Fundiciones de cobre, cinco de de ellas son estatales, de la cuales Chuquicamata, Potrerillos, Ventanas, y Caletones pertenecen a CODELCO, y Hernán Videla Lira a ENAMI. Las dos restantes pertenecen a empresas privadas, Altonorte a Xstrata, y Chagres a Angloamerican. Estas siete Fundiciones de cobre se localizan en cuatro regiones del País.

Para fines de este estudio, se realizó una encuesta a las siete Fundiciones de Cobre, de la cual se extrajo información sobre las instalaciones, las horas de funcionamiento, el combustible utilizado, el abastecimiento histórico y actual de los concentrados, emisiones de contaminantes, y parámetros de emisión (alturas y diámetro de chimeneas, velocidad de salida de los gases, temperatura de los gases). Cabe notar que hubo información faltante, y el porcentaje de información entregada se presenta en el Anexo A1.

2.1 EMISIONES DE LAS FUNDICIONES DE COBRE EN CHILE

De la encuesta aplicada al sector de las Fundiciones de Cobre (Anexo A.1), se extrajo la información sobre las emisiones de S, As y MP, en forma global, diferenciando lo declarado por chimenea para cada de las fundiciones. Cabe notar que la Fundición Caletones sólo entregó información de sus emisiones globales.

Las fundiciones de Altonorte, Hernán Videla Lira, Ventanas, y Chagres declararon las emisiones de NO_x, las que resultaron ser bajas, aún comparadas con los estándares del Banco Mundial (300 mg/m³N).

La Tabla II.3 entrega las emisiones de SO₂ globales, por chimeneas, y fugitivas, además del porcentaje de captura para cada una de las Fundiciones. Cabe destacar que las emisiones de SO₂ corresponden al doble de las emisiones de S declaradas para el año 2010.

Por otra parte la Fundición de Potrerillos para el año 2010, declaraba 15 (ton/año) lo cual fue rectificado, por el 15% de las emisiones sin control de SO₂ considerando una alimentación de 640 kton/año de concentrado procesado y con un 34% de S en el ingreso de concentrado. Además para la Fundición Caletones que sólo declaro emisiones Globales de S, se distribuyó las emisiones de SO₂ para cada una de las chimeneas declaradas, según balance de masa otorgado por COCHILCO - Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

2.1.1 Emisiones de SO₂

Tabla II. 3 Emisiones de SO₂ por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de Captura SO ₂ ^(e)
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(d)	
Chuquicamata	108.214	41.687	66.527	91,0%
Altonorte	39.958	31.250	8.708	93,7%
Potrerillos	65.280 ^(b)	13.679	51.601	83,5%
Hernán Videla Lira	21.344	10.810	10.534	89,4%
Ventanas	15.590	1.714	13.876	93,8%
Chagres	13.944	3.374	10.570	95,7%
Caletones	128.468 ^(c)	41.844	86.624	88,0%

a- Emisiones de SO₂ año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
 b- Emisión declarada corresponde al 15% de las emisiones sin control, considerando alimentación año 2010 de 640 kton/año de concentrado y 34% de S.
 c- Emisión global declarada, se distribuyó por chimenea según balance de masa, COCHILCO- MMA.
 d- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo declarado global y por chimeneas.
 e- Información entregada por el sector al MMA, año 2011.

2.1.2 Emisiones de As

La Tabla II.4 entrega las emisiones de As globales, por chimeneas, y fugitivas, además del porcentaje de captura para cada una de las Fundiciones. Cabe notar que para las fundiciones de cobre que no declararon emisiones de As por chimenea se consideró una distribución de las emisiones globales (declaradas) según balance de masa de As otorgado por MMA. Por otro lado para la obtención del porcentaje de captura de As, se consideró la emisión global, capacidad nominal y porcentaje promedio de As de ingreso en el concentrado para el año 2010.

Tabla II. 4 Emisiones de As por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	As (Ton/año)			% de Captura As ^(d)
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(c)	
Chuquicamata	75	4,8 ^(b)	70,2	98,8%
Altonorte	83	21,0 ^(b)	62,0	96,4%
Potrerrillos	460	64,8	395,2	83,1%
Hernán Videla Lira	14	8,4 ^(b)	5,6	88,6%
Ventanas	118	13,7	104,3	84,1%
Chagres	2,7	1,3 ^(b)	1,4	99,2%
Caletones	201	99,0 ^(b)	102	90,3%

a- Emisiones de As año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
 b- Emisión global declarada, se distribuyó por chimenea según balance de masa otorgado por MMA.
 c- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo declarado global y por chimeneas.
 d- Porcentaje de captura de As se calculó en base a la capacidad nominal, el porcentaje de As promedio para el año 2010 y la emisión global de As declarada.

2.1.3 Emisiones de MP

La Tabla II.5 entrega para cada una de las Fundiciones las emisiones de MP globales, por chimeneas y fugitivas. Debido a la falta de información con respecto a las emisiones de MP globales para el año 2010, se utilizaron los límites de emisión propuestos en los planes de descontaminación para Chuquicamata y Hernán Videla Lira, Inventarios de emisiones realizados en las regiones (Elaboración Inventario de Emisiones para MP10 y SO2, Sector La Negra Antofagasta y Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región) y factores emisivos. Si bien la Fundición Chuquicamata declaró una emisión global inferior a lo declarado por chimenea para el año 2010, por este motivo se utilizó la información correspondiente al Plan de Descontaminación de Chuquicamata.

Tabla II. 5 Emisiones de MP por Fundición de Cobre , Año 2010

Fundición	MP (Ton/año)		
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(a)	Fugitivas ^(g)
Chuquicamata	1.850 ^(b)	702	1.148
Altonorte	1.043 ^(c)	439	604
Potrerrillos	3.900 ^(d)	2.147	1.753
Hernán Videla Lira	600 ^(e)	484	116
Ventanas	405	380	25
Chagres	743	187	556
Caletones	1.565 ^(f)	260	1.305

a- Emisiones de MP año 2010, declaradas en encuesta aplicada al sector, año 2011.
 b- Informe Seguimiento Plan de Descontaminación de Chuquicamata, año 2005.
 c- Elaboración Inventario de Emisiones para MP10 y SO2, Sector La Negra Antofagasta, Ambiosis año 2010
 d- Estimación Factores Emisivos US-EPA.
 e- Plan de Descontaminación de la Fundición HVL, año 1995.
 f- Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, DICTUC, año 2008.
 g- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo global y por chimeneas.

2.1.4 Emisiones de Hg

Debido a que ninguna de la Fundiciones declara emisiones de Hg tanto global como por chimeneas, las emisiones se estimaron usando un factor emisoro propuesto por Hylander and Herbert (2008) (ver Tabla II.2), de 5.81 mg Hg/Kg concentrado procesado.

La Tabla II.6 entrega las emisiones de Hg globales, por chimeneas, y fugitivas, para cada una de las Fundiciones.

Tabla II. 6 Emisiones de Hg por Fundición de Cobre, Año 2010

Fundición	Hg (Ton/año)		
	Globales ^(a)	Chimeneas ^(b)	Fugitivas ^(c)
Chuquicamata	3,3	0,5	2,8
Altonorte	1,6	0,1	1,5
Potrerrillos	1,0	0,1	0,9
Hernán Videla Lira	0,5	0,0	0,5
Ventanas	1,7	0,1	1,6
Chagres	0,8	0,5	0,3
Caletones	1,5	0,1	1,4

a- Factor emisoro 5,81 mg/kg, Hylander and Herbert, 2008
 b- Una vez estimada la emisión se distribuyó por chimenea según información entregada por especialistas al MMA.
 c- Emisiones obtenidas del diferencial entre lo global y por chimeneas.

2.2 ESCENARIOS REGULATORIOS

Los Escenarios de Regulación definidos por el MMA, contempla la regulación de los siguientes contaminantes: Material Particulado (MP), Dióxido de Azufre (SO₂), Arsénico (As) y Mercurio (Hg).

Los escenarios propuestos, conllevan los siguientes supuestos:

- La Capacidad Nominal de cada fundición se mantendrá constante.
- Con una reducción de un punto de Azufre, se logra reducir al menos en un punto de Arsénico.

La Tabla II.7 presenta los escenarios regulatorios a evaluar. Se observa que la meta del Escenario 1 corresponde a un 95% de captura de SO₂ y 96% de As; mientras que el Escenario 2 corresponde a un 95% de captura de SO₂ y 96% de As. Ambos escenarios incluyen una etapa intermedia (denominada T1), donde se asume que el piso mínimo a lograr por las fundiciones es de un 94% de SO₂ y 95% de As³.

Tabla II. 7 Escenarios Regulatorios en Términos de Captura Global

Escenarios Regulatorios	T1	T2
Escenario N°1	94% SO ₂	95% SO ₂
	95 % As	96% As
Escenario N°2	94% SO ₂	96% SO ₂
	95% As	97% As

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

- Límite de Emisión en Chimeneas

Las fuentes emisoras deberán dar cumplimiento a los límites en chimeneas de los procesos unitarios de la Tabla II.8 en el plazo T2, dando así cumplimiento al concepto de gradualidad.

³ El análisis de la conveniencia de un escalón intermedio de 94% se evalúa en el estudio de costos.

Tabla II. 8 Límites Máximos de Emisión en Chimeneas

Chimenea (s) de procesos unitarios de Fundición de cobre Existentes	Límites máximos de emisión en chimeneas en mg/Nm ³			
	MP	SO ₂	As	Hg
Planta de Ácido	No Aplica	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,07 ⁽¹⁾
Limpieza de Escoria (No aplica Plantas de Flotación)	50	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,1 ⁽³⁾
Secador de Concentrados de Cobre	Informar ⁴	No aplica	No Aplica	No Aplica
Planta de Tostación (para molibdenita y fuentes nuevas)	50 ⁽³⁾	400 ⁽³⁾	0,5 ⁽²⁾	0,1 ⁽³⁾

Los valores de los límites en chimenea corresponden a:

- 1) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries, 2001. Valor para plantas de ácido, p.146. Para limpieza de escoria, p. 268.
- 2) Tomado y adaptado de la Guía sobre medioambiente, salud y seguridad. Fusión y refinado de metal base, del IFC del Banco Mundial, 2007.p. 18y19.
- 3) 3) Valores considerados en la regulación de otras megafuentes existentes reguladas en Chile: incineradores y plantas de generación. D.S N° 45/2007 y D.S N° 13/2011 MINSEGPRES

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

⁴ La función del secador es reducir la humedad del concentrado (a 0.2%). En la cámara del secador no hay combustión de concentrado, la temperatura máxima que alcanza el concentrado es de 150°C. Por lo tanto, no hay producción ni emisión de partículas finas. Los concentrados se caracterizan por una granulometría de material particulado grueso. El concentrado a secar no contiene granos o partículas de tamaño bajo 50 µm (micrómetros), con esto se asegura que el concentrado alimentado no combustione ni reaccione dentro del secador, sino que, sólo se evapore el agua que está contenida en el concentrado.

Respecto a lo anterior, el informe de la Universidad de Chile encargado por la Fundición Altonorte⁴, indica lo siguiente: "Se puede observar que la distribución de tamaño de los granos del concentrado juega un rol preponderante. Si alguno de los concentrados dentro de la mezcla de concentrado tiene una alta participación de granos bajo 50µm, estos granos se mueven con el flujo de gas y sedimentan muy lentamente en el tambor del secador. Debido a su tamaño, ellos se secan instantáneamente y se pueden encender en el gas que contiene de 10 a 18% O₂, igual que en el horno Flash. Posteriormente, ellos también se pueden fundir, aglomerar y crear trozos de concentrado calcinado, el cual puede encontrarse en las mal las al final del secador. Otros minerales, tal como la bornita ó calcosina pueden comportarse de manera similar. Lo crítico en este caso al igual que el anterior es el tamaño de los granos". En Chile al 2012, todas las fundiciones de cobre para tratar el flujo de salida del secador cuentan con un equipo de control de material particulado, con el equipo de control se recupera el material y se reducen las emisiones al aire de las partículas gruesas. De las siete fundiciones, Chuquicamata declara tener dos secadores conectados a precipitadores electrostáticos; el resto de las fundiciones cuenta con tecnología de control de filtros de mangas.

A pesar de contar con equipos de control, se constata que las emisiones declaradas de los secadores varían entre 142 a 674 mg/Nm³ (en unidades de concentración de partículas). Valores que están muy lejos del estándar de operación de un equipo de control de material particulado. Las emisiones ordenadas de mayor a menor reportadas por las fundiciones en los secadores corresponden a: Chagres: 674 mg/Nm³; Chuquicamata: 555,3 mg/Nm³ (S4); Hernán Videla Lira: 530,8 mg/Nm³; Ventanas: 444 mg/Nm³; Chuquicamata: 294,4 mg/Nm³ (S5); Altonorte: 142,6 mg/Nm³; (S6) Potrerillos: 14,3 mg/Nm³. La fundición Caletones no entrega está información.

Las emisiones esperadas de un equipo de control en buen estado y con buenas prácticas de operación, corresponde a valores entre 1 a 10 mg/Nm³. Por ejemplo, el Banco Mundial⁴ recomienda para las emisiones del secador una concentración máxima de material particulado de 5 mg/Nm³. Lo anterior es una señal para que las fundiciones realicen el esfuerzo de mejorar sus prácticas de operación y mantención de los equipos de control. La regulación de emisiones para las fundiciones, inducirá estos cambios en la operación y mantención de los equipos de control, para alcanzar los niveles que esta tecnología posee.

1. "Evaluación de emisiones de SO₂ en Secador de Concentrado", desarrollado por la U. de Chile para Altonorte. Página 9, Julio 2011.
2. Referencia: Guía de medio ambiente, salud y seguridad para la fusión y refinado de metales. 2007. Cuadro 1. Emisiones al aire por la fusión y el refinado de níquel, cobre, plomo, zinc y aluminio, página 18. Indica que los niveles de material particulado de un secador está entre: 1 a 5 mg/Nm³.

2.3 EMISIONES SEGÚN ESCENARIOS REGULATORIOS

Las emisiones para cada uno de los escenarios regulatorios se presentan en las Tablas II.9, II.10, II.11, y II.12:

- La Tabla II.9 presenta el escenario 1, de las emisiones de SO₂ y As con una captura de 94% para SO₂ y 95% para As (T1). Al respecto, la reducción de los contaminantes respecto al Caso Base se logra al reducir las emisiones fugitivas. Las Fundiciones Chuquicamata, Altonorte y Chagres mantienen su nivel de emisión de As respecto al Caso Base, ya que cumplen con el porcentaje de captura propuesto. La excepción es la Fundición Hernán Videla Lira, que para lograr reducir la emisión de As debe disminuir también por chimenea. Además, Chagres mantiene su nivel de SO₂ debido a que cumple con el porcentaje de captura, no así el resto de las fundiciones.
- La Tabla II.10 presenta el escenario 1, de las emisiones de SO₂ y As con una captura de 95% para SO₂ y 96% para As, más la exigencia de límites en chimenea (T2). Se observa una disminución en las emisiones. En el caso de las fundiciones de Chagres y Altonorte alcanzan un 96,2% y un 95,7% respectivamente, debido a que cumplen a lo esperado en los límites en chimenea.
- La mayor disminución de emisiones de SO₂ por chimenea se da en las Plantas de Ácido, las cuales se espera cumplan un límite de 400 mg/m³N (153 ppm).
- La Tabla II.11 presenta el escenario 2, de las emisiones de SO₂ y As con una captura de 96% para SO₂ y 97% para As, más la exigencia de límites en chimenea (T2). Se observa que las emisiones en chimenea se mantienen constantes con respecto al escenario anterior (95% para SO₂ y 96% para As), exceptuando la Fundición Hernán Videla Lira, la cual disminuye las emisiones por chimenea con el fin de cumplir con el porcentaje de captura de As (97%).
- La Tabla II.12 presenta las emisiones de MP y Hg (T2). En el caso del MP las emisiones fugitivas se mantienen constantes respecto al Caso Base. Por lo tanto, las emisiones de MP están subestimadas, debido a que al instalar o mejorar el sistema de control de MP, se espera una disminución. Respecto a las emisiones de Hg, se mantienen constantes ya que las operaciones unitarias cumplen con los límites por chimenea propuestos.

Tabla II. 9 Emisiones de SO₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N°1 y N°2, T1
Emisiones Escenario N° 1 y 2 T1

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de Captura S	As (Ton/año)			% de Captura As
	Globales	Chimeneas	Fugitivas		Globales	Chimeneas	Fugitivas	
Chuquicamata	72.143	41.687	30.456	94,0%	75	4,8	70,2	98,8%
Altonorte	38.055	31.250	6.805	94,0%	83	21,0	62,0	96,4%
Potrerrillos	23.738	13.679	10.059	94,0%	136	64,8	71,2	95,0%
Hernán Videla Lira	12.082	10.810	1.272	94,0%	6	5,4	0,6	95,0%
Ventanas	15.087	1.714	13.373	94,0%	37	13,7	23,3	95,0%
Chagres	13.944	3.374	10.570	95,7%	2,7	1,3	1,4	99,2%
Caletones	64.234	41.844	22.390	94,0%	104	99,0	5,0	95,0%

Tabla II. 10 Emisiones de SO₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N°1, T2
Emisiones Escenario N° 1 T2

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de Captura S	As (Ton/año)			% de Captura As
	Globales	Chimeneas	Fugitivas		Globales	Chimeneas	Fugitivas	
Chuquicamata	60.119	13.308	46.811	95,0%	75	4,8	70,2	98,8%
Altonorte	27.145	18.437	8.708	95,7%	83	21,0	62,0	96,4%
Potrerrillos	19.782	1.421	18.361	95,0%	109	27,2	81,8	96,0%
Hernán Videla Lira	10.068	1.611	8.457	95,0%	5	4,2	0,8	96,0%
Ventanas	12.573	692	11.880	95,0%	30	9,9	20,1	96,0%
Chagres	12.196	1.626	10.570	96,2%	2	0,4	1,6	99,5%
Caletones	53.528	5.027	48.501	95,0%	83	22,3	60,7	96,0%

Tabla II. 11 Emisiones de SO₂ y As por Fundición de Cobre, Escenario N°2, T2
Emisiones Escenario N° 2 T2

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de Captura S	As (Ton/año)			% de Captura As
	Globales	Chimeneas	Fugitivas		Globales	Chimeneas	Fugitivas	
Chuquicamata	48.095	13.308	34.787	96,0%	75	4,8	70,2	98,8%
Altonorte	25.370	18.437	6.933	96,0%	70	21,0	49,0	97,0%
Potrerrillos	15.825	1.421	14.404	96,0%	82	27,2	54,8	97,0%
Hernán Videla Lira	8.054	1.611	6.443	96,0%	4	3,2	0,8	97,0%
Ventanas	10.058	692	9.366	96,0%	22	9,9	12,1	97,0%
Chagres	12.196	1.626	10.570	96,2%	2	0,4	1,4	99,5%
Caletones	42.823	5.027	37.796	96,0%	62	22,3	39,7	97,0%

Tabla II. 12 Emisiones de MP y Hg por Fundición de Cobre, Escenario N°1 y N°2, T2

Emisiones Escenario N° 1 y 2 T2						
Fundición	MP (Ton/año)			Hg (Ton/año)		
	Globales	Chimeneas	Fugitivas	Globales	Chimeneas	Fugitivas
Chuquicamata	1.850	702	1.148	3,3	0,5	2,8
Altonorte	1043	439	604	1,6	0,1	1,5
Potreros	2.911	1.158	1.753	1,0	0,1	0,9
Hernán Videla Lira	592	476	116	0,5	0,0	0,5
Ventanas	348	323	25	1,7	0,1	1,6
Chagres	743	187	556	0,8	0,5	0,3
Caletones	1.565	260	1.305	1,5	0,1	1,4

3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS EFECTOS

Las fundiciones de cobre debido a los procesos de combustión y transferencia de materiales generan emisiones de gases y partículas. Los contaminantes atmosféricos de una Fundición de cobre corresponden a: dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), materia particulada (MP) con contiene una larga lista de trazas conocidas como sustancias tóxicas, tales como: mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), Plomo (Pb), entre otros.

A partir de las emisiones primarias de gases y partículas de las Fundiciones de cobre, se generarán en la atmósfera contaminantes secundarios tales como sulfatos, nitratos y ozono, lo cual dependerá de las condiciones meteorológicas locales, tales como la radiación solar, la humedad relativa y los vientos, así como de las concentraciones de otros elementos y compuestos presentes en la atmósfera.

Las sustancias tóxicas y contaminantes que aportan este tipo de fuente emisora, han sido ampliamente estudiadas y existe evidencia científica de los efectos que producen tanto en la salud de las personas como también en el medioambiente. La Tabla III.1 presenta un resumen para los principales contaminantes de las Fundiciones de Cobre y sus efectos en Salud.

Tabla III. 1 Contaminantes y efectos en salud

Contaminante	Efecto
MP2,5	<ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad Prematura - Bronquitis Aguda y Crónica - Admisión Hospitalaria: Respiratoria, Cardiovascular, y Cerebro-Vascular - Visita de Urgencia por Asma - Cáncer Pulmón y Tráquea - Enfermedades respiratorias superior e inferior - Días de Actividad Restringida - Ausentismo Laboral - Exacerbación Asma - Tos Crónica (Niños) - Tos (Niños Asmáticos) - Mortalidad Infantil
SO₂	<ul style="list-style-type: none"> - Admisión Hospitalaria: Respiratoria, y Cardiovasculares
As	<ul style="list-style-type: none"> - Cáncer a la Piel - Cáncer al Pulmón - Cáncer a la Vejiga - Mortalidad Cardiovascular - Muerte Fetal
Pb	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños - Anemia
Hg	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de Coeficiente Intelectual en Niños - Ataxia⁵ - Disfunción Renal
Cd	<ul style="list-style-type: none"> - Osteoporosis - Disfunción Renal

Fuente: Searle 2005 (12), Hunt and Ferguson 2010 (13)

⁵ Trastorno caracterizado por la disminución de la capacidad de coordinar los movimientos.

A continuación se describe sobre los principales efectos en salud y el medioambiente de los contaminantes emitidos por las Fundiciones de cobre.

3.1 MATERIAL PARTICULADO (MP)

3.1.1 Efectos del MP en Salud

Las partículas (MP) contenidas en los gases efluentes de las fundiciones de cobre, son una amalgama de material sólido y líquido, conformado principalmente por nitratos, sulfatos, metales y polvo, entre otros.

Dentro del material particulado, la fracción respirable (MP10), y la altamente respirable (MP2.5) han sido consistentemente asociadas a impactos en salud. Existen numerosos estudios epidemiológicos realizados en diferentes partes del mundo y también en Chile, que han mostrado efectos en poblaciones diversas y en diferentes grupos de edad.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) "las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones humanas. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas" (4).

Los efectos de la exposición de las personas al material particulado son diversos y van desde pequeñas molestias respiratorias, hasta el asma y exacerbación de enfermedad pulmonar obstructiva crónica, lo que se traduce en incrementos de la mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares.

Las partículas respirables ingresan al sistema respiratorio penetrando en los pulmones, y alcanzando las más pequeñas incluso a ingresar al torrente sanguíneo, llevando de esta forma, toxinas al resto del cuerpo.

Los efectos en la salud se manifiestan como síntomas molestos (picazón de ojos, lagrimeo, tos, dificultad para respirar), pasando por la necesidad de visitar al médico, y hasta hospitalizaciones, todo lo cual se clasifica como efectos sobre la morbilidad. El rango de efectos alcanza incluso la mortalidad por causas cardiovasculares y respiratorias.

El tamaño de las partículas y su composición química son claves para determinar los efectos adversos sobre la salud humana. Los efectos de las partículas finas (MP2.5) sobre la salud se reconocen como más dañinos, sin que exista evidencia científica reciente respecto de un umbral sin efecto sobre la salud.

El tiempo de exposición también es un elemento clave en la estimación de los efectos en salud. Por tal razón los países han definido normas de calidad del aire para exposiciones diarias y anuales de este contaminante.

En resumen, los principales efectos asociados a la exposición de material particulado son:

- Aumento de la irritación en las vías respiratorias
- Tos o dificultad para respirar

- Disminución del funcionamiento pulmonar
- Exacerbación del asma
- Bronquitis crónica
- Mortalidad prematura en personas con enfermedades pulmonares o cardiacas.

La Tabla III.1 muestra los estudios epidemiológicos recientes que se han realizado en Chile.

Tabla III. 2 Estudios nacionales sobre efecto del MP en salud

Estudio	Tipo de Impacto	Fracción MP	Ciudad
Cakmak, Dales et al. 2007 ¹	Mortalidad	MP10	Santiago
Sanhueza, Díaz et al 2007 ¹	Morbilidad y Mortalidad	MP10	Temuco
Román, Prieto et al 2009 ¹	Morbilidad	MP10 y MP2.5	Santiago
Cakmak, Dales et al. 2009 ¹	Morbilidad	MP2.5	Santiago
Dales, Cakmak et al 2009 ¹	Morbilidad	MP10 y MP2.5	Santiago
Dales, Cakmak et al 2010 ¹	Morbilidad	MP10 y MP2.5	Santiago
CONAMA VI Región, 2006 ²	Mortalidad y Morbilidad	MP10	Rancagua

1: Guía Metodológica para realizar AGIES para instrumentos de calidad del aire (Ref. 5)
 2: CONAMA VI Región (Ref. 38)

A nivel internacional la Agencia ambiental de los Estados Unidos (USEPA), ha recopilado toda la evidencia científica en su reporte final del análisis integrado para el Material Particulado el año 2009, el cual contiene un análisis de los impactos a la salud tanto en mortalidad como morbilidad, con impactos tanto a largo plazo como a corto plazo y considerando diferentes tamaños de partículas de material particulado (MP2.5 y MP10-2.5) y que finaliza concluyendo sobre la evidencia existente hasta el momento de asociación entre material particulado en la atmosfera y eventos de mortalidad y morbilidad.

Para el MP2.5, la USEPA indica que la evidencia científica avala que la exposición a este contaminante genera incrementos en la mortalidad, y que la asociación es causal. El exceso de riesgo encontrado varía entre 0,29 y 1,21% por cada 10 µg/m³ de MP2.5. El MP2.5 también se asocia causalmente con la morbilidad cardiovascular, con excesos de riesgo entre 0,4 y 3,4% por cada 10 µg/m³ de MP2.5 (5).

3.1.2 Efectos del MP sobre el medioambiente

La materia particulada afecta a los recursos naturales tales como vegetación y flora, cuando éstas se depositan sobre ellas, afectando su crecimiento y desarrollo, dado que se produce una interferencia en el proceso de la fotosíntesis. Además, dependiendo de la composición química de las partículas depositadas, se podrían generar también daños por la toxicidad. Lo anterior tiene implicancias en la productividad agrícola, debido a que el daño afecta directamente a los cultivos (tamaño y cantidad). Las partículas se depositan también sobre cuerpos de agua, cambiando el pH, y por tanto las condiciones naturales de lagos y ríos. Otro efecto adverso de las partículas, es la depositación sobre superficies pintadas, techos, paredes, estructuras en general, y también sobre los pavimentos. Esta depositación no sólo significa un daño estético, sino que además genera costos de limpieza que pueden llegar a ser considerables.

Finalmente, las partículas tienen la propiedad de dispersar la luz, lo cual se traduce en una disminución de la visibilidad, lo que trae consecuencias estéticas y de seguridad.

3.2 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

3.2.1 Efectos del SO₂ en Salud

El SO₂ es un gas altamente reactivo y soluble en agua, que sufre transformaciones en la atmósfera generando partículas secundarias (sulfato de amonio), y ácido sulfúrico.

Existe evidencia científica respecto de los efectos sobre la salud del Dióxido de Azufre. Es así como la OMS da cuenta de que para exposiciones de corta duración, los asmáticos que hacen ejercicio experimentan cambios en la función pulmonar y presentan síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO₂ de apenas 10 minutos” (4).

La USEPA en su Informe denominado Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides – Health Criteria (6), realiza una revisión actualizada de los efectos a la salud humana que pueden ser causados por concentraciones ambientales de óxidos de azufre (SO_x) en el ambiente.

El dióxido de azufre es un contaminante capaz de causar daño severo a la salud de las personas, en especial entre los infantes, los ancianos y los asmáticos. Los efectos reconocidos son sobre el sistema respiratorio y abarcan desde un debilitamiento del sistema inmunológico, la broncoconstricción, bronquitis crónica, bronco espasmos en asmáticos, hasta la muerte.

La evidencia epidemiológica sobre el efecto de la exposición a corto plazo al SO₂ en la mortalidad de todas las causas no accidentales y la mortalidad cardiopulmonar es sugerente a una relación causal. Los estudios epidemiológicos son generalmente consistentes en reportar una asociación positiva entre el SO₂ y la mortalidad, sin embargo, existe una falta de robustez entre la asociación observada y el ajuste para los co-contaminantes.

Según la USEPA, la evaluación de la evidencia en efectos respiratorios asociados a la exposición de corto plazo a SO_x lleva a la conclusión que existe una relación causal entre ambos conclusión que está respaldada por la consistencia, coherencia y la plausibilidad de los resultados observados en distintos estudios tanto clínicos, epidemiológicos y toxicológicos. Los estudios clínicos de 5-10 min de exposición han demostrado que se produce una disminución en la capacidad pulmonar acompañada de síntomas respiratorios que incluyen silbidos y opresión en el pecho, efectos que han sido claramente demostrado para exposiciones a concentraciones entre 0,4-0,6 ppm de SO₂. Por otro lado, los estudios epidemiológicos han generado un gran número de evidencia que asocia síntomas respiratorios, visitas a salas de emergencias y admisiones hospitalarias, además, nuevos estudios han encontrado correlación entre concentraciones ambientales promedios de 24-h de SO₂ con síntomas respiratorios en niños, particularmente aquellos con poseen asma. Se ha observado que existe consistencia y robusta asociación entre las concentraciones de SO₂ ambiental y las visitas a las salas de emergencia u hospitalización para todas las causas respiratorias, particularmente en niños, adultos mayores de 65 años y asmáticos. Por último, los estudios toxicológicos han confirmado los resultados que se han obtenido por los estudios epidemiológicos y clínicos exponiendo animales a exposiciones que van desde minutos a horas (5).

Por su parte, la evaluación de la evidencia de efectos cardiovasculares asociados a la exposición de SO_x concluye que no existe suficiente evidencia para inferir una relación causal dada la inconsistencia de la evidencia, la falta de coherencia y las limitaciones

inherentes a los estudios. En particular, la evidencia extraída de estudios clínicos y epidemiológicos de variabilidad del ritmo cardiaco tanto en personas sanas como en personas asmáticas o con enfermedades cardiovasculares son inconsistentes y no apoyan un efecto del SO₂ en el sistema autónomo nervioso, a pesar de algunos resultados que si fueron positivos. Los estudios que evalúan la asociación de presión sanguínea y marcadores de sangre de riesgo cardiovascular fallaron en proveer evidencia consistente que sugiera un rol del SO₂ en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Finalmente, aunque algunos estudios sobre las admisiones hospitalarias y las visitas a salas de emergencia por enfermedades cardiovasculares reportan una asociación positiva y estadísticamente significativa entre estas y el SO₂, los resultados fueron inconsistentes considerando como un todo a los estudios revisado.

3.2.2 Efectos del SO₂ sobre el Medioambiente

El daño que el gas SO₂ genera sobre la vegetación es ampliamente conocido. Por tal razón varios países, incluido Chile, han establecido normas de calidad del aire secundarias, cuyo objetivo es justamente proteger los recursos silvoagropecuarios de los efectos adversos producto de la exposición al dióxido de azufre.

Los daños a las plantas y vegetación, producto de la exposición al SO₂, genera efectos directos en la productividad y rendimientos de los cultivos. Estos efectos han sido modelados y las pérdidas de rendimientos cuentan con funciones dosis-respuesta y valoración económica, cuyos valores se indican en la Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de calidad del aire.

Sin embargo, no sólo el gas SO₂ genera problemas al medioambiente, sino que además el SO₂ liberado a la atmósfera sufre transformaciones llegando a formar particulado secundario (sulfatos de amonio), y ácido sulfúrico, cuya depositación sobre la vegetación, suelos, y cuerpos de agua genera efectos adversos adicionales.

Además, el gas SO₂ y las partículas formadas a partir de él, reducen la visibilidad por absorción y dispersión de la luz, respectivamente, generando efectos adversos a la calidad visual y seguridad.

3.3 MERCURIO (Hg)

3.3.1 Efectos del Hg en Salud

El mercurio contenido en el material particulado emitido por fundiciones de cobre se dispersará en la atmósfera para finalmente depositarse en suelos, vegetación, y cuerpos de agua. En último término el mercurio se acumula en los sedimentos de lagos, donde se transforma en su forma orgánica más tóxica, el mercurio de metilo, que se puede acumular en el tejido de los peces. Este último medio ha sido el más estudiado, debido a que el mercurio disuelto en aguas es ingerido por peces y moluscos que finalmente pueden ser consumidos por las personas en la forma de metilmercurio (compuesto orgánico).

Los fetos, infantes y niños expuestos a metilmercurio presentan un impedimento en el desarrollo neurológico. Otros efectos observados dicen relación con alteraciones en la memoria, atención, lenguaje, y habilidades motoras y visuales, todas ellas asociadas al sistema nervioso y cerebral.

Los estudios indican que no existe relación entre la exposición a mercurio y el desarrollo de cáncer en seres humanos. El cloruro de mercurio ha causado incrementos en varios tipos de tumores en ratas y el metilmercurio ha causado tumores en los riñones. Sin embargo, estos hallazgos se han observado a dosis muy altas. La USEPA en su revisión sobre Guías de Cáncer, concluyó que la exposición al mercurio orgánico ni al metilmercurio son probables de causar cáncer en humanos.

Según la OMS "el mercurio es muy tóxico, en particular cuando se metaboliza para formar mercurio de metilo. Puede ser mortal por inhalación y perjudicial por absorción cutánea. Alrededor del 80% del vapor de mercurio inhalado pasa a la sangre a través de los pulmones. Puede tener efectos perjudiciales en los sistemas nervioso, digestivo, respiratorio e inmunitario y en los riñones, además de provocar daños pulmonares. Los efectos adversos de la exposición al mercurio para la salud pueden ser los siguientes: temblores, trastornos de la visión y la audición, parálisis, insomnio, inestabilidad emocional, deficiencia del crecimiento durante el desarrollo fetal y problemas de concentración y retraso en el desarrollo durante la infancia" (9). Estudios recientes parecen indicar que el mercurio tal vez carezca de umbral por debajo del cual no se producen algunos efectos adversos.

3.3.2 Efectos del Hg sobre el Medioambiente

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria, con sus consecuentes efectos nocivos sobre la biodiversidad. Todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio, casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio, donde la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años). Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior

En los niveles superiores de la cadena alimentaria acuática se encuentran las especies piscívoras, como los seres humanos, aves marinas, focas y nutrias. Las especies silvestres más grandes (como águilas y focas) se alimentan de peces que también son depredadores,



como la trucha y salmón, mientras que las especies piscívoras más pequeñas tienden a alimentarse de peces más pequeños. En estudio sobre animales de pelaje, las especies con el nivel de mercurio más alto en tejidos resultaron ser la nutria y el visón, depredadores mamíferos del nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Entre las aves depredadoras del nivel superior de la cadena alimentaria acuática están las aves de rapiña. Así, pues, el mercurio se transfiere y acumula de uno a otro nivel de la cadena alimentaria. Las cadenas alimentarias acuáticas suelen tener más niveles que las terrestres, en las que los depredadores de especies silvestres rara vez se alimentan unos de otros y, por lo tanto, la biomagnificación acuática generalmente alcanza valores mayores (10).

3.4 ARSÉNICO (As)

3.4.1 Efectos del As en Salud

El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la corteza terrestre. Se encuentra como arsénico elemental, pero más comúnmente ligado al oxígeno, cloro y azufre, lo cual se denomina arsénico inorgánico.

El arsénico inorgánico se encuentra en muchos tipos de rocas, pero especialmente en minerales que contienen cobre y plomo. Cuando estos minerales se procesan en hornos de Fundición, la mayoría del arsénico se libera por la chimenea y sale a la atmósfera como partículas finas, en forma de trióxido de arsénico (As_2O_3), otra parte sale como emisión fugitiva desde la boca de los hornos.

Dado que el arsénico se encuentra en forma natural en el medioambiente, las personas estarán expuestas de distintas formas a este elemento, a través del aire que se respira, por la comida, el agua que se bebe, y aún por contacto de la piel en suelos y aguas que contengan arsénico.

La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, en un rango de 1 a 40 ppm (partes de arsénico por millón de partes de suelo), con una media de 3 a 4 ppm. La concentración de arsénico en aguas naturales superficiales y subterráneas es en general del orden de 1 ppb, pero puede llegar a 1000 ppb en áreas mineras o donde el arsénico en el suelo es alto.

El arsénico puede llegar al cuerpo humano en pequeñas cantidades a través de vía oral o nasal. La comida es la fuente principal del arsénico que ingresa por el pescado o mariscos que se consumen. Sin embargo, este arsénico contenido en los productos del mar se encuentra en forma orgánica, que es menos dañina que la forma inorgánica del arsénico. Los efectos de la ingesta de arsénico por vía oral se manifiestan a través de irritación estomacal y de intestinos, con síntomas de dolor estomacal, náuseas, vómitos y diarrea. Otros efectos de ingerir arsénico incluyen la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos, lo cual causa fatiga, ritmo cardíaco anormal, daño en vasos sanguíneos, y sensación de pinchazos en manos y pies.

Si una persona respira aire que contiene partículas de arsénico, éstas pueden llegar a los pulmones, y desde allí serán transportadas al resto del cuerpo. Dependiendo de las concentraciones, se pueden experimentar dolor de garganta e irritación pulmonar. Adicionalmente se puede desarrollar un oscurecimiento de la piel, verrugas en las palmas y torso, y cambios en los vasos sanguíneos de la piel.

Existen estudios que sugieren que la inhalación de arsénico puede interferir en el desarrollo fetal. Sin embargo, la mayor preocupación es que el arsénico inhalado incrementa el riesgo de cáncer pulmonar. Esto último se ha observado principalmente en trabajadores expuestos a arsénico en fundiciones, minas, e industrias químicas, pero también en residentes que viven cerca de fundiciones y sitios contaminados con arsénico.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN.



La Unión Europea ha desarrollado un extenso cuerpo legal que establece estándares de protección a la salud humana para varios contaminantes del aire. Estos estándares y objetivos incluyen entre otros elementos al arsénico, para el cual se establece un valor de 6 ng/m^3 como exposición anual.

3.4.2 Efectos del As sobre el Medioambiente

Las plantas absorben Arsénico con bastante facilidad, así es posible encontrar altas concentraciones de este elemento en las comidas. Las concentraciones de Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales, aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces, que consumen plantas. Las aves que consumen peces que contienen cantidades de Arsénico, probablemente morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos, dañando de esta forma la biodiversidad.

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para definir el área donde se verificarán los beneficios sociales y ambientales de la futura norma de emisión, se requiere realizar un análisis sobre el área de influencia de la norma, es decir, determinar cuál es el área dónde la reducción de emisiones producto de la aplicación de la norma, tendrá un efecto en la reducción de las concentraciones, beneficiando a distintos receptores.

Para realizar lo anterior, se revisó los estudios disponibles en Chile que han modelado las emisiones de las Fundiciones de cobre. A continuación se presenta un resumen de los aspectos relevantes de tales estudios.

4.1.1 RESUMEN DE ESTUDIOS DISPONIBLES

Están disponibles ocho estudios que han modelado las emisiones de las Fundiciones de cobre en Chile, los cuales fueron elaborados principalmente en el marco de los planes de descontaminación y como investigaciones científicas. Los estudios disponibles y revisados son:

- Modelación Fundición AltoNorte - Mella y Meza, 2008
- Diagnóstico y Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región – DICTUC, 2008
- Consultoría administración base atmosférica regional y reformulación del Plan de Descontaminación Caletones, VI Región del Libertador Bernardo O´Higgins – GEOAIRE. 2007
- Modelación Fundición Caletones – Hanne y Mager, 2006
- Modelación Fundiciones Ventanas, Chagres y Caletones – Olivares et al, 2002.
- Modelación Fundición Caletones – Gallardo et al, 2002
- Modelación Fundiciones Chuquicamata, AltoNorte, HVL, Potrerillos, Ventanas, Chagres, Caletones – Gidhagen et al, 2002
- Modelación Fundiciones Ventanas y Paipote – Williams y Brown, 1994

En el Anexo A.4 se presenta un mayor detalle de cada estudio.

Se puede decir que los resultados de los estudios concuerdan en que hay evidencias que no descartan que las emisiones de las Fundiciones de Caletones, Ventanas y Chagres tienen un aporte en las concentraciones de la RM. Sin embargo, no es posible determinar con exactitud de cuanto es el aporte. A su vez, el estudio realizado para la Fundición Altonorte, afecta a la ciudad de Antofagasta.

Se constata que se modeló a nivel regional (Olivares, Gallardo, Gidhagen) utilizando modelos eulerianos (MATCH, RAPTAD, CAMx). Tales modelos son útiles y apropiados, sin embargo presentan ciertas limitaciones para modelar las emisiones fugitivas, las cuales son relevantes en las Fundiciones de cobre. Se constata, que sólo un estudio incluye las

emisiones fugitivas (Williams y Brown 1994 Paipote), el resto sólo las emisiones por chimenea.

Otro aspecto, es el período de modelación, el cual depende principalmente de la información disponible y de los objetivos de cada estudio. Por ejemplo, un estudio tiene por objeto analizar los episodios de contaminación (Gallardo et al).

No se constata que algún estudio modele un año completo. Esto principalmente por las limitaciones de los modelos eulerianos y las dimensiones de los dominios de modelación, los cuales comprometen la eficiencia en relación al tiempo de ejecución de los modelos y la precisión de los resultados.

4.1.2 Área de Estudio

Se asume que no existen planes para instalar nuevas fundiciones de cobre (COCHILCO – MMA), por lo tanto, se considerará las siete fundiciones de cobre que operan en la actualidad.

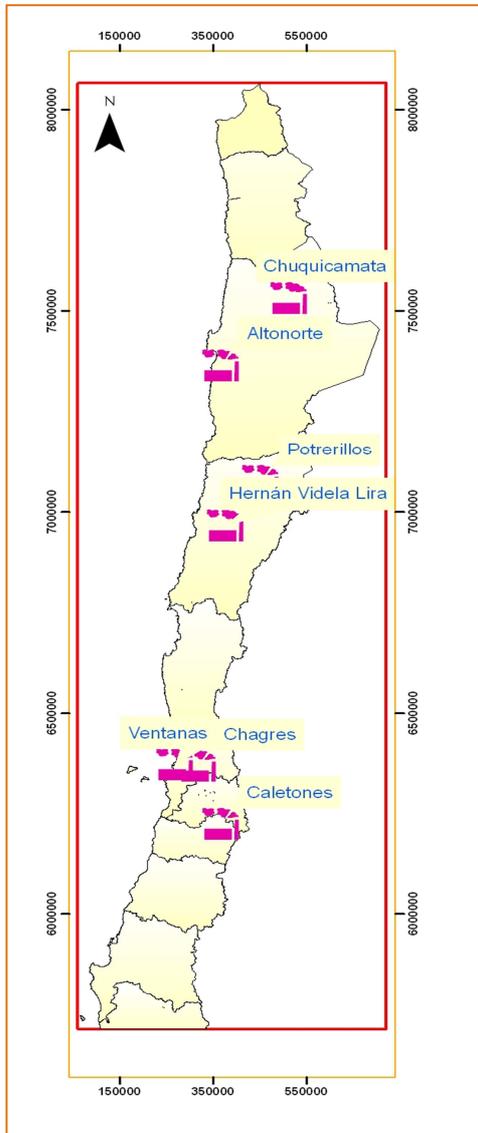
Se considera la recomendación entregada por la Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de calidad del aire, que dice sobre el alcance geográfico, indicando que “el territorio que se incluye en la evaluación, es aquel en que los cambios en la concentración de contaminantes afecta a una población considerable. Asimismo, el territorio no considerado es aquel en que la población afectada por el cambio en las concentraciones ambientales es pequeña, o muy baja” (5).

Del análisis de los estudios de modelación del transporte y dispersión de contaminantes emitidos por las fundiciones de cobre en Chile (4.1.1), y del comportamiento de los patrones de viento en Chile, se desprende que las áreas afectadas por las emisiones de las fundiciones de cobre son aquellas orientadas preferentemente hacia el nor-este de las fundiciones, por tanto, considerar el límite norte de Chile como extremo del dominio es razonable. Hacia el sur, se considerará hasta la parte septentrional de la Región de la Araucanía, toda vez que la fundición de cobre más austral es Caletones, ubicada en la región de O`Higgins. Esto asegura un margen suficiente para las plumas que se dirijan al sur de Caletones.

Es así como el área a modelar queda definida por un dominio de 2350 x 660 kilómetros, que abarca desde Arica a Cautín, cubriendo un 91% de la población chilena. La Figura 4.1 muestra el área de modelación considerada en la estimación de las reducciones de concentraciones, producto de la norma de emisión de Fundiciones de Cobre.

La resolución espacial considerará grillas de 5 km, lo cual es un buen compromiso para dominios de escala regional como el que se usará en esta evaluación, considerando que la información de población se manejará a nivel comunal. Además, otras modelaciones para fundiciones de cobre realizadas en Chile, han considerado escalas entre 5 y 11 kilómetros, en dominios más reducidos, de 200x200 kilómetros (16,17), que los que se considerarán en este estudio para la norma de emisión de fundiciones de cobre.

En este dominio de modelación se dispone de información meteorológica de superficie y de altura (radiosondeos), así como archivos digitales de terreno con resolución espacial de 30 metros. La Figura 4.1 muestra el área de estudio y en ella la localización de las Fundiciones de cobre del país.



Información de Modelación	
Regiones	11 (Arica y Parinacota hasta La Araucanía)
Comunas	265
Población	14.924.680
Estaciones Meteorológicas	46
Receptores	2.825
Áreas de interés	- Comunas - SNASPE ⁶ - Cultivos

Figura 4.1: Dominio de Modelación considerada en este Estudio

⁶ Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO RECEPTOR

Se sabe que algunos contaminantes primarios y secundarios formados por precursores emitidos por las Fundiciones de Cobre, alcanzan un transporte de cientos de kilómetros, tales como: sulfatos, nitratos, particulado fino, mercurio, entre otros (Ver Anexo A4). Se describe aquí una reseña de las principales localidades de los alrededores de las Fundiciones de Cobre y la relación de éstas con la comunidad (Se presenta en el Anexo A3 una descripción socioeconómica del medio receptor).

Fundición Chuquicamata

Calama, localizada en la Región de Antofagasta, Provincia de El Loa, es considerada como la "Capital Minera de Chile", debido a que la minería es el pilar económico de la ciudad. Calama produce el 22,2% del total nacional de cobre, superando al resto de las comunas cupríferas del país.

Con respecto a su economía, se basa en insumos y servicios ligados a la minería, tales como alojamiento a los trabajadores, diversas industrias y los talleres metalmecánicos que sirven a la minería de azufre y bórax de la frontera, así como a la minería de nitratos del Salar de Atacama, entre otras. El Comercio presenta una alta actividad, aglomerándose diversos locales en el Centro Histórico, entre las avenidas Granaderos y Balmaceda, y el Mall Plaza Calama, el segundo más grande de todo el Norte Grande.

Por otra parte, la agricultura de la zona es de consumo local, siendo los principales cultivos la zanahoria, la betarraga, la cebolla, el ajo, el chuño y la quínoa, provenientes todos estos productos de las comunidades indígenas del interior.

La Comuna Calama posee una población del 149.016 habitantes estimados al año 2012, en la cual también se encuentran integradas las comunidades indígenas tales como: comunidades quechua de Estación San Pedro, Toconce y Cupo; y las comunidades Lickanantai de Taira, Conchi Viejo, Lasana, San Francisco de Chiuchiu, Ayquina-Turi, y Caspana.

Chuquicamata es la mina de cobre a rajo abierto y está avanzado a convertirse en una mina de explotación subterránea, localizada a 15 kilómetros al norte de Calama a 2.870 metros sobre el nivel del mar. Comenzó su explotación industrial en 1915 y hasta el año 2007 albergó un campamento o poblado minero, destinado a acoger a los trabajadores y sus familias.

En términos ambientales, en el año 1991 Chuquicamata fue declarada "zona saturada" de material particulado respirable y dióxido de azufre. El año siguiente, se detectó que la zona tenía altos niveles de arsénico. Estos problemas ambientales, sumado a dificultades con la expansión de la mina (debido al alto precio de los terrenos adyacentes, con excepción del campamento), motivaron que Codelco tomara la decisión entre 1992 y 1997 de trasladar a la población de Chuquicamata, construyéndoles casas en Calama. El traslado de las familias en gran mayoría no ocurriría hasta 2004.

El campamento de Chuquicamata, era el segundo núcleo urbano de la comuna, fue oficialmente cerrado el 1 de septiembre de 2007, habiendo sido trasladada toda su población a conjuntos habitacionales construidos en la capital provincial.

El aspecto positivo de este traslado lo tuvo la ciudad de Calama, ya que se inicio la construcción del Hospital del Cobre Doctor Salvador Allende Gossens, el Mall Calama, el Edificio Corporativo de Codelco, y nuevas poblaciones como Túcnar Huasi, Villa Los Volcanes, Villa Las Leyendas, Villa Los Yacimientos, entre otros. Además de varios proyectos para hermostear Calama, se incluyó el traslado de escuelas y colegios como por ejemplo, la escuela E-34 John Fitzgerald Kennedy, la escuela D-54 República de Chile. Se agregan también la pavimentación de calles, que por años fueron caminos de tierra, es así que en la actualidad se han ido asfaltando y remodelando continuamente la ciudad.

Sin embargo, en el año 2005 según D.S N° 55/2009, se declara zona latente por anhídrido sulfuroso como concentración 24 horas en la zona circundante a la fundición Chuquicamata, dejando sin efecto la declaración de zona saturada por dicho contaminante como concentración en 24 horas y anual establecida en el DS. 185/91 del Ministerio de Minería.

En lo que se refiere a la relación con las comunidades indígenas, la División Codelco Norte es parte del Área de Desarrollo Indígena (ADI) Alto El Loa, constituida por el decreto N° 189 del año 2003, del Ministerio de Planificación. El ADI cuenta con una superficie aproximada de un millón 270 mil hectáreas, con una población aproximada de 1.200 habitantes.

Dentro del ADI existen nueve comunidades indígenas: San Francisco de Chiu-Chiu, Ayquina-Turi, Toconce, Lasana, Cupo, Caspana, Taira, San Pedro Estación y Conchi Viejo. Sus habitantes viven preferentemente en Calama y visitan sus localidades para celebrar diversas festividades, es decir, comparten características urbanas y rurales que la división considera en la relación con ellas.

En la División Codelco Norte existe actividad minera pequeña y artesanal por parte de una asociación indígena quechua. Codelco ha fiscalizado permanentemente estas actividades para evitar riesgos ambientales y de seguridad.

Fundición Altonorte

La Región de Antofagasta tiene una superficie de 126.049 km², representando el 16.7% de la superficie del país, con una población regional es de 493.984 habitantes.

La población urbana asciende a 482.546 habitantes (97,7%) y la rural a 11.438 (2,3%). El índice de ruralidad de la región es el más bajo del país con sólo un 2,3 % de la población, y está representada principalmente por una población de ascendencia indígena, principalmente atacameña, asentada en pueblos que se encuentran entre los 2.000 y 3.600 metros de altitud. Esta es la única población autóctona de tradición milenaria, perteneciente al mundo andino y dedicado esencialmente a la agricultura y el pastoreo.

La actividad económica principal de la región de Antofagasta es la minería, la cual representa, en promedio, más del 57% de la actividad económica regional, llegando incluso a valores cercanos al 65%. Refuerza la vocación minera de esta Región el hecho de que más del 45% del PIB minero del país se genera en ella. Es líder en la producción de cobre, molibdeno, apatita, carbonato y cloruro de litio, nitratos, sulfato de sodio anhídrido y yodo. La producción minera está destinada a la exportación y es desarrollada por grandes empresas privadas y una estatal (CODELCO), con tecnología avanzada y altos niveles de productividad. Es así que, Antofagasta es de características monoexportadora de recursos naturales no renovables (básicamente minerales).

La actividad silvoagropecuaria es poco gravitante en términos regionales debido a la escasez de recursos hídricos y a la calidad de los suelos que son eminentemente salinos de gran aridez. Sin embargo, tiene una gran importancia para las comunidades de los valles y oasis del interior, para los cuales más que una actividad económica es una forma de vida y el establecimiento de una economía de subsistencia.

Las comunidades cercanas a la Fundición Altonorte son; Los residentes de las comunidades de Coloso, Coviefi, Gran Vía, Huáscar, Jardines del Sur y Playa Blanca a las cuales la Fundición ayuda a través de programas de apoyo a la comunidad. Como por ejemplo, Becas Sociales, mediante el cual los desempleados de las comunidades aledañas a la Fundición Altonorte pueden obtener capacitación en las habilidades solicitadas por el mercado laboral local, según fueran identificadas por la comunidad y el Servicio Nacional de Capacitación y Empleo (SENCE).

Fundición Potrerillos

Potrerillos, ubicada en la precordillera de Los Andes a unos 2.800 metros sobre el nivel del mar, era una importante ciudad ligada a la minería, llegó a tener Hospital y en él la primera incubadora, un Club social, la escuela básica N° D-4 y un liceo, una Pulpería, un cine y un centro comercial entre otros. Además la iglesia del campamento fue declarada monumento nacional.

En el año 1998 el Decreto Supremo N° 179 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, aprobó el Plan de Descontaminación del área circundante a la Fundición de Potrerillos estableciendo diversas exigencias a la fuente emisora del sector, siendo las más importantes el cumplimiento, a partir del año 2003, de las normas primarias de calidad del aire por dióxido de azufre y material particulado respirable MP10, un cronograma de reducción de emisiones desde el año 1999 para estos mismos contaminantes, un Plan Operacional de control de episodios críticos y otras exigencias en materia de mediciones, monitoreo y entrega de información de calidad del aire.

Durante el período de elaboración del Plan de Descontaminación CODELCO División Salvador, modernizó su tecnología previstas para la fundición de Potrerillos tales como la implementación del Plan de Manejo y Limpieza de Gases (MALIGAS), la captación de emisiones de dióxido de azufre de los convertidores mediante la instalación de una planta de fabricación de ácido sulfúrico y el reemplazo del horno de reverbero por un horno modificado tipo Teniente.

A pesar de ello, no se logró el objetivo de cumplir con las normas primarias de calidad del aire dentro del área saturada, es así que se inició un proceso de traslado de toda la población de Potrerillos a otras localidades de la región, para convertir la fundición en un establecimiento de acceso restringido sólo a los trabajadores. El proceso de traslado terminó en noviembre del año 1999, donde la totalidad de su población fue localizada en Copiapó, Diego de Almagro y La Serena.

Con respecto a las Comunidades Indígenas, es especial la comunidad Colla, las familias que hoy forman la Comunidad Indígena Colla Diego de Almagro en su mayoría solían habitar en el campamento de Potrerillos. Su asociación fue formalizada tras la promulgación de la Ley Indígena N° 19.253 del año 1993, razón por la cual se conformaron como una comunidad con personalidad jurídica, se realizó antes del cierre del campamento. La división mantiene una estrecha relación con la etnia originaria Colla, que reside en el sector de Agua Dulce, perteneciente a la comuna Diego de Almagro, donde desarrolla sus actividades agrícolas y ganaderas en sectores colindantes a zonas industriales de la división, siendo el más conocido Potrerillos.

En el marco de esta relación, se han ejecutado diversas obras, como el apoyo al abastecimiento de agua a través de la implementación de un sistema de agua potable rural, logrando la instalación de dos estanques surtidores y la instalación de cerca de 20 arranques de agua potable rural.

Desde el año 2009, la división ha apoyado a la etnia a través de la instalación de paneles fotovoltaicos en un proyecto del Fondo de Inversión Social. Durante el año 2010 se ejecutó un proyecto de habilitación de servicios sanitarios, que consideró dos baños compartidos, y cinco baños en casas de la comunidad.

El aporte en infraestructura a esta comunidad contribuye a su promoción cultural, ya que al resolver las dificultades básicas como el acceso al agua, puede desarrollarse y fortalecer su identidad.

Hernán Videla Lira

Copiapó es una comuna y ciudad, capital de la provincia homónima y de la Región de Atacama, con tradición minera desde sus orígenes. Posee una población estimada de 163.866 habitantes estimados al año 2011. Cabe recordar que tras el cierre del Campamento de Potrerillos, familias completas se trasladaron a la ciudad, entre ellas familias pertenecientes a la Comunidad Indígena Colla, las cuales optaron por trasladarse a vivir de forma permanente.

El D.S 255/93 del Ministerio de Agricultura declaró zona saturada por anhídrido sulfuroso, el área circundante a la Fundición Hernán Videla Lira, y el D.S 180/95 del MinSegPres aprueba el Plan de Descontaminación, el cual establece que la Fundición deberá cumplir con las normas de calidad del aire en un plazo de 5 años, para lo cual se establece un cronograma con los límites de emisión permitidos.

Para la Fundición Hernán Videla Lira, el Plan de Descontaminación, consistió en la modificación del proceso productivo mediante la incorporación de mejor tecnología (Eliminación del horno reverbero, construcción segunda Planta de Ácido, entre otros).

En la actualidad se han registrado Episodios de Crisis Ambiental, uno de ellos ocurrido en el mes de Mayo del 2011, se presentó un episodio en el sector de Paipote, producto a los altos niveles de concentración de Dióxido de Azufre (SO_2), alcanzando los niveles 2 y 3 de emergencia ambiental. Esto ocasionó que un total de 25 alumnos y dos profesores de la escuela básica Hernán Márquez Huerta de Paipote resultaron afectados con diversos grados de crisis respiratorias producto de la fuerte emanación de humo de la planta.

Luego de los episodios de contaminación producidos por la Fundición Hernán Videla Lira (ubicada en Paipote), éstas revisaron su plan operacional, el cual será un 10% más restrictivo que el anterior. Recordando que éste depende en gran medida de las condiciones meteorológicas existentes en la zona y las emisiones.

Fundición Ventanas

La Comuna de Puchuncaví se localiza en la región de Valparaíso, limitando con las comunas de Zapallar, Quillota, Quintero, Nogales, y La Cruz, con una superficie de 301 km², posee una población de 12.956 habitantes (Censo 2002).

La comuna se caracteriza por asentamientos de distinta naturaleza que responden por un lado a una forma básica de desplazamiento de la población hacia el área litoral, y por otro, a una actividad agraria singular al interior de la comuna, que ha debido compatibilizar con el desarrollo industrial y el auge de los servicios. Se destaca la interrelación de actividades desarrolladas entre la naturaleza y los poblados, ejemplo de ello son los balnearios y núcleos residenciales de veraneo ubicados en Maitencillo, Horcón y Ventanas que contrastan con el rol agrícola de localidades como La Canela, Los Maquis, San Antonio, entre otros.

En la Actualidad, la parte sur de la comuna de Puchuncaví, se transformó en una zona industrial a partir del complejo conformado por la Fundición y Refinería de Cobre ex ENAMI (ahora CODELCO), la central termoeléctrica AES GENER y el puerto Ventanas (principal embarque para el sector minero). Se destaca además la actividad minera de Costa Esmeralda que se limita hoy a pequeños yacimientos de cuarzo y baritina también situados en la comuna de Puchuncaví. Lamentablemente hay que reconocer que dichas actividades en sus inicios fueron fuertes contaminantes de los campos de la comuna, dañando cultivos y zonas pesqueras.

La comuna de Quintero, localizada al sur de Puchuncaví, posee una superficie de 148 km² y una población de 21.174 habitantes (Censo 2002). Si bien es cierto, la comuna de Quintero tiene en sus recursos naturales el principal pilar para el atractivo turístico, es especial por su extenso litoral y su gran bahía. Su ubicación estratégica en la zona central del país, su posibilidad de crecimiento y sus características naturales influyeron para que el Estado, mediante Decreto N° 106 de 1998 declarara a la bahía de Quintero y sus terrenos aledaños zona de reserva para actividades portuarias.

La Bahía de Quintero cuenta con cuatro puertos: Ventanas, Terminal Oxiquim, Centro Portuario Refinería de Petróleo Concón (R.P.C) y el Centro Portuario del Muelle Asimar.

El D.S. 346/93 del Ministerio de Agricultura, declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado respirable a la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas, en las áreas jurisdiccionales de las comunas Puchuncaví y Quintero, y el D.S. 252/92 del Ministerios de Minería aprueba el año 1993 el Plan de Descontaminación, el cual fija un cronograma de reducción de emisiones para SO₂ y MP 10 en un plazo de 5 años.

En la Fundición Ventanas el PDA, hizo que se implementarán entre el año 1996-1999, medidas tales como: Planta de Ácido Sulfúrico, Horno Eléctrico así como el manejo de los gases de los convertidores y horno eléctrico.

Debido al Plan de Descontaminación, las emisiones han disminuido. Sin embargo, en el año 2011 se han registrado tres episodios de crisis ambiental:

El 23 de Marzo del 2011, los habitantes de La Greda sufrieron un cambio drástico. Una nube tóxica de dióxido de azufre emanó de la división Ventanas de CODELCO tiñendo de gris el cielo. Quien recibió los efectos inmediatos de la toxicidad fue la escuela del mismo nombre de la localidad, que fue clausurada por una semana en medio de cuestionamientos por su ubicación. Sin embargo, Codelco División Ventanas, declara que la empresa no tiene responsabilidad en los problemas sufridos en el recinto educacional cercano a la Fundición y Refinería de la División Ventanas, justificando que la estación de monitoreo ubicada en esta localidad, fiscalizada por la autoridad ambiental, no ha detectado aumentos en las concentraciones de SO₂ (dióxido de azufre), principal gas que es emitido por la fundición.

El 31 de Agosto la Dirección de Comunicaciones de CODELCO División Ventanas entregó mediante un comunicado de prensa su versión de los hechos acontecidos en la comuna de Quintero y sus alrededores. El documento señala que la empresa no tiene responsabilidad en los problemas sufridos en el recinto educacional cercano a la Fundición y Refinería de la División Ventanas; que ocasionó una alarma pública generada por signos de intoxicación de niños de un establecimiento educacional de la ciudad de Quintero. "Es así que la estación de monitoreo ubicada en esta localidad, fiscalizada por la autoridad ambiental, no ha detectado aumentos en las concentraciones de SO₂ (dióxido de azufre), principal gas que es emitido por la fundición", sentencia el documento. Además, el comunicado agrega que "algunos equipos se encuentran en mantención desde el 31 de Agosto en la noche, por lo tanto, la producción y emisión de la fundición es menor a los rangos habituales".

Por último, el documento informa que se está solicitando a la autoridad de la Salud que realice una investigación que determine objetiva y técnicamente el origen de estas emanaciones que ocasionaron tanta molestia y preocupación a la comunidad de Quintero.

El 24 de noviembre volvió a presentarse un episodio de contaminación en la comuna de Puchuncaví. Síntomas de intoxicación por emanaciones afectaron a 31 escolares y 9 adultos en la escuela de La Greda. Al día siguiente del episodio de contaminación, Codelco división Ventanas emitió un comunicado en el que asegura que "las condiciones operacionales se han desarrollado con absoluta normalidad en las últimas 24 horas, sin existir ninguna alteración en las emisiones habituales que generan las operaciones de la fundición".

El Presidente Ejecutivo de Codelco, Diego Hernández, resaltó que la División Ventanas de Codelco luego del incidente operacional del 23 de marzo, ha implementado una serie de iniciativas tendientes a impedir la ocurrencia de eventos como el de principios de año. Además, indicó que se está mejorando los procesos y modificando las prácticas de trabajo, también se están implementando protocolos de análisis de las condiciones meteorológicas, de manera que en función de estas se adopten medidas para disminuir el riesgo.

Fundición Chagres

La comuna de Catemu, se ubica en la Región de Valparaíso a 85 km de Santiago y 95 del Puerto de Valparaíso. Con una población de 12.112 habitantes (Censo 2002) y un superficie de 361,6 km².

En cuanto a las actividades económicas, estas se concentran en el sector de producción primarias como la agricultura y minería. Con respecto a la agricultura casi la totalidad de los sectores de Catemu la mantienen como su actividad económica principal como: el Arrayan (huertos familiares), Santa Margarita, San José, Santa Isabel, Reinoso, el Carmelo, Santa Rosa, los Corrales, San Carlos, y las Varillas. En la producción agrícola destacan cuatro tipos de cultivos⁷: frutales (parronales y naranjos con un 25%); hortalizas (cebollas, tomates, porotos y otros con un 24,2%), alimento para ganado (con un 33,8%), y cultivos industriales (como tabaco y clavelones que suman un 10% de la superficie).

Con respecto a la minería, se encuentran: el Sector de Chagres, relacionada con la fundición Chagres y los primeros asentamientos humanos en esa zona debido a la demanda de mano de obra, en este sector además se desarrollan actividades productivas agrícolas, ganadería destacando la lechería. El Sector el Cobre, que en la actualidad posee pequeña minería y labores agrícolas.

En 1991 el Ministerio de Agricultura mediante el D.S. N°28, señala los procedimientos técnicos y normas que deberán cumplir el Estado, La Compañía Minera Disputadas de las Condes S.A y otras fuentes emisoras, para evitar la contaminación atmosférica por el anhídrido sulfuroso en el área circundante de la Fundición Chagres, principalmente el área agrícola circundante a la Fundición.

Por otra parte, existe una relación de apoyo de la Fundición Chagres a la comunidad en distintos proyectos⁸.

⁷ Ilustre Municipalidad de Catemu, año 2010

⁸ Programa: Forjadores de la Comuna de Catemu; orientado a apoyar el plan de salud anual del Centro de Salud de la comuna en el área de educación comunitaria y premiar las iniciativas de autogestión que mejoran el medio ambiente y promueven el reciclaje / Fondos Concursables Comunales; cuyo objetivo es impulsar la capacidad de asociación y participación ciudadana en las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay. De esta forma se busca promover el desarrollo autónomo de organismos locales en la zona /Certificación Ambiental de Escuelas; promueve espacios de formación medioambiental destinados a alumnos y profesores de centros educativos de la comuna de Llay Llay /Capacitación de Monitores Ambientales; este programa surge como respuesta al alto interés que muestran los grupos comunitarios, quienes son formados en temas medioambientales.

Fundición Caletones

Caletones es un asentamiento minero chileno, ubicado en la precordillera de la región de O'Higgins, localizado a 45 Km. al este de Rancagua, y a 7 Km. al suroeste de Sewell, en la comuna de Machalí. Actualmente alberga a una fundición de la división El Teniente de Codelco.

Emplazada aproximadamente a mil 500 metros sobre el nivel del mar en una explanada en la Cordillera de los Andes, en una zona con profundos valles y quebradas abruptas originadas por el río Coya.

Desde el punto de vista de la actividad silvoagropecuaria, los suelos circundantes a la Fundición de Caletones son de escaso valor, ya que corresponden a un sector cordillerano de tierras áridas y pedregosas, con la excepción de los valles a alturas inferiores a mil 500 metros donde se localizan suelos con aptitud agrícola asociados a sistemas hídricos y también algunos sectores desde los dos mil metros donde existen planicies de relieve suave con predominio de hierbas y gramíneas andinas, siendo el coirón la especie más abundante. Sin embargo en las cercanías de la fundición se encuentra la Reserva Nacional Río Los Cipreses con una superficie de 36.882,5 ha. Creada con el fin de proteger y conservar muestras representativas de la diversidad biológica de la zona y de sus hábitats, Río de los Cipreses alberga especies en peligro de extinción o aquellas que se están tratando de reintroducir. Con respecto a fauna silvestre se puede encontrar: Guanacos, Puma, Zorro Culpeo, Loro Trichahue, Cóndor, Águila, entre otros.

En el año 1992, la División El Teniente de Codelco, instaló una red de monitoreo de la calidad del aire con cinco estaciones ubicadas en Sewell, Colón, Caletones, Coya y Machalí. La información obtenida a través de éstas, llevó que en el año 1994, se declarara zona saturada por dióxido de azufre y material particulado respirable, mediante el Decreto Supremo N°179, el área circundante a la Fundición de Caletones. Debido a la necesidad de captación y manejo de gases metalúrgicos, se implementó un sistema de manejo de gases, basado en el tiraje natural, constituido por campanas, ductos y chimeneas.

En 1998 el D.S. 81 del MinSegPres, establece el Plan de Descontaminación para el área circundante a la Fundición Caletones, en las áreas jurisdiccionales de las comunas de Mostazal, Codegua, Machalí y Requínoa. Para la Fundición la ejecución del Plan consistió en la construcción de dos plantas de limpieza de gases.

4.2.1 INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

El término indicador se define como una "información procesada, generalmente de carácter cuantitativo, que genera una idea clara y accesible sobre una fenómeno mayor y más complejo que lo que muestra el indicador en sí" (20). Desde ese punto de vista, un indicador nos permite tener un parámetro que apunta a proveer información acerca de un estado o fenómeno, haciendo perceptible una tendencia que no es inmediatamente evidente o detectable.

El objetivo de la aplicación de indicadores en las regiones, donde se localizan las Fundiciones de Cobre, es contar con un diagnóstico de la situación actual, en términos de sustentabilidad, equidad, entre otros. Para ello se consideraron tres dimensiones: Social, Económica, y Ambiental. Además de la interacción entre dichas dimensiones.

Se analizaron indicadores regionales, utilizando la información validada de las encuestas aplicadas al Sector por el Ministerio del Medio Ambiente e información oficial como; Censo 2002, proyección de la población al año 2010, y Censo Agropecuario 2007, del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), Producto Interno Bruto (PIB) del Banco Central y Estadísticas de Salud del Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS) del Ministerio de Salud. El detalle de los indicadores aplicados a las regiones se presenta en el Anexo A5.

Con respecto a los indicadores sociales, se obtuvo que la mayor cantidad población se encuentra en la región de Valparaíso alcanzando una densidad poblacional de 106,9 (hab/km²) el año 2010, donde el 63% de la población se encuentra entre los 18 y los 64 años, mientras que la región de Atacama posee una densidad poblacional de 3,7 hab/km². Al observar en términos generales se tiene que entre un 62% y un 64% de la población de las regiones analizadas se encuentran entre los 18 y 64 años (Población Económicamente Activa).

Según los Indicadores de Salud, es la región de Valparaíso la que presenta la mayor cantidad de egresos hospitalarios, lo que concuerda con su mayor densidad poblacional (107 hab/km²) el 41% de los egresos hospitalarios de la región corresponde a población Adulto Mayor, sin embargo es la región de O'Higgins la que presenta el mayor porcentaje de mortalidad (7,2%) en la cual el 42% de los egresos hospitalarios son Adultos Mayores. Con respecto al sistema de previsión entre el 66% y 89% de los egresos de las regiones analizadas se encuentran en el Fondo Nacional de Salud (Fonasa) y de ellos entre un 32% y 51% en el tramo B (afiliados con ingresos impositivos mensuales menores a \$172.000⁹).

Con respecto a los indicadores económicos se obtuvo que el mayor aporte del Sector minero al PIB regional, es en la región de Antofagasta con el 54%. Cabe recordar que el aporte del sector minero no permite definir el aporte específico de las fundiciones de cobre. Por otro lado se observa que la mayor cantidad de toneladas procesadas por cada millón de pesos aportado al PIB se presenta en la región de O'Higgins, donde sólo se localiza la Fundición Caletones (6,13 Ton/M\$ PIB).

⁹ Fondo Nacional de Salud (FONASA)- vigente a partir de 1 Julio 2010.

Por otra parte es la región de O'Higgins la que presenta la mayor superficie cultivada, representando un 12,5% de la superficie nacional, la mayor superficie cultivada es de Maíz con 54.530 ha el año 2011, mientras que la región de Valparaíso posee un 5,84% de la superficie cultivada del país.

Los Indicadores Ambientales, muestran que es la región de Antofagasta la que presenta el mayor porcentaje de Áreas protegidas con respecto al total nacional con 2,5%. Cabe recordar que en esta región se localizan los Parques Nacionales Lullaillaco y Pan de Azúcar y la Reserva Nacional Los Flamencos, esta superficie de Área Protegidas le otorga a la región 0,63 ha de SNASPE/por habitante y las toneladas de SO₂ y As por hectárea de SNASPE más bajas de las regiones analizadas (0,41 y 0,0004 respectivamente). Por otra parte si bien es la región de Valparaíso la que presenta la menor superficie de Áreas Protegidas con 0,02 ha SNASPE por habitante, es la región de O'Higgins la que presenta la mayor cantidad de toneladas de SO₂ y As emitidas por hectárea de SNASPE (2,77 y 0,0043 respectivamente).

Finalmente con respecto a las toneladas emitidas de SO₂ y As por habitante es la región de Atacama la que presenta los mayores valores con 0,31 para el SO₂ y 0,0017 para el As, mientras que al analizar las toneladas emitidas por tonelada de concentrado de cobre procesado en SO₂ la mayor relación la presenta la región de O'Higgins (0,09), mientras que para el As la mayor relación la presenta la región de Antofagasta (0,0005).

4.2.2 SITUACIÓN AMBIENTAL SIN NORMA DE EMISIÓN

Del análisis presentado en el diagnóstico (4.2.1), se infiere que un escenario sin regulación puede producir una serie de efectos ambientales no deseados, tales como:

- Declarar zonas saturadas o latentes por MP2.5
- Elaborar Planes de Descontaminación o Prevención
- Aumentar la probabilidad de ocurrencia de episodios de calidad del aire en localidades cercanas a las Fundiciones (Ej. Como se constata en zonas como ventanas y Hernán Videla Lira)
- La relocalización de poblados o grupos humanos expuestos a los contaminantes emitidos por las fundiciones. Ej. Escuela La Greda
- Mayor carga ambiental de sustancias tóxicas, en distintos medios y receptores
- Dar una señal de no cumplimiento a la implementación de recomendaciones de la OCDE, respecto al desempeño ambiental de las Fundiciones.
- No descartar el aumento de los costos sociales en salud, por ausencia laboral, por ausencia escolar, y en particular la disminución del CI en niños expuestos a sustancias tóxicas.

Lo anterior significa costos para el Estado y para las personas, además de un impacto en la imagen del país.

5. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

Para la estimación de los beneficios de la norma de emisión para Fundiciones de cobre en Chile, se ha seguido la metodología recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), denominada Regulatory Impact Analysis (RIA), la cual es además recomendada por la OCDE para sus países integrantes. En conjunto con lo anterior, se han seguido también, las recomendaciones establecidas en la Guía Metodológica para la elaboración de un análisis general del impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire en Chile, desarrollado por el Ministerio del Medioambiente.

Es así como se establecen tres etapas básicas en la estimación de beneficios asociados a reducciones de emisiones, las que corresponden a i) Identificación de los beneficios, ii) Cuantificación de los beneficios, y iii) Valoración de los beneficios en términos monetarios.

Se reconoce que no todos los impactos asociados a una reducción de emisiones pueden llegar a ser valorados, y en algunos casos ni siquiera llegan a ser cuantificados, no obstante, en estos casos, se realiza una descripción cualitativa de los impactos esperados. Dado lo anterior, se recomienda tener cautela a la hora de interpretar los resultados de **los beneficios, debido que al NO valorizar monetariamente todos los efectos, se estará subestimando los efectos de la aplicación de la norma.**

Para aquellos efectos cuantificables se utiliza el método de la función de daño, con lo cual es posible obtener valores asociados al beneficio de contar con una norma de emisión para Fundiciones de cobre, versus el caso base sin regulación.

La evaluación se realiza al comparar la situación base proyectada (BAU), con la situación esperada al aplicar la norma de emisión para Fundiciones de cobre.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS

La aplicación de una norma de emisión para Fundiciones de cobre, traerá consigo una serie de beneficios directos e indirectos (co-beneficios), los cuales se identifican en esta sección.

Una vez liberadas las emisiones de contaminantes atmosféricos, producto de los procesos asociados a las Fundiciones de cobre, éstas serán transportadas según las condiciones meteorológicas y topográficas de la zona, y estarán sujetas a procesos de difusión, depositación y transformaciones en la atmósfera, dando lugar a concentraciones de contaminantes y tasas de depositación, que impactarán a la población, recursos naturales, y bienes materiales, que se localicen en el área de influencia de dichas fuentes emisoras.

El impacto sobre la población se manifiesta de varias formas, siendo las más relevantes, los efectos adversos sobre la salud, dado que, como se explicó en el Capítulo 3, los contaminantes emitidos por las Fundiciones de cobre, generan efectos adversos sobre el sistema respiratorio, cardiovascular, neurológico, e inmunológico de los seres vivos.

5.1.1 Beneficios sobre la salud

Los efectos en salud humana asociados a la contaminación atmosférica, y que cuentan con evidencia científica son los siguientes:

- Mortalidad (en distintos grupos etáreos)
- Admisiones Hospitalarias causas respiratorias
- Admisiones Hospitalarias causas cardiovasculares
- Visitas a salas de urgencia
- Síntomas respiratorios
- Días ausentismo laboral y escolar
- Días de actividad restringida
- Irritación a los ojos

La futura norma propone establecer restricciones a las emisiones de MP, SO₂, As, y Hg. Sin embargo, se cuenta solo con funciones concentración-respuesta en salud para el MP2.5 y el SO₂. Por lo tanto, sólo para estos contaminantes se cuenta con una valoración monetaria.

La Tabla V.1 muestra los efectos evaluados en términos de los beneficios en salud.

Tabla V. 1 Efectos en salud considerados en la estimación de beneficios

Contaminante	Efecto evaluado	
MP2.5	<ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad total - Mortalidad cardiorespiratoria - Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares (Cardiocongestiva, Disrritmia, Cardioisquémica, Infarto al miocardio) - Admisiones hospitalarias por causas respiratorias (Enfermedad respiratoria crónica, Pneumonia, Asma) - Visita urgencia por enfermedades cardiorespiratorias - Ausentismo laboral - Días de actividad restringida 	Valorado
SO₂	<ul style="list-style-type: none"> - Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares - Admisiones hospitalarias por causas respiratorias 	Valorado
As	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo por Cáncer Pulmonar 	Cuantificado y no valorado

5.1.2 Beneficios sobre el medio ambiente

Sobre el Medioambiente, las emisiones atmosféricas de las Fundiciones de cobre, generan efectos adversos sobre la vegetación, cuerpos de agua, y suelo. La magnitud del efecto sobre la vegetación dependerá de las concentraciones de contaminantes a que estén expuestos, y a las tasas de depositación de contaminantes sobre la vegetación. En los cuerpos de agua, los impactos se manifiestan dependiendo de la depositación de contaminantes los cuales generan efectos asociados a pH (acidificación o basicidad), y en procesos de eutroficación.

Los efectos de las emisiones atmosféricas sobre la vegetación, cuerpos de agua, y suelo, se manifiestan también sobre la productividad agrícola, la cual afecta finalmente los rendimientos agrícolas, y por tanto, afecta los niveles socioeconómicos de los agricultores. Por otro lado, las concentraciones atmosféricas, de gases y partículas producto de las emisiones de las Fundiciones de cobre, generan una reducción de la visibilidad, debido a la dispersión y absorción de la luz, lo cual produce no sólo un impacto en la calidad visual, sino también, en las condiciones de seguridad.

Finalmente, las emisiones de contaminantes generados por las Fundiciones de cobre, pueden depositarse sobre los bienes materiales (monumentos, paredes de edificios y construcciones, etc.), ensuciando dichos bienes, y/o dañándolos al depositarse sustancias ácidas que produzcan corrosión, en cualquier caso, los efectos se manifiestan en una pérdida del valor estético del bien y en los costos de reparación y mantención.

5.1.3 Beneficios sobre los materiales

La contaminación del aire puede también afectar las propiedades físicas y/o químicas de los materiales (corrosión), además de disminuir su valor estético por suciedad. Para proteger los materiales usualmente se incurre en mantenciones que incluyen limpiezas y repintado. De esta forma un beneficio de la norma de emisión de Fundiciones de cobre sería el ahorro (costo evitado) de realizar estas mantenciones periódicas debido a la menor depositación de contaminantes sobre las superficies de estatuas y fachadas de edificios, principalmente.

5.1.4 Beneficios sobre la visibilidad

La contaminación del aire reduce la visibilidad debido a que los gases absorben luz y las partículas dispersan la luz. Por tanto una disminución de la contaminación del aire producto de la norma de Fundiciones de cobre, generará en una mejor visibilidad, lo cual se manifiesta no sólo en un beneficios de calidad escénica de los entornos naturales y artificiales, sino que también en una disminución en el riesgo de accidentes automovilísticos y un estímulo al turismo, entre otros beneficios.

5.1.5 Otros beneficios

Se reconoce que existen otros beneficios asociados a una norma de emisión de Fundiciones de cobre que no se evalúan, debido a que no se cuenta con funciones dosis-respuesta y/o valoración económica.

Entre ellas por ejemplo están los beneficios sobre los ecosistemas acuáticos, humedales, entre otros.

Beneficios sobre ecosistemas acuáticos: Debido a que la disminución de las concentraciones tendrá un efecto positivo en los servicios que ofrecen estos ecosistemas, tales como la pesca, el nado, contemplación de flora y fauna, regulación del ciclo de nutrientes, y la mantención de la diversidad biológica. Estos beneficios están asociados principalmente a una menor depositación de partículas y SO₂ sobre los ecosistemas acuáticos. Los efectos adversos se asocian al cambio en el pH de las aguas y eutrofización (enriquecimiento de nutrientes).

Beneficios sobre humedales: Los efectos de la reducción de la contaminación atmosférica sobre los ecosistemas de humedales son similares a los existentes para los ecosistemas acuáticos: acidificación y eutrofización de los mismos.

Beneficios asociados a una disminución en el riesgo a la salud, debido a la inhalación de gases y partículas generadas por emisiones no controladas de las Fundiciones de cobre, como han sido los casos de las localidades de La Greda, Los Maitenes, Puchuncaví, Tierra Amarilla, entre otros. Al contar con una norma de emisión para las Fundiciones de cobre, se logrará una mayor aceptación social (industria menos riesgosa), lo que redundará en una mejor imagen de este sector industrial.

5.2 CUANTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS

Para estimar los beneficios de un escenario regulatorio, se utilizan varios modelos siendo los más relevantes los que estiman las concentraciones y depositaciones de contaminantes, y las funciones de daño que ligan dichas concentraciones/depositaciones con un efecto específico sobre la salud, la agricultura, la visibilidad, los materiales, etc. La cuantificación se logra al estimar las concentraciones y depositaciones de contaminantes para la situación sin norma (caso Base) y con norma de emisión (Escenario regulatorio). La Figura 5.1 muestra un esquema del sistema de modelación utilizado, donde se destaca el sistema de modelación de concentraciones-depositación-visibilidad denominado CALMET/CALPUFF, sus variables de entrada y salida, así como los subsistemas que lo componen.

5.2.1 Modelación de Calidad del Aire

Para estimar las concentraciones de partículas y gases, primarias y secundarias, producto de las emisiones para el caso Base y los Escenarios de norma de emisión de Fundiciones de cobre, se utilizó el sistema de modelación de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos aprobado por la USEPA¹⁰, denominado CALMET/CALPUFF, el cual ha sido utilizado en diversas evaluaciones en Chile y en extranjero, y en particular en la norma de emisión para termoeléctricas en Chile. Con el sistema CALMET/CALPUFF se estiman las concentraciones de MP10, SO₂, As, Hg, SO₄ (sulfatos), MP2.5, las tasas de depositación de gases y partículas, y la reducción en visibilidad (deciview).

- Sistema CALMET/CALPUFF

El sistema de modelación CALMET/CALPUFF, ha sido recomendado por la USEPA para ser utilizado en situaciones de topografía compleja, en áreas con interfases tierra-agua, y donde exista variación espacial de los campos de viento. Básicamente se compone de tres subsistemas: Un módulo que genera los campos meteorológicos en tres dimensiones denominado CALMET; un módulo de transporte, dispersión y transformación química de contaminantes, denominado CALPUFF, y un módulo de procesamiento de datos denominado CALPOST.

CALPUFF es un modelo tipo puff de estado no-estacionario, multicapa y multiespecies, que puede simular los efectos de varias condiciones meteorológicas sobre el transporte, transformación, difusión, y remoción de contaminantes en la atmósfera. La USEPA ha propuesto el sistema de modelamiento CALPUFF como guía para aplicaciones regulatorias, es decir, para ser aplicado en estudios y evaluaciones ambientales que consideren terrenos complejos, transporte en grandes distancias, y cumplimiento de normas de calidad del aire.

¹⁰ Scire, JS., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, 2000: A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. Earth Tech, Inc, Concord MA.

Scire, JS., E.M. Insley, R.J. Yamartino, 1990: Model formulation and user's guide for the CALMET Meteorological Model. Sigma Research Corp., Concord MA.

La elección de este sistema de modelación radica en que es posible estimar concentraciones y tasas de depositación de gases y partículas primarias y secundarias, así como la reducción en visibilidad. Es además, un modelo recomendado por la USEPA, y está bajo constante desarrollo.

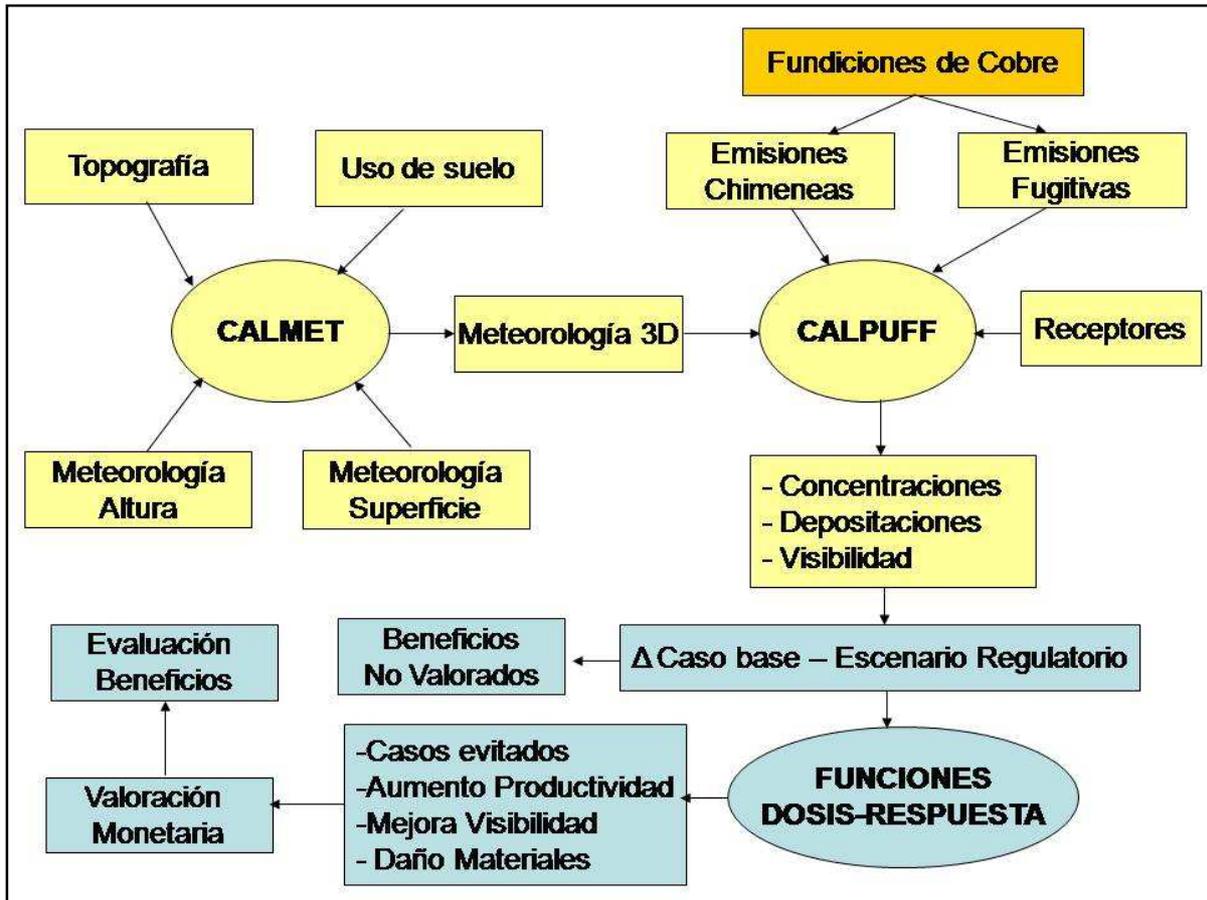


Figura 5.1 Esquema del sistema de Modelación de Beneficios

5.2.2 Beneficios sobre la salud

La aplicación de una norma de emisión para Fundiciones de cobre, en Chile, generará beneficios en salud, producto de la menor exposición a contaminantes que experimentará la población, respecto a la situación sin norma de emisión. Esta mejor calidad del aire que respirará la población, se manifestará a través de la disminución en el número de casos de admisiones hospitalarias y mortalidad prematura, así como en menores días de ausentismo laboral y escolar, por problemas asociados a causas cardiovasculares y respiratorias. Con el número de casos evitados de efectos adversos en salud, se realiza la estimación monetaria, a través del uso de la valoración económica de dichos efectos.

Método de la Función de Daño

Para estimar los efectos en salud debido a un cambio en las concentraciones de contaminantes atmosféricos, se utilizó la metodología basada en la función de daño, la cual requiere de la estimación de la variación en la concentración al aplicar una norma de emisión, y del uso de coeficientes obtenidos de las ecuaciones concentración-respuesta.

Básicamente esta metodología se basa en las siguientes etapas:

- Estimación del cambio de emisiones de contaminantes.
- Estimación del cambio de concentraciones ambientales de los contaminantes que producen efectos en la salud.
- Estimación del cambio en el número de efectos en exceso debido a los cambios en concentraciones ambientales utilizando funciones dosis-respuesta.
- Valoración social del cambio en los efectos en exceso, basado en la disposición a pagar de la sociedad por reducir cada uno de los efectos.

La estimación del número de casos evitados al disminuir las concentraciones producto de una norma de emisión, se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta E_{\delta} = \sum_{i=1}^{N_c} Eo_{\delta} \cdot (e^{\{\beta_{\delta} \cdot \Delta C\}} - 1) \cdot Pop_i \quad \text{Ecuación (1)}$$

- ΔE_{δ} : Número de Efectos tipo δ evitados, debido a la Norma de emisión
 N_c : Número de celdas del área de estudio
 β_{δ} : Coeficiente de Concentración-Respuesta para el efecto δ
 Eo : Tasa de admisión hospitalaria por enfermedad δ
 ΔC : Delta Concentración (Base - Norma) obtenido con Modelo de Dispersión
 Pop_i : Población en celda i

o **Coeficientes Concentración-Respuesta**

Los coeficientes de la ecuación Concentración - Respuesta (betas) utilizados en este trabajo, se obtuvieron de diversos estudios, principalmente de la Guía Metodológica del Ministerio del medioambiente, de la USEPA, y de la ex-CONAMA. Las Tablas V.2 y V.3, muestran los betas por contaminante y causa utilizados en este estudio. Dado que la mortalidad posee el mayor peso en la estimación de beneficios, y que además, existe una gran variabilidad en los coeficientes concentración-respuesta de mortalidad, se utilizaron tres betas para cubrir el rango de beneficios esperados.

Tabla V. 2 Betas de MP2.5 utilizados en la estimación de beneficios

Caso	Causa	Beta	Grupo	Autor, Año
Mortalidad	Todas	0,0148	≥ 25	Laden,2006
	CPM	0,0093	≥ 30	Pope,2004
	Todas	0.0012	Todos	Cifuentes,2000
Admisiones hospitalarias por causas Cardiovasculares	CHF	0.0031	≥ 65	Ito,2003
	DYS	0.0012	≥ 65	Ito,2003
	IHD	0.0014	≥ 65	Ito,2003
	CVD	0.0016	≥ 65	Moolgavkar,2003
	CVD	0.0015	18 - 64	Moolgavkar,2000
Admisiones hospitalarias por causas Respiratorias	CLD	0.0012	≥ 65	Ito,2003
	CLD	0.0024	18 -64	Moolgavkar,2000
	PNEU	0.0040	≥ 65	Ito,2003
	ASTHM	0.0033	0 - 64	Sheppard,2003
Visitas de Urgencia	ASTHM	0.0165	0 - 17	Norris,1999
Ausentismo	WLD	0.0046	18 - 64	Ostro,1987
Actividad Restringida	RAD	0.0048	18 - 64	Ostro,1987

CPM: Cardiopulmonar CHF: Cardiocongestivas DYS: Disrritmias IHD: Cardio-isqueímica
 CVD: Cardiovasculares CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica PNEU: Neumonía ASTHM: Asma
 WLD: Días laborales perdidos RAD: Días de actividad restringida

Tabla V. 3 Betas de SO₂ utilizados en la estimación de beneficios

Caso	Causa	Beta	Grupo	Autor, Año
Morbilidad Cardiovascular	CVD	0.0039(5)	Todos	Conama,2007
Morbilidad Respiratoria	CLD	0.00107(5)	Todos	Conama,2007

CVD: Cardiovasculares CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica

o **Riesgo por Cáncer**

Según la USEPA (1998), la exposición a arsénico vía inhalación, está fuertemente asociada con la generación de cáncer pulmonar. La estimación es que si un individuo estuviese expuesto a una concentración de arsénico de 0,0002 µg/m³, tendría una probabilidad de 1 en un millón de desarrollar un cáncer al pulmón, como resultado directo de estar inhalando esta sustancia tóxica.

Aún cuando el mercurio provoca efectos nocivos para la salud, no existen funciones dosis-respuesta que permitan evaluar el efecto de una reducción de las concentraciones de este contaminante.

5.2.3 Beneficios en Agricultura

La agricultura es una actividad sensible, que se ve afectada por la disponibilidad y calidad del agua, suelo, y aire. La pérdida de productividad agrícola asociada a la mala calidad del aire ha sido estudiada por Spash (Spash 1999) y Bell y Treshow (Bell y Treshow 2002), y el daño se genera no sólo por un producto de menor calidad, sino por un desincentivo a la compra de frutas y verduras que se producen en áreas contaminadas.

La Guía Metodológica para la elaboración de un análisis general del impacto económico y social para instrumentos de gestión de calidad del aire del Ministerio del Medioambiente, recomienda una función de daño para evaluar el cambio en el rendimiento agrícola, debido a exposiciones de SO₂, la cual se obtuvo para la cebada. Dado que no hay funciones de daño para otros cultivos, se utiliza dicha función para todos los cultivos en Chile, siguiendo la recomendación del grupo asesor de la Comisión Europea, denominado ExternE (External cost of Energy). La función de daño se muestra en la Ecuación (2).

$$\Pr = -0,690 * [SO_2] + 9,349 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Pr = Porcentaje de reducción del rendimiento
 $[SO_2]$ = Concentración de SO₂ en ppb

El rendimiento del cultivo (Y) se define como:

$$Y = \frac{(100 - Pr)}{100} \quad \text{Ecuación (3)}$$

El daño marginal viene dada por:

$$\text{Daño}_M \text{arginal} = -0,0069 * ([SO_2]b - [SO_2]m) * \text{precio} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$[SO_2]b$ = Concentración de SO₂ sin aplicar la norma de emisión de Fundiciones
 $[SO_2]m$ = Concentración de SO₂ con medida (con norma de emisión de Fundiciones)
 Precio = Valor del cultivo

5.2.4 Beneficios en Visibilidad

La visibilidad se considera un bien, en relación a la distancia máxima a la cual un objeto puede ser visto, y a que tan bien es posible apreciar el objeto o paisaje. Es así como una mejor visibilidad aumenta la utilidad de las personas. Los beneficios asociados a la mejora en visibilidad consisten en un aumento del valor estético producto del incremento en el valor escénico de ambientes naturales y artificiales, una disminución en el riesgo de accidentes automovilísticos, un estímulo al turismo, entre otros.

Hay una relación entre la visibilidad y la contaminación del aire. La apariencia visual de las emisiones industriales o automovilísticas, o la degradación de una visión panorámica, es una de las características atmosféricas principales, por la cual los individuos perciben la contaminación ambiental (Molenar et al, 1994).

En forma cuantitativa, la visibilidad se representa a través del coeficiente de extinción de la luz, que es una medida de la atenuación de la luz por unidad de distancia, debido a la dispersión y absorción por gases y partículas.

La visibilidad se deteriora cuando la luz es dispersada de la línea de la visual, y por la luz absorbida a lo largo de la visual. El coeficiente de extinción de la luz (b_{ext}) considera la extinción por dispersión (b_{scat}) y la extinción por absorción (b_{abs}).

$$b_{ext} = b_{scat} + b_{abs} \quad \text{Ecuación (5)}$$

La componente de dispersión (b_{scat}) se representa por dos elementos: Dispersión de la luz debido a las moléculas del aire, también conocida como dispersión de Rayleigh ($b_{rayleigh}$), y la dispersión debida a las partículas (b_{part}). Adicionalmente, la dispersión de partículas se puede expresar en sus componentes:

$$b_{part} = b_{SO4} + b_{NO3} + b_{OC} + b_{SOIL} + b_{COARSE} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

- b_{SO4} = Coeficiente de dispersión debido a los sulfatos = $3[(NH_4)_2SO_4]f(RH)$
- b_{NO3} = Coeficiente de dispersión debido a los nitratos = $3[(NH_4)_2NO_3]f(RH)$
- b_{OC} = Coeficiente de dispersión debido a los aerosoles orgánicos = $4[OC]$
- b_{SOIL} = Coeficiente de dispersión debido a las partículas finas = $1[SOIL]$
- b_{Coarse} = Coeficiente de dispersión debido a las partículas gruesas = $0,6[(Gruesas)]$

El término $f(RH)$ es un factor de ajuste por humedad relativa.

La componente de absorción del coeficiente de extinción de la luz, se representa por dos elementos: absorción gaseosa (b_{ag}) y absorción por partículas (b_{ap}). De los gases, el elemento más relevante es el dióxido de nitrógeno, y de las partículas es el carbón elemental.

Las concentraciones de gases y partículas se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los coeficientes en m^2/g , por tanto el coeficiente de extinción (b_{ext}) tiene unidades de $10^{-6}/\text{m}$ (inverso de mega metros).

La unidad de medida de deterioro de la visibilidad, se define como el deciview (dv). El dv se define como:

$$dv = 10 \ln(b_{\text{ext}}/10Mm^{-1}) \quad \text{Ecuación (7)}$$

De acuerdo a la USEPA, existe un deterioro en la visibilidad, cuando el delta-deciview es mayor o igual a 1 dv. De esta forma, se utiliza este umbral para definir una mejora en la calidad visual, si la norma de emisión de Fundiciones de cobre, logra mejorar en al menos 1 dv la visibilidad al comparar los escenarios Sin y Con norma de emisión. La relación entre el rango visual (Km) y los dv es no lineal, por ejemplo: 1 dv = 354 Km y 60 dv = 1 km.

Las concentraciones de partículas finas y gruesas, así como los sulfatos y nitratos, se obtienen de la modelación de calidad del aire, al considerar las emisiones de las Fundiciones de cobre, sin norma (caso Base) y con norma (escenario regulatorio). Para estimar las concentraciones se utiliza el modelo CALPUFF.

5.2.5 Beneficios en Materiales

Para cuantificar el beneficio en la disminución del daño en materiales, debido a la contaminación aérea por acumulación de material particulado sobre fachadas exteriores de viviendas, se utilizan las funciones dosis-respuesta generadas en el estudio de Murray (Murray *et al* 1985), el cual ha sido utilizado en el AGIES del Plan de Descontaminación Atmosférico de la RM. Murray propone dos funciones de daño de concentración para dos tipos de material basado en las características de las pinturas que se utilizan para protegerlas. Estas son:

Concentración sobre madera:

$$\ln(92,5 - Y) = -0,311 + 0,345 \ln(MP) + 0,612 \ln(t) \quad \text{Ecuación (8)}$$

Concentración sobre estuco:

$$\ln(41,8 - Y) = -4,881 + 1,007 \ln(MP) + 0,595 \ln(t) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

Y: porcentaje de reflectancia

MP: es la concentración promedio del total de partículas en suspensión

t: tiempo en meses

Las funciones de daño indicadas en las Ecuaciones (8) y (9), permiten estimar el porcentaje de reflectancia (grado de suciedad) para un determinado nivel de concentración de MP para un cierto período de tiempo. Se requerirá una medida de mantención (repintado), cuando la superficie ha perdido al menos un 30% de reflectancia.

5.3 VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS

5.3.1 Efectos en salud

La Tabla V.4 muestra el valor monetario asociado a cada caso evitado. Estos valores están basados en los recomendados en la Guía del MMA. Estos valores corresponden al año 2009, los cuales deben ser ajustados a los años de evaluación.

Tabla V. 4 Valoración de efectos en salud (UF/caso al año 2009)

Efecto	Causa	Grupo (años)	CM	PP	WTP	Total
Mortalidad	Todas	Todos			8,600 - 31,600	8,600 - 31,600
	CPM	≥ 25			8,600 - 31,600	8,600 - 31,600
Admisión Hospitalaria	CHF	≥ 65	27,4	4,2		31,6
	DYS	≥ 65	43,9	4,1		48,8
	IHD	≥ 65	20,9	3,5		24,4
	CVD	≥ 65	43,9	4,8		48,7
	CVD	18 - 64	45,3	3,6		48,9
	CLD	≥ 65	27,4	4,2		31,6
	CLD	18 - 64	27,4	3,6		31,0
	PNEU	≥ 65	29,4	4,8		34,2
	ASTHM	0 - 64	21,0	3,1		24,1
Visita Urgencia	ASTHM	0 - 17	0,8	0,3		1,1
Días Perdidos	WLD	18 - 64		0,7		0,7
	SLD	4 - 17		0,2		0,2
Actividad Restringida	RAD	18 - 64		0,2		0,2
	MRAD	18 - 64		0,0		0,0

CM: Costos médicos PP: Productividad Perdida WTP: Disponibilidad a pagar
 CPM: Cardiopulmonar CHF: Cardiocongestivas DYS: Disrritmias IHD: Cardio-isquémica
 CVD: Cardiovasculares CLD: Enfermedad Respiratoria Crónica PNEU: Neumonía ASTHM: Asma
 WLD: Días laborales perdidos RAD: Días de actividad restrictiva

Para proyectar los valores a cualquier año de evaluación, se utiliza la Ecuación (10) indicada en la Guía Metodológica para realizar un AGIES que incorpore Análisis Costo-Beneficio del Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2011):

$$Valor_Año_Futuro = Valor_2009 * (1 + TasaCrecimiento_IPC)^{Año_Futuro - 2009}$$

Ecuación (10)

Donde la TasaCrecimiento_IPC corresponde a la tasa de crecimiento del Ingreso per cápita, y está dada por la siguiente ecuación:

$$TasaCrecimiento_IPC = \frac{(1 + TasaCrecimiento_PIB)}{(1 + TasaCrecimiento_Pob)} - 1$$
 Ecuación (11)

Para la tasa de crecimiento del PIB se utilizó el valor de 4,18% y la tasa de crecimiento de la población de 1,013%, lo que da una tasa de crecimiento del ingreso per cápita de 3,14%.

5.3.2 Productividad Agrícola

Los precios de los cultivos se obtienen de los valores recomendados para realizar un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio e incluya una valoración en Agricultura, del Ministerio del Medio Ambiente, los cuales se obtuvieron de la ODEPA. La Tabla V.5 entrega los valores estimados a Diciembre del 2010. Estos valores serán proyectados según los años de evaluación de los beneficios de acuerdo a la Ecuación (10).

Tabla V. 5 Precios de los cultivos (US\$/ton)

Cultivo	Precio (US\$/ton)
Arroz (con cáscara)	521
Arveja verde	848
Cebada cervecera	562
Cebolla de guarda	465
Cebolla temprana	465
Garbanzo	844
Lechuga	654
Lenteja	900
Lupino amargo	636
Lupino australiano	281
Lupino dulce (grano seco)	253
Maíz (grano seco)	164
Papa	272
Poroto consumo interno	844
Poroto de exportación	556
Poroto granado	844
Poroto verde	898
Raps (canola)	345
Remolacha azucarera	70
Sandia	1239
Tabaco	4900
Tomate consumo fresco	1210
Tomate industrial	730
Trigo blanco	280
Trigo candeal	278
Uva de mesa	1420

5.3.3 Mejora de la Visibilidad

La visibilidad es un bien público que tiene un valor positivo en la función de utilidad de los individuos (Sánchez et al, 1999). Para estimar la disponibilidad a pagar (DAP) por una mejora en la visibilidad, se ha utilizado la valoración contingente, que entrega un valor monetario que no se transa en el mercado. En Chile se han realizado varios estudios, siendo el de Sánchez (Sánchez et al, 1999) uno que se aplicó a la evaluación del PPDA de la RM, y que estimó la disponibilidad a pagar para mejorar la contaminación del aire y la visibilidad en Santiago. Otro estudio más actual, de Rizzi (Rizzi et al 2007), estimó la DAP por mejorar en un día la visibilidad en un año. Ambos estudios utilizaron la valoración contingente a través de encuestas, donde se logró obtener un valor monetario para la mejora en visibilidad en Santiago. El valor obtenido por Rizzi et al, se utiliza en este estudio, debido a que la estimación de Sánchez está sobrevalorada por el tipo de pregunta que se realizó en la encuesta (mejora en contaminación del aire y visibilidad). Rizzi et al, obtuvo una estimación de US\$ 0,58 por hogar. Este valor será proyectado según los años de evaluación de los beneficios de acuerdo a la Ecuación (10). Dado que la DAP obtenida por Rizzi et al fue para Santiago, se ha asumido ese valor para las comunas de la RM, y un 50% de dicho valor para el resto de las comunas dentro del área de estudio.

5.3.4 Mejora en materiales

Para estimar los beneficios sobre los materiales, se utilizan los precios por metro cuadrado de repintado de madera y hormigón, así como los precios de lavado de vidrios. Estos valores serán proyectados según los años de evaluación de los beneficios de acuerdo a la Ecuación (10). Ver Tabla V.6

Tabla V. 6 Costos (\$) de repintado y lavado de superficies (m²)

Material	Costo de Mantenición (\$)	
	Casa	Edificio
Madera	2,109	2,109
Hormigón	1,523	2,812
Vidrio	1,816	2,461

Fuente: Universidad de Chile 2002

5.4 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Aún cuando existe una Guía Metodológica para la estimación de beneficios del Ministerio del Medio Ambiente, ésta sólo propone funciones de daño para Salud (Morbilidad sólo MP2.5) y Agricultura (sólo cebada), sin embargo, existen otras funciones de daño y recomendaciones para otros cultivos utilizadas en evaluaciones tanto en Chile como en el extranjero, por tanto, se han estimado los beneficios considerando dos criterios de evaluación, denominados Guía MMA y Consultor.

El criterio del Consultor considera para la estimación de beneficios en Salud y Visibilidad, lo propuesto por la USEPA en todos sus análisis de impacto regulatorio (RIA). Para la Agricultura se considera la propuesta de ExternE (Grupo de Investigación de la Comunidad Europea), y para los daños en materiales, lo utilizado por Conama en la evaluación de los Planes de Descontaminación de la RM.

6. EVALUACIÓN DE BENEFICIOS SEGÚN ESCENARIO REGULATORIO

La evaluación de los beneficios asociados a la norma de emisión para las Fundiciones de cobre, se realizó considerando tres mecanismos. El primero de ellos consistió en determinar el potencial de reducción de emisiones (toneladas reducidas/año) producto de la implementación de la norma de emisión. Este cálculo se realizó para cada contaminante incluido en la norma, y para cada escenario de norma. El segundo mecanismo consistió en estimar a través de una modelación del transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos, la reducción en concentraciones de contaminantes, debido a la norma de emisión, y con ecuaciones concentración-respuesta y daño marginal, se estimó el número de casos evitados en términos de días con actividad restringida, admisiones hospitalarias, mortalidad prematura, pérdida de productividad, daño en materiales, y reducción en visibilidad. Finalmente, con las tasas de depositación de contaminantes, se estimaron las reducciones en toneladas por superficies para diversos cultivos al considerar la norma de emisión, respecto al caso Base (sin norma de emisión).

6.1 POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Considerando el gradualismo en la implementación de la norma de emisión, se aplicaron los dos escenarios de norma (Capítulo 2) en sus distintos tiempos de implementación (T1 = 2012, y T2 = 2014), y se estimaron las reducciones respecto a la situación sin norma de emisión (Base = 2010).

6.1.1 Reducción de Emisiones de Dióxido de Azufre y Arsénico

La Tabla VI.1 muestra las reducciones de emisiones globales por Fundición y por tipo de contaminante, que se tendría respecto al caso base, para cada uno de los escenarios, según tiempo de implementación.

La Tabla VI.2, muestra el porcentaje de reducción de emisión esperado, producto de la aplicación de cada uno de los escenarios normativos, respecto a la situación actual (caso base). En ella se observa que para el Escenario N°1, la Fundición Potrerillos es la que más reduce sus emisiones alcanzado un 69,7% de disminución en las emisiones de SO₂, un 76,3% en las emisiones de As. Por otro lado, la Fundición Chagres es la que menos reduce sus emisiones en este Escenario, debido que el porcentaje de captura actual de SO₂ (95,7%) y As (99,2%) es superior al exigido en el Escenario N°1, sin embargo, debe cumplir sólo la norma en sus chimeneas.

En el Escenario N°2 se mantiene la jerarquía de reducción de emisiones del Escenario N°1, donde la Fundición Potrerillos alcanza un porcentaje de reducción de 75,8% SO₂ y 82,2% As, mientras que la Fundición Chagres disminuye en un 12,5% sus emisiones de SO₂ y en un 25,9% sus emisiones de As.

Las Tablas VI.3 y VI.4 contienen las emisiones resultantes y los porcentajes de captura para SO₂ y As, según escenario y Fundición. Cabe notar que las Fundiciones de Altonorte y Chagres presentan los mayores porcentajes de captura de SO₂ debido a que ambos poseen planta de ácido de doble contacto y que además estas deben cumplir con un límite de emisión de 400 mg/m³N (153 ppm).

Tabla VI. 1 Reducción de Emisiones (Ton/año) Según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1			Escenario 2		
	Tiempos	SO ₂	As	Tiempos	SO ₂	As
Chuquicamata	T1: 2012	36.071	0	2012	36.071	0
	T2: 2014	48.095	0	2014	60.119	0
Altonorte	T1: 2012	1.903	0	2012	1.903	0
	T2: 2014	12.813	0	2014	14.588	13
Potrerillos	T1: 2012	41.542	324	2012	41.542	324
	T2: 2014	45.498	351	2014	49.455	378
Hernán Videla Lira	T1: 2012	9.262	8	2012	9.262	8
	T2: 2014	11.276	9	2014	13.290	10
Ventanas	T1: 2012	503	81	2012	503	81
	T2: 2014	3.017	88	2014	5.532	96
Chagres	T1: 2012	0	0	2012	0	0
	T2: 2014	1.748	0,7	2014	1.748	0,7
Caletones	T1: 2012	64.234	97	2012	64.234	97
	T2: 2014	74.940	118	2014	85.645	139

Tabla VI. 2 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1			Escenario 2		
	Tiempos	SO ₂	As	Tiempos	SO ₂	As
Chuquicamata	2012	33,3%	0,0%	2012	33,3%	0,0%
	2014	44,4%	0,0%	2014	55,6%	0,0%
Altonorte	2012	4,8%	0,0%	2012	4,8%	0,0%
	2014	32,1%	0,0%	2014	36,5%	15,7%
Potrerillos	2012	63,6%	70,4%	2012	63,6%	70,4%
	2014	69,7%	76,3%	2014	75,8%	82,2%
Hernán Videla Lira	2012	43,4%	57,1%	2012	43,4%	57,1%
	2014	52,8%	64,3%	2014	62,3%	71,4%
Ventanas	2012	3,2%	68,6%	2012	3,2%	68,6%
	2014	19,4%	74,6%	2014	35,5%	81,4%
Chagres	2012	0,0%	0,0%	2012	0,0%	0,0%
	2014	12,5%	25,9%	2014	12,5%	25,9%
Caletones	2012	50,0%	48,3%	2012	50,0%	48,3%
	2014	58,3%	58,7%	2014	66,7%	69,2%

Tabla VI. 3 Emisiones y Porcentaje de Captura según Escenario 1

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de	As (Ton/año)			% de
	Globales	Chimeneas	Fugitivas	Captura SO ₂	Globales	Chimeneas	Fugitivas	Captura As
Chuquicamata	60119	13308	46811	95.0%	75	5	70.2	98.8%
Altonorte	27145	18437	8708	95.7%	83	21.0	62.0	96.4%
Potreriillos	19782	1421	18361	95.0%	109	27	81.8	96.0%
Hernán Videla Lira	10068	1611	8457	95.0%	5	4.2	0.8	96.0%
Ventanas	12573	692	11880	95.0%	30	9.9	20.1	96.0%
Chagres	12196	1626	10570	96.2%	2	0.4	1.6	99.5%
Caletones	53528	5027	48502	95.0%	83	22.3	60.7	96.0%

Tabla VI. 4 Emisiones y Porcentaje de Captura según Escenario 2

Fundición	SO ₂ (Ton/año)			% de	As (Ton/año)			% de
	Globales	Chimeneas	Fugitivas	Captura SO ₂	Globales	Chimeneas	Fugitivas	Captura As
Chuquicamata	48095	13308	34787	96.0%	75	4.8	70.2	98.8%
Altonorte	25370	18437	6933	96.0%	70	21.0	49.0	97.0%
Potreriillos	15825	1421	14404	96.0%	82	27.0	54.6	97.0%
Hernán Videla Lira	8054	1611	6444	96.0%	4	2.7	1.0	97.0%
Ventanas	10058	692	9366	96.0%	22	9.9	12.3	97.0%
Chagres	12196	1626	10570	96.2%	2	0.4	1.4	99.5%
Caletones	42823	5027	37796	96.0%	62	22.3	39.9	97.0%

La Figura 6.1 muestra gráficamente las emisiones de SO₂ por Fundición de Cobre, para el caso base y para cada Escenario de norma de emisión. La Figura 6.2 muestra el porcentaje de reducción de SO₂, respecto al caso Base, para cada Fundición. De ellas se observa que se esperan reducciones significativas de SO₂ en las Fundiciones de Chuquicamata, Potreriillos, HVL, y Caletones.

La Figura 6.3 muestra gráficamente las emisiones de As por Fundición de Cobre, para el caso base y para cada Escenario de norma de emisión. La Figura 6.4 muestra el porcentaje de reducción de As, respecto al caso Base, para cada Fundición. De ellas se observa que se esperan reducciones significativas de arsénico en las Fundiciones de Potreriillos, HVL, Ventanas, y Caletones.

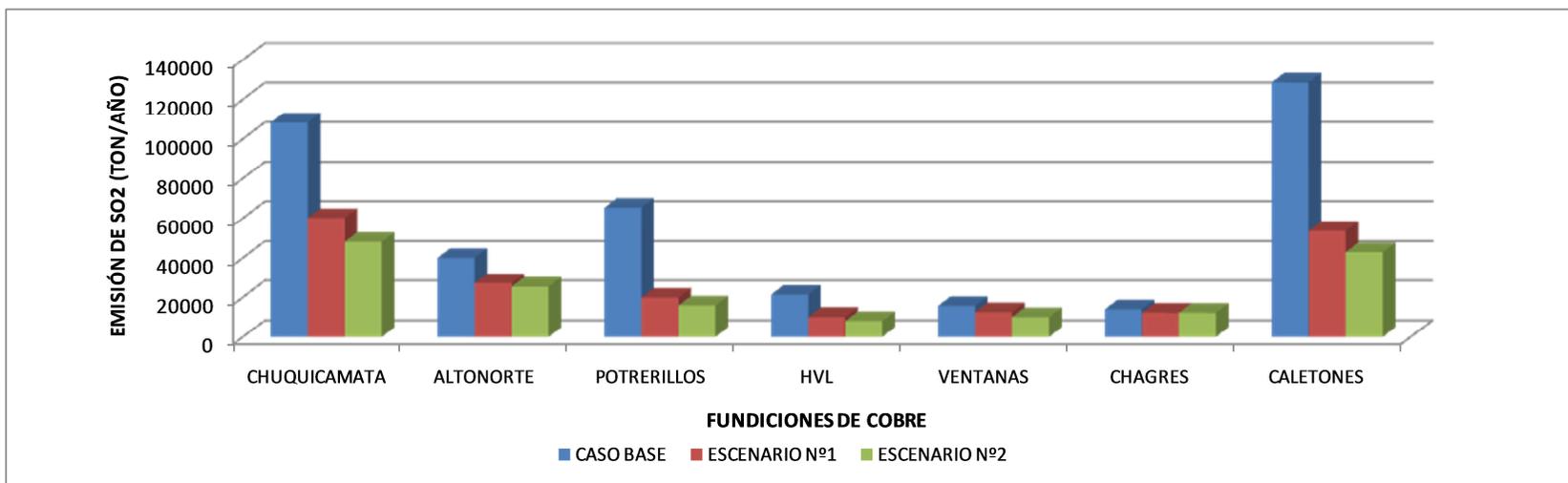


Figura 6.1 Emisiones de SO₂ Caso Base y Escenarios Regulatorios

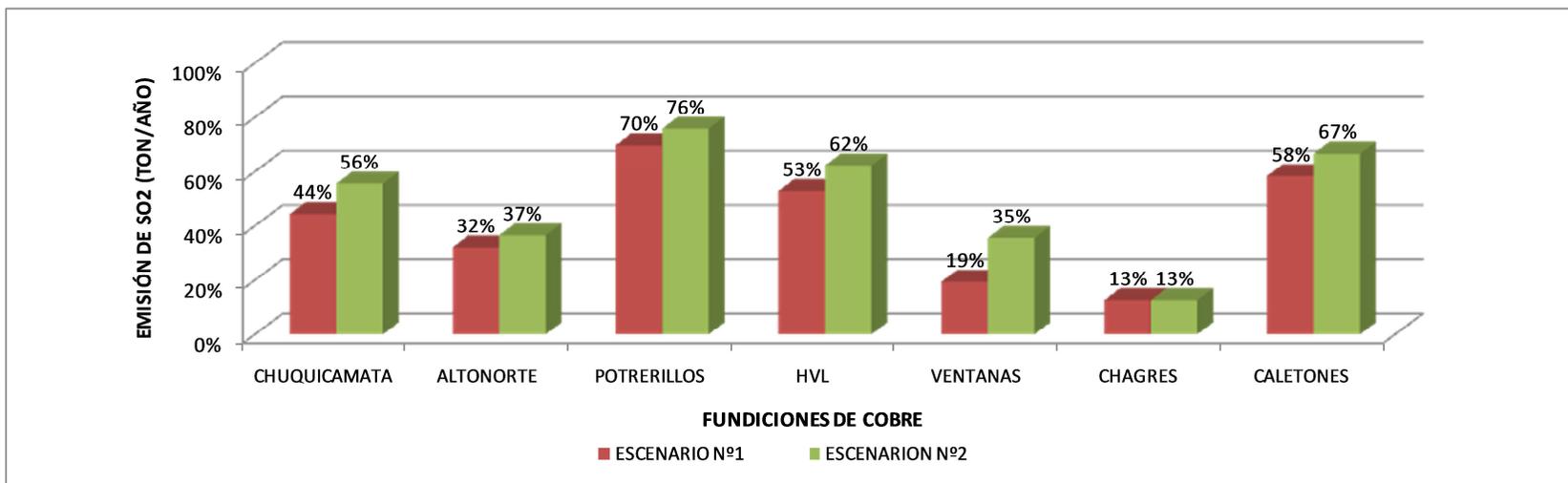


Figura 6.2 Potencial de Reducción de Emisiones de SO₂ de cada Escenario Regulatorio respecto a caso Base

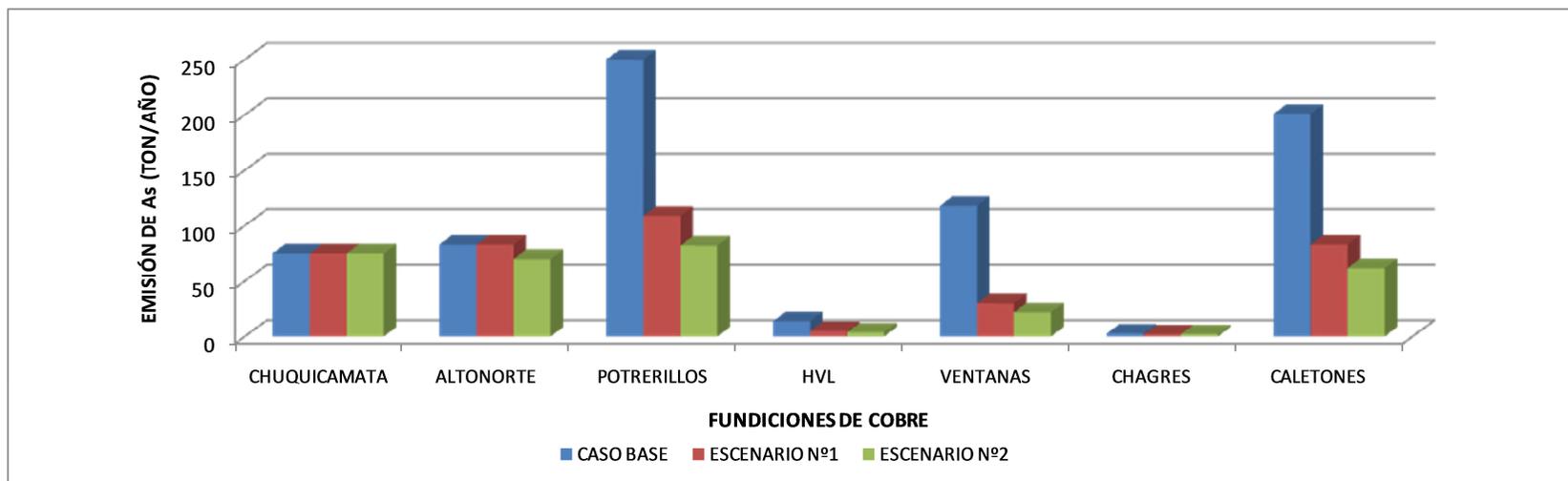


Figura 6.3 Emisiones de As Caso Base y Escenarios Regulatorios

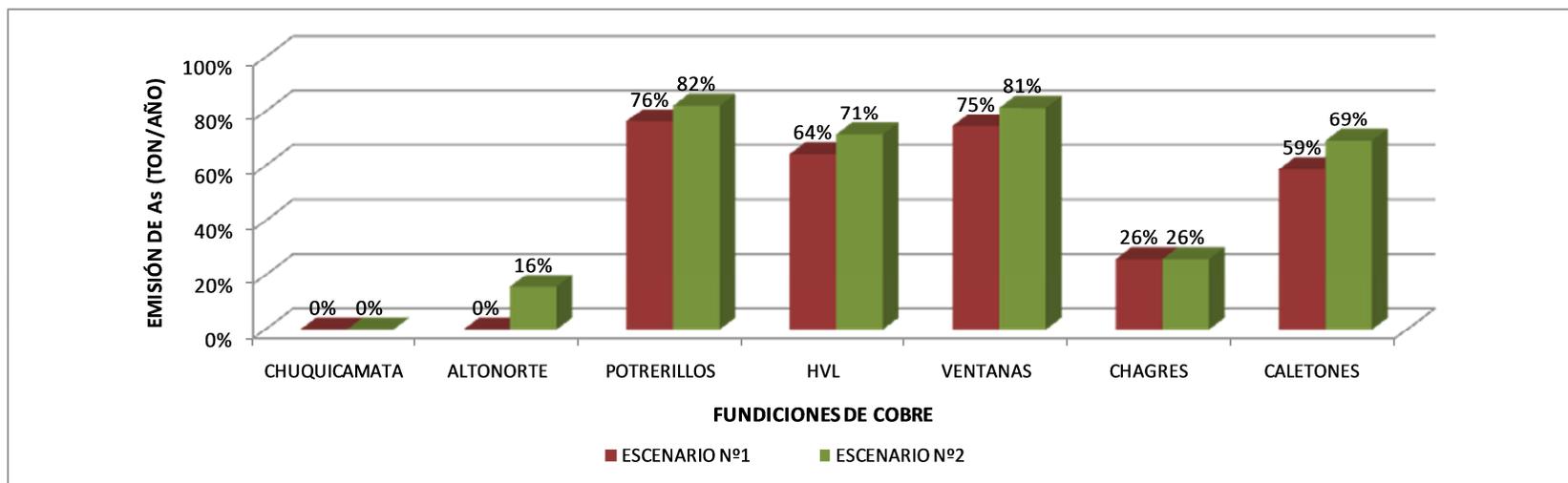


Figura 6.4 Potencial de Reducción de Emisiones de As según Escenario Regulatorio respecto al caso Base

6.1.2 Emisiones de Material Particulado (MP) y Mercurio (Hg)

La Tabla VI.5 muestra las reducciones de emisiones por Fundición y por tipo de contaminante, que se tendría para cada uno de los escenarios según tiempo de implementación. Cabe notar que no hay reducción para el Hg, debido a que las emisiones actuales son menores a las que se esperarían al aplicar el valor de la norma propuesta.

La Tabla VI.6, muestra el porcentaje de reducción de emisión esperado, producto de la aplicación de cada uno de los escenarios normativos, respecto a la situación actual (caso base). En ella se observa que para el Escenario 1 y 2, las Fundiciones Potrerillos, Ventanas, y Hernán Videla Lira reducen sus emisiones de MP, en un 25%, 14% y un 1% respectivamente. La reducción de emisiones no varía entre un escenario y otro, debido a que la reducción se debe al cumplimiento del límite por Chimenea, para la limpieza de escoria ($50\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$) que es igual para ambos escenarios.

Con respecto a las emisiones de Hg, destaca que para ambos escenarios los límites impuestos para las chimeneas de la o las Plantas de Ácido ($0,07\text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$) y Limpieza de Escoria ($0,1\text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$) se encuentran sobre los valores de emisión estimados, por éste motivo el porcentaje de reducción es 0%.

Tabla VI. 5 Reducción de Emisiones (Ton/año) Según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1		Escenario 2	
	Tiempos	MP	Tiempos	MP
Chuquicamata	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	0	2014	0
Altonorte	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	0	2014	0
Potrerrillos	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	989	2014	989
Hernán Videla Lira	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	8	2014	8
Ventanas	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	57	2014	57
Chagres	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	0	2014	0
Caletones	T1: 2012	0	2012	0
	T2: 2014	0	2014	0

Tabla VI. 6 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario Regulatorio

Fundición	Escenario 1		Escenario 2	
	Tiempos	MP	Tiempos	MP
Chuquicamata	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	0,0%	2014	0,0%
Altonorte	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	0,0%	2014	0,0%
Potrerrillos	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	25,4%	2014	25,4%
Hernán Videla Lira	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	1,3%	2014	1,3%
Ventanas	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	14,1%	2014	14,1%
Chagres	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	0,0%	2014	0,0%
Caletones	2012	0,0%	2012	0,0%
	2014	0,0%	2014	0,0%

6.1.3 Reducción Global de Emisiones

La Tabla VI.7 muestra el total de emisiones, por tipo de contaminante para el caso base y para cada Escenario, según tiempo de implementación. La Tabla VI.8 muestra el porcentaje de reducción de emisión esperado, producto de la aplicación de cada uno de los escenarios normativos. En ella se observa que en el Escenario N°1 las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 50,3%, 59,5% y 10,4%, respectivamente. Cabe destacar que la mayor reducción para SO₂ y As se logra en el T1.

En el Escenario N° 2, se observa que las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 58,7%, 66,8% y 10,4%, respectivamente. Cabe destacar que la diferencia de emisiones de SO₂ esperadas entre el Escenario N°1 y Escenario N°2 (32,990 ton/año) equivalen al total de emisiones que en la actualidad emiten en conjunto las Fundiciones de Hernán Videla Lira y Chagres (35,288 ton/año), ó Ventanas y Chagres (29,534 ton/año).

Para ambos escenarios las emisiones de MP se reducen el mismo porcentaje, debido a que la norma considera limitar las emisiones de MP sólo por chimenea Limpieza de Escoria. Con respecto a las emisiones de Hg presentan un porcentaje de reducción de 0% debido a que los límites impuestos para las chimeneas de la o las Plantas de Ácido (0,07 mg/m³N) y Limpieza de Escoria (0,1 mg/m³N) se encuentran sobre los valores de emisión estimados.

Tabla VI. 7 Emisiones Esperada (Ton/año) Según Escenario Regulatorio

ESCENARIO	Tiempos	SO ₂	As	MP	Hg
SIN NORMA	Base: 2010	392.798	954	10.106	10,4
Escenario N°1	T1: 2012	239.283	444	10.106	10,4
	T2: 2014	195.411	386	9.052	10,4
Escenario N°2	T1: 2012	239.283	444	10.106	10,4
	T2: 2014	162.421	317	9.052	10,4

Tabla VI. 8 Porcentaje de Reducción de Emisiones según Escenario regulatorio

ESCENARIO	Tiempos	SO ₂	As	MP	Hg
Escenario N°1	2012	39,1%	53,5%	0,0%	0,0%
	2014	50,3%	59,5%	10,4%	0,0%
Escenario N°2	2012	39,1%	53,5%	0,0%	0,0%
	2014	58,7%	66,8%	10,4%	0,0%

6.2 REDUCCIÓN EN CONCENTRACIONES

Con las emisiones del caso Base y para cada Escenario regulatorio, se corrió el sistema de modelación CALMET/CALPUFF, con el cual se estimaron las concentraciones de SO₂, As, MP, MP2.5, y Hg. El Anexo A.6 muestra la validación de la modelación meteorológica y de calidad del aire.

Las Figuras 6.5, 6.6, y 6.7, muestran la distribución espacial de las reducciones de concentraciones de SO₂, As, MP2.5 anuales, entre el caso Base y los Escenarios 1 y 2, respectivamente.

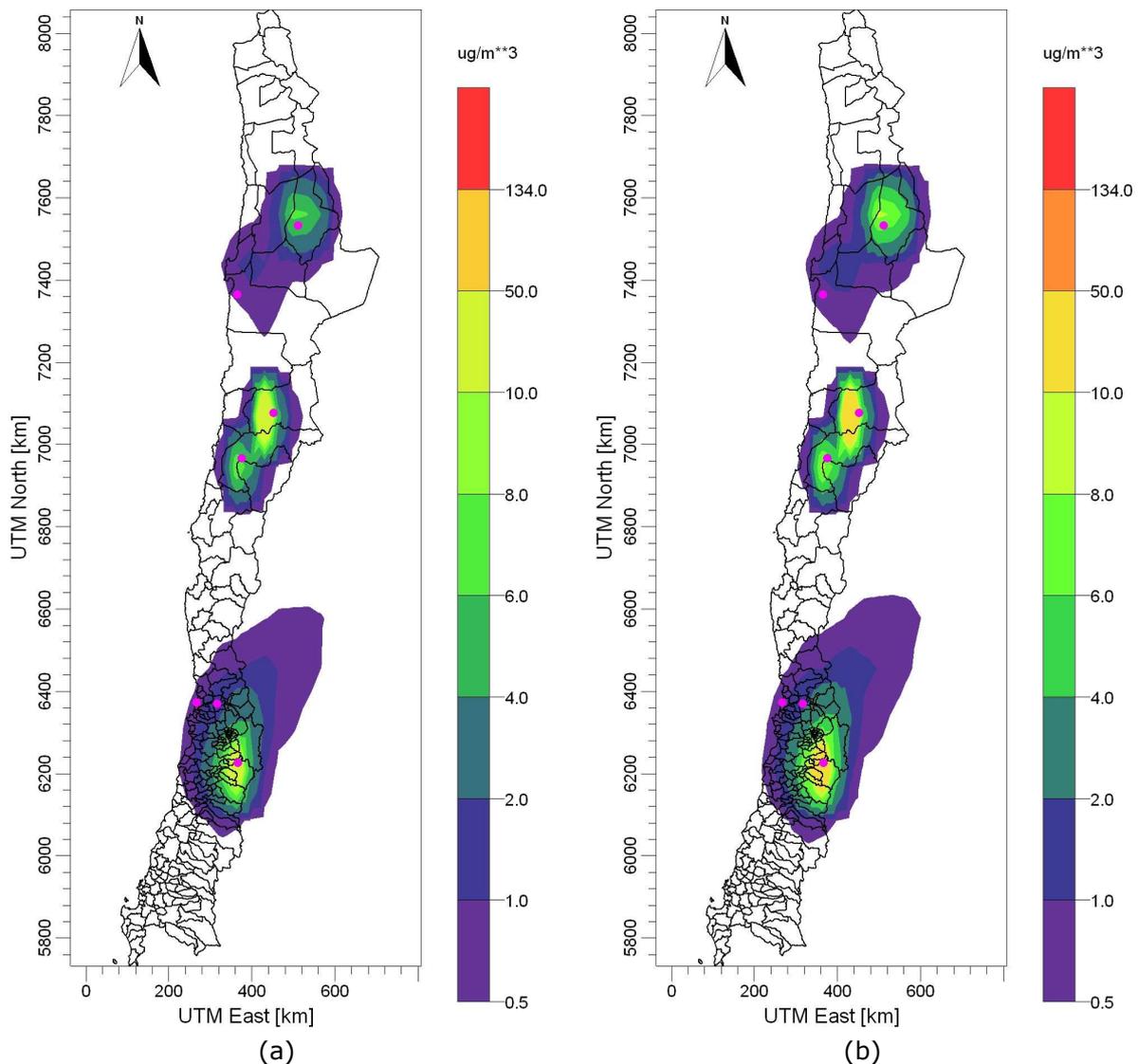


Figura 6.5 Distribución Espacial de la diferencia de las concentraciones anuales de SO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Caso Base – Escenarios)
a) Caso Base – E1 b) Caso base – E2

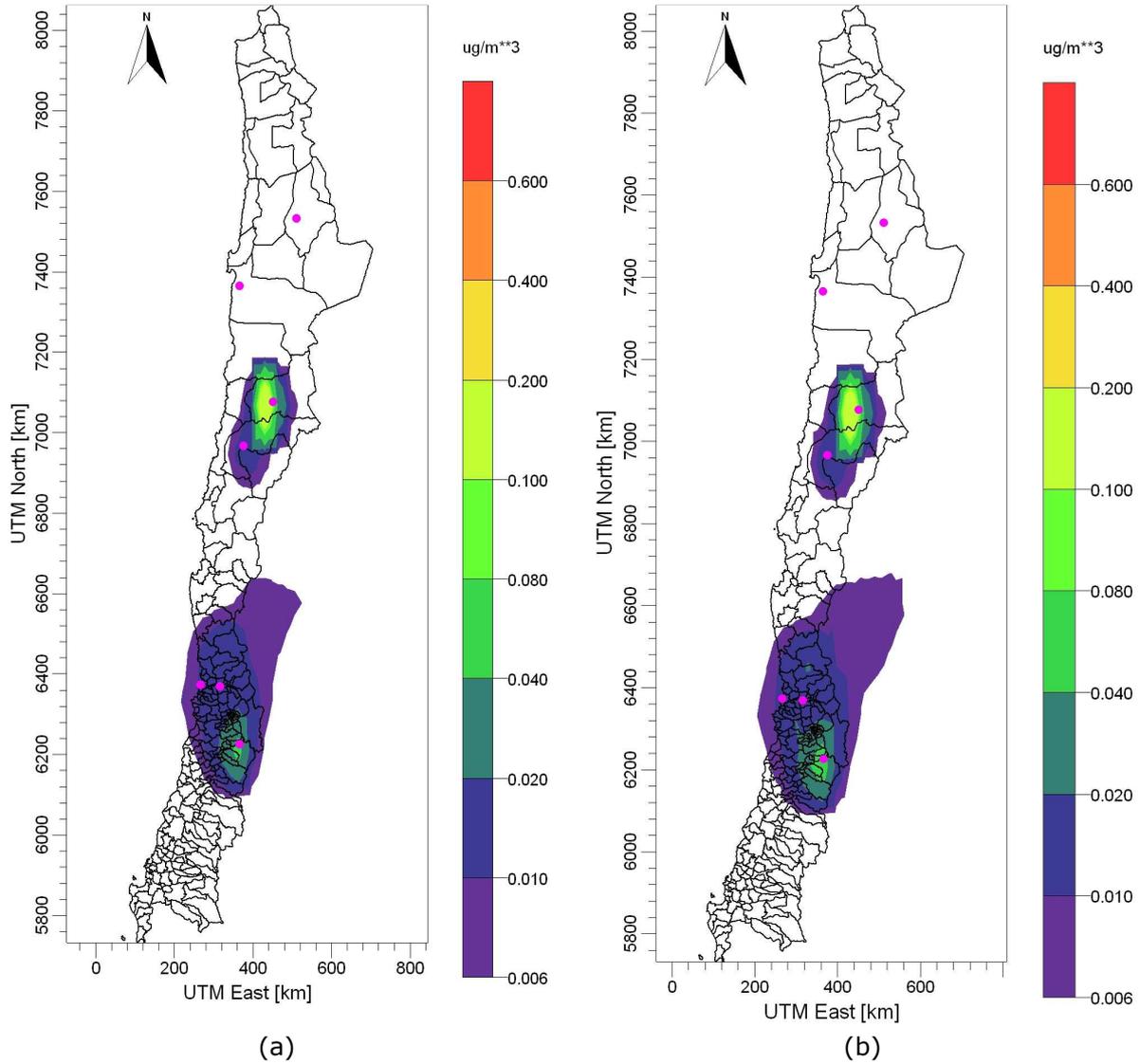


Figura 6.6 Distribución Espacial de la diferencia de las concentraciones anuales de As en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Caso Base - Escenarios)
a) Caso Base - E1 b) Caso base - E2

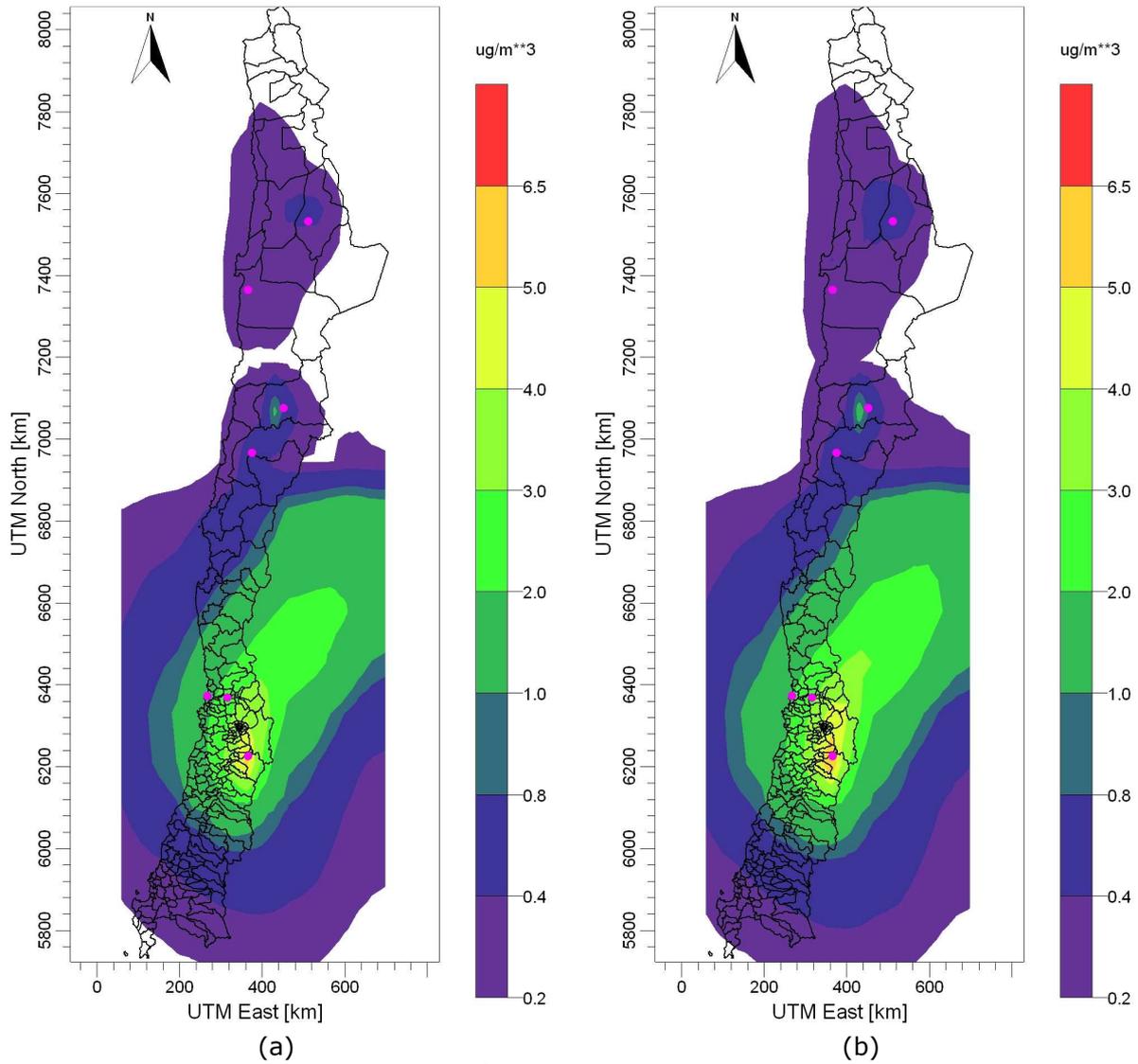


Figura 6.7 Distribución espacial de la diferencia de las concentraciones anuales de MP2.5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Caso Base – Escenarios)
a) Caso Base – E1 b) Caso base – E2

6.3 BENEFICIOS EN SALUD

Con las diferencias de concentraciones de SO₂ y MP2.5 y las ecuaciones de dosis-respuesta (Ecuación 1 del Capítulo 5) se estimó el número de casos evitados de mortalidad y morbilidad para cada Escenario regulatorio.

Para considerar la incertidumbre en la estimación de beneficios, se utilizaron dos criterios de evaluación:

- El primero de ellos corresponde a la recomendación entregada en la Guía Metodológica para la elaboración de AGIES del Ministerio del Medio Ambiente (5), que considera para mortalidad los betas de Cifuentes, 2000 y Pope, 2004 y en morbilidad sólo los efectos causados por la exposición al MP2,5.
- El segundo criterio corresponde al propuesto por el Consultor, que considera los betas de Pope 2004 y Laden 2006 (24-33) utilizados por la USEPA en la estimación de beneficios de todos sus Análisis de Impacto Regulatorio (RIA), y en morbilidad los efectos causados por la exposición al MP2,5 y SO₂.

Los casos considerados son los presentados en la Tabla V.2. Betas de MP2.5 utilizados en la estimación de beneficios

Las Tablas VI.9 y VI.10, resumen el número de muertes evitadas anualmente al considerar la reducción de emisión en el Escenario 1 y 2, respectivamente.

Tabla VI. 9 Número de casos evitados de Mortalidad al año para Escenario 1

Número de casos evitados de Mortalidad al año	Criterios de Evaluación			
	GUÍA MMA		CONSULTOR	
	Cifuentes 2000	Pope 2004	Pope 2004	Laden 2006
Escenario 1	76	282	282	913

Tabla VI. 10 Número de casos evitados de Mortalidad al año para Escenario 2

Número de casos evitados de Mortalidad al año	Criterios de Evaluación			
	GUÍA MMA		CONSULTOR	
	Cifuentes 2000	Pope 2004	Pope 2004	Laden 2006
Escenario 2	88	322	322	1.047

Las Tablas VI.11 y VI.12, resumen el número de casos de morbilidad evitados por Región, para el Escenario 1 y 2, respectivamente.

Tabla VI. 11 Número de casos evitados de Morbilidad al año para Escenario 1

Número de casos evitados de Morbilidad	Contaminantes	
	MP2.5	SO ₂
Escenario 1	865	1.153

Tabla VI. 12 Número de casos evitados de Morbilidad al año para Escenario 2

Número de casos evitados de Morbilidad	Contaminantes	
	MP2.5	SO ₂
Escenario 2	987	1.355

Las Tablas VI.12 y VI.13 resumen el número de casos evitados de ausentismo laboral por Región, para el Escenario 1 y 2, respectivamente.

Tabla VI. 13 Número de casos evitados de Ausentismo laboral al año para Escenario 1

Número de casos evitados de ausentismo laboral	Contaminantes
	MP2.5
Escenario 1	200.381

Tabla VI. 14 Número de casos evitados de Ausentismo laboral al año para Escenario 2

Número de casos evitados de ausentismo laboral	Contaminantes
	MP2.5
Escenario 2	228.989

Las Tablas VI.15 y VI.16 resumen el número de casos evitados por actividad restrictiva para el Escenario 1 y 2, respectivamente.

Tabla VI. 15 Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año para Escenario 1

Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año	Contaminantes
Total	727.904

Tabla VI. 16 Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año para Escenario 2

Número de casos evitados de Actividad Restrictiva al año	Contaminantes
Total	831.831

La Tabla VI.17 muestra el número de casos evitados al año de Cáncer por inhalación de arsénico, según escenario regulatorio. De ella se observa que en el área de influencia de las Fundiciones de Cobre, se evitan 868 casos de Cáncer al año, al considerar el Escenario 1; y 1.065 casos al año si se implementa el Escenario 2 de regulación.

Tabla VI. 17 Casos evitados de Cáncer por As según Escenario Regulatorio

Casos evitados de Cáncer por As	Escenario N°1 (95% SO ₂ y 96%As)	Escenario N°2 (96% SO ₂ y 97%As)
Total	868	1.065

Con el número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, en conjunto con la valoración monetaria de cada caso (ver Tabla V.4), se obtiene el beneficio asociado a los efectos en salud de los distintos Escenarios regulatorios.

La valoración de beneficios se presenta en millones de dólares anuales en sus rangos mínimo y máximo. Las Tablas VI.18 y VI.19 resumen este cálculo, para cada escenario de beneficios.

Tabla VI. 18 Valoración de beneficios por mortalidad y morbilidad evitada según Escenario regulatorio

Beneficios	Valor 2014 (MillUSD/año)	
	GUÍA MMA	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad ¹	34-125	39-142
Mortalidad ²	124-457	142-522
Morbilidad ³	1,6	1,8
Ausentismo	7,2	8,2
Actividad Restrictiva	7,5	8,5
Total Beneficios¹	50-141	57-161
Total Beneficios²	140-473	161-541

1.-Cifuentes,2000
 2.-Pope,2004
 3.-Considera sólo morbilidad por MP2,5- Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de calidad del aire, MMA 2011

Tabla VI. 19 Valoración de beneficios por mortalidad y morbilidad evitada según Escenario regulatorio

Beneficios	Valor 2014 (MillUSD/año)	
	CONSULTOR	
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Mortalidad ¹	402-1.477	461-1.692
Mortalidad ²	124-457	142-522
Morbilidad ³	4,4	5,1
Ausentismo	7,2	8,2
Actividad Restrictiva	7,5	8,5
Total Beneficios¹	421-1.496	482-1.714
Total Beneficios²	143-476	164-544

1.-Laden, 2006
 2.-Pope, 2004
 3.- Considera morbilidad por MP2,5 y SO₂

La Tabla VI.20 muestra de los beneficios desagregados según sistema de previsión, lo cual permite visualizar los beneficios distributivos. De ella se observa que Fonasa concentra los mayores beneficios.

Tabla VI. 20 Valoración Beneficios por Morbilidad anual evitada según Escenarios

BENEFICIOS POR MORBILIDAD SEGÚN PREVISIÓN		Escenario N°1 (95% SO ₂ y 96 As%)	Escenario N°2 (96% SO ₂ y 97 As%)
		MillUS\$/año	MillUS\$/año
MP2.5	Fonasa	1,14	1,30
	Isapre	0,13	0,15
	Otro	0,26	0,29
	Particular	0,04	0,04
	Total	1,57	1,79
SO₂	Fonasa	1,92	2,26
	Isapre	0,35	0,41
	Otro	0,47	0,55
	Particular	0,08	0,09
	Total	2,81	3,31
Total		4,38	5,09

6.4 BENEFICIOS EN AGRICULTURA

Con las diferencias de concentraciones de SO₂ y la ecuación de daño marginal asociado a la productividad de los cultivos (Ecuación 4 del Capítulo 5) se estimó el beneficio en términos monetarios de un aumento en la productividad por disminución de las concentraciones de SO₂ asociados a la norma de emisión de Fundiciones de cobre en sus dos Escenarios. Se consideran dos Criterios de Evaluación ("Guía MMA" y "Consultor"). El primero considera sólo la Cebada, mientras que el segundo todos los cultivos que se presentan en la Tabla VI.19, siguiendo la recomendación del grupo ExterneE. Para esto se utilizó la información sobre productividad de cultivos por comuna obtenido del Censo Agropecuario 2007.

La Tabla VI.21 entrega la producción en toneladas al año, por tipo de cultivo en toda el área de modelación.

Tabla VI. 21 Producción por Cultivo

Cultivo	Producción (Ton/año)
Arroz (con cáscara)	109.569
Arveja verde	16.348
Cebada cervecera	38.764
Cebolla de guarda	189.455
Cebolla temprana	89.861
Garbanzo	2.627
Lechuga	86.094
Lenteja	662
Lupino amargo	3.408
Lupino australiano	10.963
Lupino dulce (grano seco)	14.447
Maíz (grano seco)	1.114.423
Papa	370.506
Poroto consumo interno	16.076
Poroto de exportación	2.391
Poroto granado	20.130
Poroto verde	22.600
Raps (canola)	35.845
Remolacha azucarera	1.440.749
Sandia	115.995
Tabaco	8.341
Tomate consumo fresco	455.780
Tomate industrial	314.888
Trigo blanco	754.984
Trigo candeal	47.407
Uva de mesa	588.537

La Tabla VI.22 resume la valoración de los beneficios en agricultura. De ella se desprende que los beneficios que se obtienen por la Cebada son los más bajos, mientras que los mayores beneficios se obtienen por la Uva de mesa, debido a su cantidad de producción y precio del cultivo. La categoría "otros" contiene los cultivos arroz, papas, garbanzos, lechugas, lentejas, porotos, remolacha, tabaco, sandías y cebollas. Al analizar los beneficios espacialmente, se obtuvo que los mayores valores se obtienen en la región de O'Higgins, seguido por la RM, y Valparaíso.

Tabla VI. 22 Beneficios en Agricultura, según Escenario regulatorio

Cultivo	Escenario N°1 (95% S02 y 96 As%)		Escenario N°2 (96% S02 y 97 As%)	
	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año	GUÍA MMA MillUS\$/año	CONSULTOR MillUS\$/año
Cebada	0,002	0,002	0.003	0,003
Trigo	No Considera	0,1	No Considera	0,2
Uva de Mesa		7,2		8,5
Maíz		1,3		1,6
Tomate		4,3		5,1
Otros		3,4		4,0
Total		0,002		16

6.5 BENEFICIOS EN VISIBILIDAD

El modelo CALPUFF entrega para cada comuna y para cada Escenario de norma, el delta deciview (Dv), que corresponde a la mejora de la visibilidad respecto al caso Base (sin norma de emisión).

De este análisis se obtuvo el número de días de buena visibilidad asociado a cada lugar (comuna), y al utilizar el valor de la disponibilidad a pagar (DAP) por hogar, se obtiene la valoración de este beneficio (ver 5.3.3). Cabe notar que el valor de DAP se obtuvo para Santiago, por tanto se asume un 50% de este valor, para el resto de las regiones.

La Tabla VI.23 resume la valoración por una mejora en la visibilidad por región, para cada Escenario de norma de emisión de Fundiciones de cobre. En ella se observa que los mayores beneficios se presentan en la regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins. La Figura 6.8 presenta el diferencial de deciview entre Caso Base y los Escenarios 1 y 2.

Tabla VI. 23 Beneficios por mejora en visibilidad

Región	Beneficio Anual (MillUSD/año)	
	CONSULTOR	
	Escenario 1	Escenario 2
Total	0,04	1,6

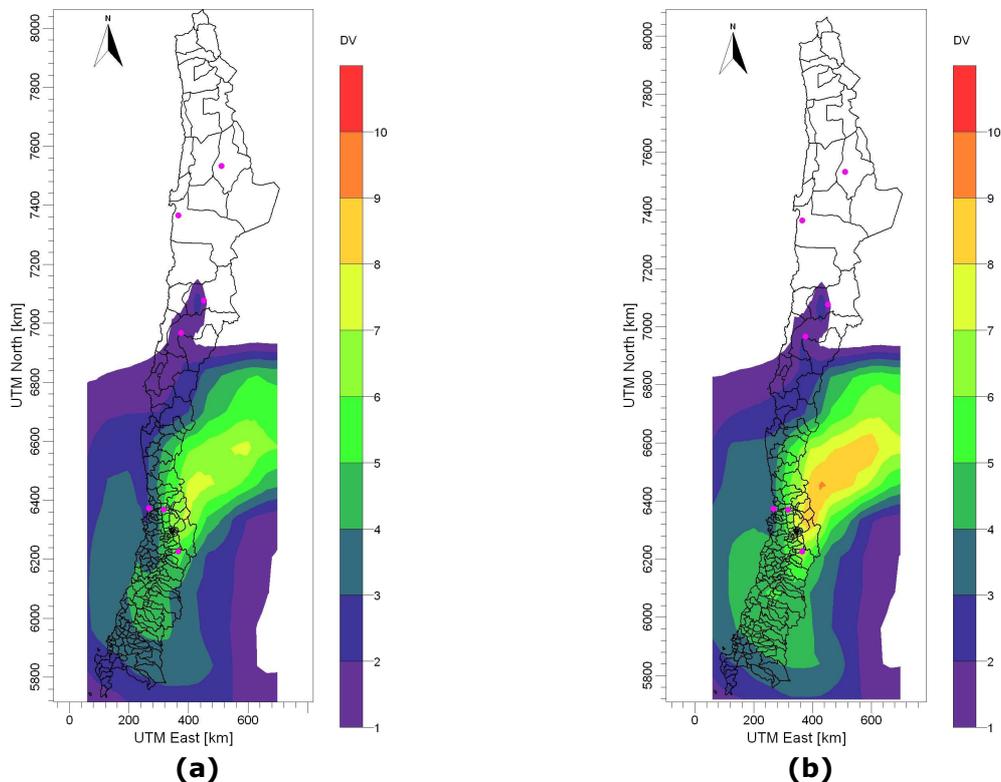


Figura 6.8 Diferencia de Dv (Caso Base – Escenarios)
a) Caso Base – E1 b) Caso base – E2

6.6 BENEFICIOS EN MATERIALES

Con las concentraciones de MP2,5 asociadas al caso Base y cada Escenario regulatorio, se estimaron los porcentajes de reflectancia, encontrándose que estos no superaban el 30% considerado significativo para realizar la mantención (repintado), por tanto, no se obtuvo beneficios en materiales asociados a la norma de emisión de Fundiciones de Cobre.

6.7 EVALUACIÓN MONETARIA DE LOS BENEFICIOS

Con las estimaciones de beneficios en salud y agricultura, se calculó el VAN para un período de 25 años con una tasa social del 6% como indica el Ministerios de Desarrollo Social, para cada Escenario regulatorio. Las Tablas VI.24 y VI.25 resumen esta información al considerar el criterio de la Guía MMA y del Consultor, respectivamente.

De la Tabla VI.24 (Guía MMA) se desprende que los beneficios actualizados del Escenario 2, en el caso más conservador (es decir, usando beta de mortalidad de Cifuentes, 2000), serían entre 117 y 328 millones de dólares mayor al Escenario 1. Por otro lado al utilizar el beta de mortalidad de Pope, 2004, las diferencias entre el Escenario 1 y Escenario 2 serían entre 331 y 1.110 millones de dólares.

De la Tabla VI.25 (Criterio Consultor) se desprende que los beneficios actualizados del Escenario 2, en el caso más conservador (es decir, usando beta de mortalidad de Pope, 2004), serían entre 391 y 1.170 millones de dólares mayor al Escenario 1. Por otro lado, al utilizar el beta de mortalidad de Laden, 2006, las diferencias entre el Escenario 1 y Escenario 2 serían entre 1.054 y 3.606 millones de dólares.

Tabla VI. 24 VAN (MillUS\$) de los Beneficios según Escenario Regulatorio

Beneficios	VAN EN MILLONES DE USD ⁵	
	CRITERIO GUÍA MMA	
	Escenario 1	Escenario 2
Mortalidad ¹	606-2.226	684-2.515
Mortalidad ²	2.214-8.135	2.506-9.206
Morbilidad ³	29	32
Ausentismo Laboral	132	150
Actividad Restrictiva	137	155
Rendimiento Agrícola ⁴	0,03	0,04
Total Beneficios¹	904-2.524	1.021-2.852
Total Beneficios²	2.512-8.433	2.843-9.543

1.-Beta Cifuentes 2000
2.-Beta Pope 2004
3.-Considera sólo morbilidad por causa de MP2,5
4.-Considera sólo Cebada
5.- Tasa Social 6% , Año de Evaluación 2014

Tabla VI. 25 VAN (MillUS\$) de los Beneficios según Escenario Regulatorio

Beneficios	VAN EN MILLONES DE USD ⁶	
	CRITERIO CONSULTOR	
	Escenario 1	Escenario 2
Mortalidad ¹	7.164-26.324	8.119-29.831
Mortalidad ²	2.214-8.135	2.506-9.206
Morbilidad ³	81	93
Ausentismo Laboral	132	150
Actividad Restrictiva	137	155
Rendimiento Agrícola ⁴	243	275
Mejora en Visibilidad	1	20
Materiales ⁵	0	0
Total Beneficios¹	7.758-26.918	8.812-30.524
Total Beneficios²	2.808-8.729	3.199-9.899

1.-Beta Laden 2006
2.-Beta Pope 2004
3.-Considera Morbilidad causada por MP2,5 y SO₂
4.- Considera todos los Cultivos (Uva de mesa, maíz, arroz, huertas familiares, poroto de exportación, etc.)
5.- Reflectancia es marginal para ser valorada
6.- Tasa Social 6%, Año de Evaluación 2014

6.7.1 Beneficio por tonelada reducida

Se determinó un índice que da cuenta de los beneficios por tonelada reducida de SO₂, debido a que la reducción de SO₂ (precursor de MP2.5) genera beneficios en mortalidad (MP2.5), agricultura, y visibilidad. Al respecto, se obtuvo que:

El Escenario 1 reporta según criterio de la Guía del Ministerio del Medio Ambiente y criterio del consultor:

- Guía MMA:
 - 180 a 640 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Cifuentes, 2000)
 - 637 a 2.321 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
- Consultor:
 - 735 - 2.419 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
 - 2.143 - 7.591 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Laden, 2006)

El Escenario 2 reporta según criterio de la Guía del Ministerio del Medio Ambiente y criterio del consultor:

- Guía MMA
 - 176 - 626 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Cifuentes, 2000)
 - 625-2.275 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
- Consultor
 - 730 - 2.380 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Pope, 2004)
 - 2.112 - 7.459 millones de dólares por tonelada de SO₂ reducida (utilizando el beta recomendado por Laden, 2006)

6.8 BENEFICIOS NO VALORADOS

Al existir una norma de emisión de contaminantes atmosféricos para las Fundiciones de Cobre, se generarán otros beneficios que no es posible de valorar. Es así como se producirán beneficios sobre los recursos naturales pues se reducirá la cantidad de materia particulada y gases que se depositarían en la vegetación. En Chile existen dos normas de calidad del aire secundaria, destinadas a proteger los recursos silvoagropecuarios. Una de ellas es el DS N° 22/2009 del MINSEGPRES, que establece los valores máximos permisibles de concentraciones de SO₂, aplicable a todo el territorio de la República, sin embargo, con valores distintos para la zona norte y sur del país. La otra norma es el DS N° 4/1992 del Ministerio de Agricultura, el cual establece los valores máximos de material particulado sedimentable, y es aplicable sólo para la Cuenca del Huasco.

Por tal motivo, los beneficios de una norma de emisión de fundiciones de cobre sobre los recursos naturales, se estimaron a través de la reducción en las concentraciones de SO₂, y en la reducción en la depositación de materia particulada.

A través de la cartografía de usos de suelo de Chile, se seleccionaron aquellas áreas con recursos naturales (8,57 millones de Ha), desagregados en cinco grupos: 3,3 millones de Ha de Terrenos Agrícolas, 0,5 millones de Ha de Bosque Nativo, 2,2 millones de Ha de Plantaciones, 1,0 millones de Ha de Praderas, y 1.5 millones de Ha de Renovales. La Figura 6.9 muestra la distribución porcentual de suelos, considerados en el área de modelación.

La Figura 6.10 muestra la distribución de usos de suelo para la zona norte (desde la Región de Arica y Parinacota a la Región de Coquimbo), y central-sur (desde la Región de Valparaíso a la Región de La Araucanía) desagregando por terrenos agrícolas, bosque nativo, plantación, praderas, renovales.

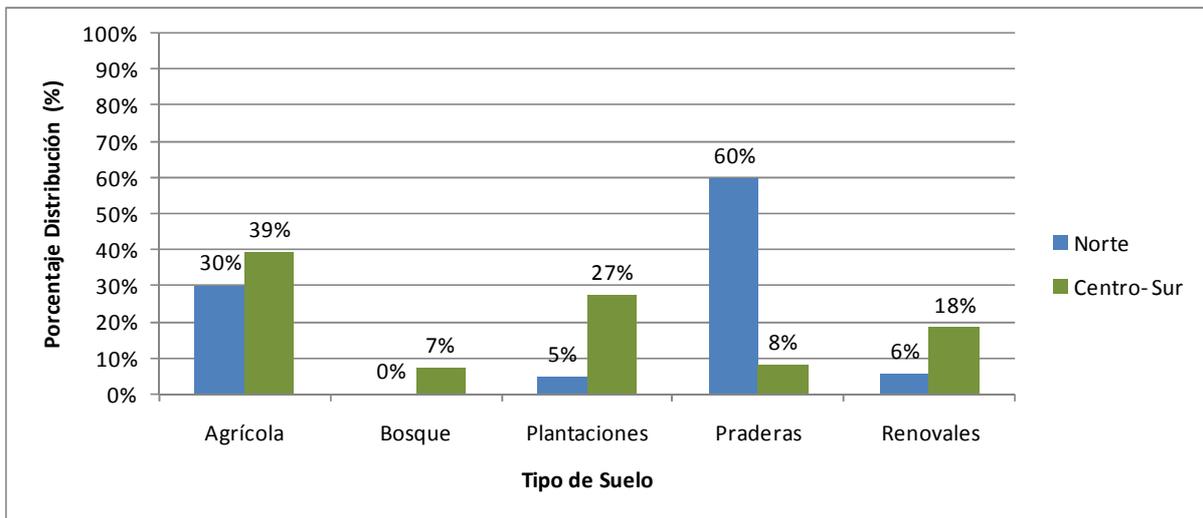


Figura 6.9 Distribución de superficie por tipos de suelo.

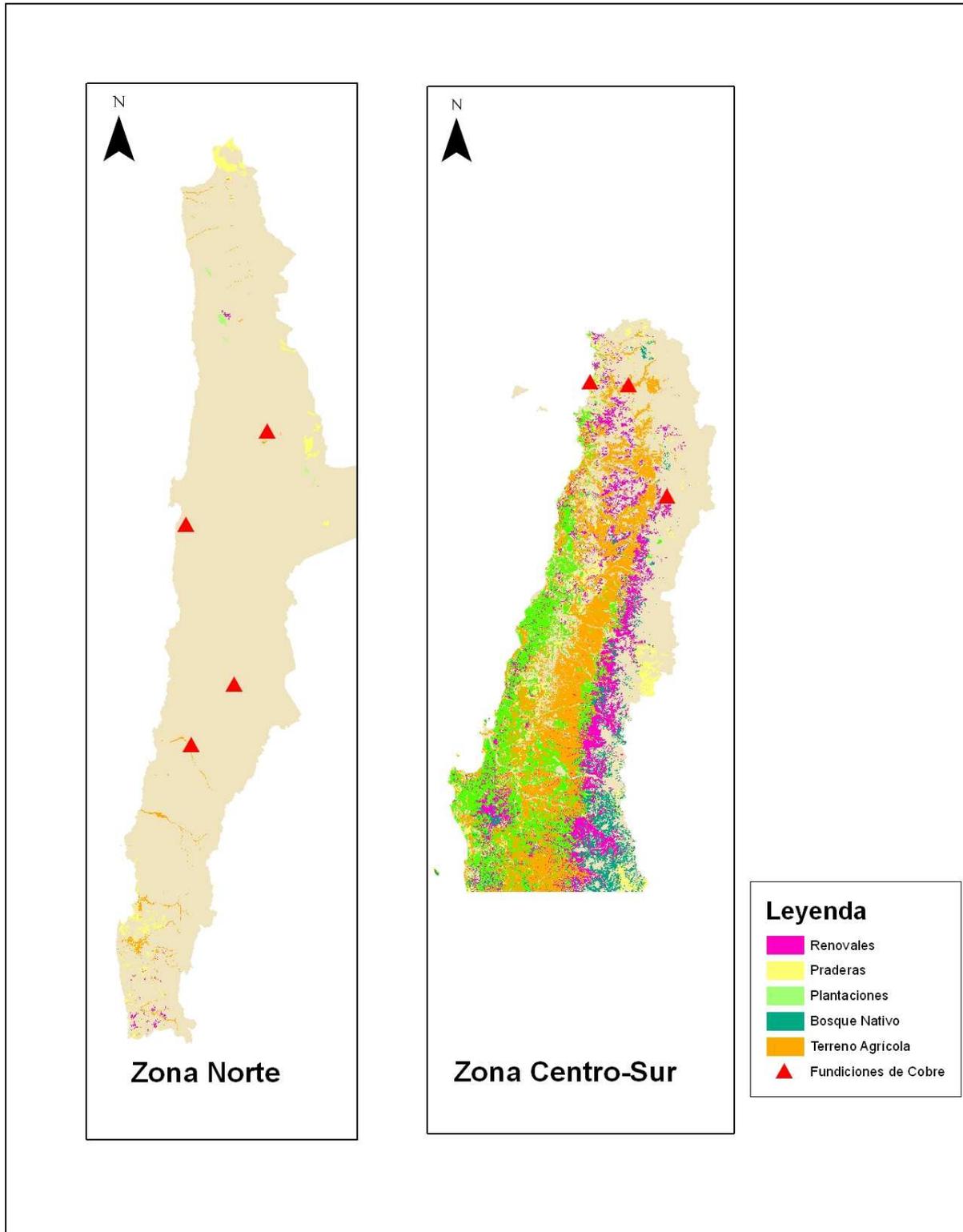


Figura 6.10 Usos de Suelos Área de Modelación

6.8.1 Reducción de las Concentraciones de SO₂

Con el modelo CALMET/CALPUFF, se estimaron las concentraciones de SO₂ para los Escenario 1 y 2. La Tabla VI.27 muestra el detalle de la concentración evitada de SO₂ (promedio y máxima) por tipo de uso de suelo y zona del país, para cada uno de los Escenarios de Regulación. La Tabla VI.28 muestra el porcentaje con respecto a norma de SO₂ secundaria.

Los resultados indican que para ambos escenarios, los mayores beneficios se obtienen en la zona central, especialmente en las praderas y bosques. Lo anterior, se debe a que tres de las Fundiciones de Cobre del país entre ellas Caletones se ubican en esta zona.

Tabla VI. 26 Concentración de SO₂ Evitada (µg/m³N) por Escenario Regulatorio

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Concentración SO ₂ Evitada (µg/m ³ N)			
			Promedio anual		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Norte	Agrícola	208.309	0,32	0,37	19,38	26,32
	Bosque	194	0,13	0,14	0,36	0,42
	Plantaciones	33.433	0,22	0,25	0,79	1,01
	Praderas	413.938	0,15	0,17	2,41	3,01
	Renovales	38.440	0,30	0,35	19,38	0,69
Central	Agrícola	2.543.846	2,95	3,42	28,95	34,15
	Bosque	341.470	5,80	6,85	30,08	35,59
	Plantaciones	1.728.560	1,25	1,48	27,02	31,64
	Praderas	498.499	3,46	4,06	33,57	39,62
	Renovales	1.207.135	3,22	3,78	30,37	35,90
Sur	Agrícola	548.799	0,02	0,02	0,04	0,04
	Bosque	212.887	0,03	0,03	0,03	0,04
	Plantaciones	424.695	0,02	0,02	0,03	0,04
	Praderas	134.926	0,02	0,02	0,04	0,04
	Renovales	238.393	0,02	0,02	0,04	0,04
Total	Agrícola	3.300.954	3,30	3,82	28,95	34,15
	Bosque	554.551	5,96	7,02	30,08	35,59
	Plantaciones	2.186.688	1,49	1,75	27,02	31,64
	Praderas	1.047.363	3,63	4,25	33,57	39,62
	Renovales	1.483.968	3,55	4,16	30,37	35,90

Tabla VI. 27 Porcentaje de Reducción con respecto a la Norma (60 µg/m³N) por Escenario Regulatorio

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Porcentaje de Reducción(%)			
			Promedio		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Norte	Agrícola	208.309	0,5%	0,6%	32,3%	43,9%
	Bosque	194	0,2%	0,2%	0,6%	0,7%
	Plantaciones	33.433	0,4%	0,4%	1,3%	1,7%
	Praderas	413.938	0,2%	0,3%	4,0%	5,0%
	Renovales	38.440	0,5%	0,6%	32,3%	1,2%
Central	Agrícola	2.543.846	4,9%	5,7%	48,3%	56,9%
	Bosque	341.470	9,7%	11,4%	50,1%	59,3%
	Plantaciones	1.728.560	2,1%	2,5%	45,0%	52,7%
	Praderas	498.499	5,8%	6,8%	55,9%	66,0%
	Renovales	1.207.135	5,4%	6,3%	50,6%	59,8%
Sur	Agrícola	548.799	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
	Bosque	212.887	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
	Plantaciones	424.695	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
	Praderas	134.926	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
	Renovales	238.393	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
Total	Agrícola	3.300.954	5,5%	6,4%	48,3%	56,9%
	Bosque	554.551	9,9%	11,7%	50,1%	59,3%
	Plantaciones	2.186.688	2,5%	2,9%	45,0%	52,7%
	Praderas	1.047.363	6,0%	7,1%	55,9%	66,0%
	Renovales	1.483.968	5,9%	6,9%	50,6%	59,8%

6.8.2 Depositación de Material Particulado

Las emisiones de las fundiciones de cobre provocan un daño sobre la vegetación y por tanto se estimó la depositación de materia particulada, formada por MP, SO₄, NO₃, As, y Hg, para todo el área de modelación, a fin de evaluar el beneficio de la norma de emisión de fundiciones de cobre, en términos de la reducción de material particulado sedimentable sobre los recursos naturales.

La Tabla VI.29 muestra el detalle de la Depositación de MP Evitada (ton/año), (promedio y máxima) por tipo de uso de suelo y zona del país, para cada uno de los Escenarios de Regulación. Los resultados indican que para ambos los escenarios, los mayores beneficios se obtienen en la zona central, especialmente en el sector agrícola, sector de gran desarrollo en la zona Central del país.

Tabla VI. 28 Depositación de MP Evitada (ton/año) por Escenario Regulatorio

Zona	Tipo de Suelo	Área (ha)	Depositación MP (Ton/Año)			
			Promedio		Máximo	
			Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Norte	Agrícola	208.309	5	5	127	158
	Bosque	194	0,003	0,003	0,005	0,006
	Plantaciones	33.433	1	1	6	7
	Praderas	413.938	11	13	221	273
	Renovales	38.440	1	1	2	3
Central	Agrícola	2.543.846	151	172	505	568
	Bosque	341.470	26	30	65	73
	Plantaciones	1.728.560	74	84	330	371
	Praderas	498.499	31	36	98	111
	Renovales	1.207.135	78	89	237	267
Sur	Agrícola	548.799	2	2	3	3
	Bosque	212.887	1	1	1	1
	Plantaciones	424.695	2	2	2	3
	Praderas	134.926	1	1	1	1
	Renovales	238.393	1	1	1	2
Total	Agrícola	3.300.954	281	321	2009	2506
	Bosque	554.551	53	61	105	119
	Plantaciones	2.186.688	170	196	418	479
	Praderas	1.047.363	98	113	559	691
	Renovales	1.483.968	137	157	291	328

7. CONCLUSIONES

En el marco del Programa Estratégico de Normas, se inició el proceso para dictar la norma de emisión para Fundiciones de Cobre en Chile. De esta manera, el presente estudio contiene la evaluación de los beneficios sociales que generará la futura norma de emisión. En particular se evalúan dos escenarios regulatorios y un escenario intermedio que permita comprender y decidir sobre la gradualidad de aplicación de la norma. Los escenarios son un insumo para formular el anteproyecto de norma de emisión para el sector.

La regulación contempla dos escenarios, los cuales se dividen en dos partes; Escenario 1 captura de un 95% SO₂, un 96% de As, y el Escenario 2 captura de un 96% SO₂, un 97% de As. Además de la captura global, se consideran límites en chimeneas de los procesos unitarios relevantes.

- De las emisiones y fuentes de información

En Chile existen siete fundiciones de cobre, cinco de ellas corresponden a empresas estatales. Chuquicamata, Potrerillos, Ventanas y Caletones pertenecen a CODELCO, y Hernán Videla Lira a ENAMI. Las dos fundiciones restantes pertenecen a empresas privadas, Altonorte a Xstrata y Chagres a Angloamerican.

Para conocer y establecer el año base, se elaboró junto a COCHILCO y el MMA una encuesta la cual fue aplicada y respondida por el sector a regular.

De los resultados de la encuesta se pudo conocer información sobre las instalaciones y operaciones emisoras relevantes, las horas de funcionamiento, el combustible utilizado, el abastecimiento histórico y actual de los concentrados, la emisión de contaminantes, y parámetros de emisión, como alturas y diámetro de chimeneas, velocidad de salida de los gases y temperatura de los gases.

Se consideró el año 2010 como año Base. Para este año, todas las fundiciones de cobre entregaron información acerca de sus emisiones de azufre y arsénico. Sin embargo, sólo cuatro de siete fundiciones, entregó información sobre emisiones de material particulado.

En términos de emisiones por chimeneas la información más completa fue entregada por la fundición Altonorte, mientras que la fundición de Caletones fue la que dispuso de menor información, declarando sólo las coordenadas de sus chimeneas. En esta situación, se optó por asumir criterios de especialista para completar la información faltante.

Para distribuir las emisiones por chimenea y las emisiones fugitivas, se usó la mejor información disponible procesada y validada por los profesionales de la contraparte técnica del estudio de COCHILCO y MMA.

Respecto a las emisiones de MP, debido a la falta de información, se utilizó además otras fuentes de información, tales como:

- Planes de descontaminación (Chuquicamata y Hernán Videla Lira)
- Inventarios de emisiones realizados en las regiones (Elaboración Inventario de Emisiones para MP10 y SO₂, Sector La Negra Antofagasta y Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región)
- Factores emisivos.

El sector a regular no entregó información de emisiones de Hg, por tanto, se estimó utilizando la mejor información disponible de factor emisor, el cual fue aprobado por el MMA. De este cálculo se obtuvo que los valores estimados son inferiores a los límites propuestos en los escenarios regulatorios. Por lo tanto, no hay beneficios por reducción para el Hg. A pesar de esto, se recomienda cautela a la hora de decidir si se establece un límite de emisión, la evidencia científica demuestra los efectos nocivos que provoca el mercurio en la salud de las personas.

- De la reducción de Emisiones

De acuerdo al gradualismo en la implementación de la norma de emisión, se aplicaron los dos escenarios de norma en sus distintos tiempos de implementación (T1 2012, y T2 2014), y se estimó reducciones respecto a la situación sin norma de emisión (Base 2010).

El Escenario 1 las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 50,3%, 59,5% y 10,4%, respectivamente; y el Escenario 2, las emisiones de SO₂, As, MP se reducen en un 58,7%, 66,8% y 10,4%, respectivamente.

- De la estimación de Beneficios

Con las emisiones definidas del caso Base y ambos escenarios regulatorios, se corrió el sistema de modelación CALMET/CALPUFF, con el cual se estimaron las concentraciones y depositaciones de SO₂, As, MP, MP2.5, y Hg, para el Caso Base y para cada Escenario regulatorio. La diferencia de las concentraciones (caso Base - Escenario), permitió estimar los beneficios en Salud, Agricultura, Materiales y Visibilidad, al usar ecuaciones concentración-respuesta y funciones de daño

De la validación de la modelación meteorológica se obtuvo que CALMET logró reproducir satisfactoriamente los campos térmicos y de viento en el área, tanto para los ciclos diarios como estacionales.

De igual forma se realizó la validación de las concentraciones estimadas por CALPUFF. Para esto se utilizaron las estimaciones de SO₂, debido a que las Fundiciones de Cobre son la principal fuente de este contaminante en sus entornos. Este análisis indicó un buen ajuste entre las concentraciones medidas (observadas) y las modeladas por CALPUFF.

Para fines de este estudio se estimaron los beneficios de la aplicación de una norma de emisión para Fundiciones de Cobre en Chile bajo dos criterios: La Guía del MMA y el criterio del Consultor. Este último incorpora además de la estimación de beneficios en Salud y Agricultura, los beneficios en Visibilidad y Materiales. En el caso de la mortalidad, se propone también otros coeficientes de efectos en salud, más actualizados, y que se utilizan en forma rutinaria en todas las evaluaciones de beneficios de normas ambientales en Estados Unidos.

- Beneficios en salud

Con las diferencias de concentraciones de SO₂ y MP2.5 y las ecuaciones de dosis-respuesta, se estimó el número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, según ambos Criterios.

Al considerar el criterio de la Guía del MMA, se obtuvo una reducción entre 76 y 88, y entre 282 y 322 muertes para el Escenario 1 y 2, al considerar los betas de Cifuentes y Pope, respectivamente. Con el criterio del Consultor, se obtuvo una reducción entre 282 y 322, y entre 913 y 1.047 muertes para el Escenario 1 y 2, al considerar los betas de Pope y Laden, respectivamente.

Al considerar el riesgo de cáncer asociado al arsénico, se obtuvo que se evitarían 868 casos de cáncer al pulmón al año, con el Escenario 1, y 1.065 casos al año, si se implementa el Escenario 2 de la norma de Fundiciones de Cobre.

Los beneficios anuales valorados en salud resultaron ser entre MUSD 50 y MUSD 141 para el Escenario 1 y entre MUSD 57 y MUSD 161 para el Escenario 2, al considerar el beta de Cifuentes (2000), entre MUSD 140 y MUSD 473 para el Escenario 1 y entre MUSD 161 y MUSD 541 para el Escenario 2, al considerar el beta de Pope (2004), y ser entre MUSD 421 y MUSD 1.496 para el Escenario 1 y entre MUSD 482 y MUSD 1.714 para el Escenario 2, al considerar el beta de Laden (2006).

- Beneficios en Agricultura

Los beneficios en agricultura corresponden a 0,002 MUSD al año para el Escenario 1, y 0,003 MUSD al año para el Escenario 2 según la GUÍA MMA que considera sólo la cebada, mientras que los beneficios al considerar todos los cultivos (USEPA(RIA)) se encuentran entre 16 MUSD al año para el Escenario 1, y 19 MUSD al año para el Escenario 2. Este beneficio corresponde a un aumento en el rendimiento de la producción agrícola producto de una reducción en las concentraciones de SO₂, debido a la norma de emisión.

- Beneficios en Visibilidad

La visibilidad se reduce por absorción y dispersión de la luz, la cual se manifiesta por las concentraciones de gases y partículas en la atmósfera. Para estimar la mejora en visibilidad al reducir las emisiones de las Fundiciones de Cobre, se utilizaron los resultados de CALPUFF, quien entrega el delta deciview, que es el indicador de la variación en visibilidad. Cabe notar que el modelo CALPUFF es el recomendado por la USEPA para realizar los análisis de visibilidad en los Estados Unidos. Los beneficios en visibilidad resultaron ser de 0,04 MUSD al año para el Escenario 1, y 1,6 MUSD al año para el Escenario 2.

- Beneficio en Materiales

Respecto a los beneficios sobre los materiales, se obtuvo que al aplicar la norma de emisión para las Fundiciones de cobre, la reflectancia de las superficies no aumenta significativamente en ambos Escenarios, por tanto, no se logra valorizar económicamente este beneficio.

- Beneficios no Valorados

Al existir una norma de emisión de contaminantes atmosféricos para las Fundiciones de cobre, se generarán otros beneficios que no se pueden valorar económicamente, pero si cuantificar. Tal es el caso de los daños en la vegetación por concentraciones de SO₂ y depositación de materia particulada.

Se obtendrán beneficios sobre los recursos naturales, pues se evitaría que se depositen 281 a 321 ton/año de MP sobre áreas agrícolas y entre 458 y 527 ton/año de MP en plantaciones, bosques, praderas y renovales en Chile, según se aplique el Escenario 1 o 2 de la norma, respectivamente.

Así mismo, se evitaría la exposición entre 3,3 a 2,8 µg/m³ de SO₂ sobre áreas agrícolas y entre 1,5 y 7,0 µg/m³ de SO₂ sobre plantaciones, bosques, praderas y renovales en Chile, según se aplique el Escenario 1 o 2 de la norma, respectivamente.

- Evaluación de Beneficios

Con las estimaciones de beneficios en salud, agricultura, y visibilidad, se calculó el VAN para un período de 25 años, asociado a cada Escenario regulatorio. Dado que la valoración más significativa corresponde a la mortalidad, se presentan dos estimaciones que consideran distintos coeficientes concentración-respuesta (betas), para fines de considerar la incertidumbre en este estimador. Al aplicar la Guía MMA se tiene que el VAN al utilizar el Beta de Cifuentes (2000) se encuentra entre los 904 y 1.021 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 2.524 y 2.852 millones de dólares para el Escenario 2, mientras que al utilizar el Beta de Pope (2004), el VAN se encuentra entre los 2.512 y 2.843 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 8.433 y 9.543 millones de dólares para el Escenario 2.

Por otra parte, al aplicar el criterio de evaluación del Consultor (USEPA-RIA), se obtuvo que el VAN al utilizar el Beta de Pope (2004) se encuentra entre los 2.808 y 3.199 millones de dólares para el Escenario 1, y entre 8.729 y 9.899 millones de dólares para el Escenario 2, mientras que al utilizar el Beta de Laden (2006), el VAN se encuentra entre los 7.758 y 8.812 millones de dólares para el Escenario 1 y entre 26.918 y 30.524 millones de dólares para el Escenario 2.

Dado que no todos los beneficios pueden ser valorados económicamente, se concluye que los valores aquí estimados están subvalorados.

- USD/Ton Reducida de SO₂

Con las estimaciones monetarias se obtuvo un índice que da cuenta de los beneficios por tonelada reducida de SO₂. Al utilizar el criterio de la Guía del MMA, se obtuvo un valor que varía entre 180 - 640 MUSD/ton reducida de SO₂ y 637-2.321 MUSD/ton reducida de SO₂ para el Escenario 1 según la Guía MMA, y entre 735 - 2.419 MUSD/ton reducida de SO₂ y 2.143 - 7.591 MUSD/ton reducida de SO₂ según el criterio del Consultor para el Escenario 1.

Para el Escenario 2, el índice resultó ser entre 176 - 626 MUSD/ton reducida de SO₂ y 625-2.275 MUSD/ton reducida de SO₂ según la Guía MMA, y entre 730 - 2.380 MUSD/ton reducida de SO₂ y 2.112 - 7.459 MUSD/ton reducida de SO₂ según el criterio del Consultor

- Del análisis de Incertidumbre

Hay varias fuentes de incertidumbre en cualquier análisis de beneficios de una norma de emisión. En particular en este estudio se reconocen como fuentes de incertidumbre: la calidad de la información de las emisiones, principalmente las fugitivas.

Otra fuente de incertidumbre corresponde a la estimación de los efectos en salud, principalmente en la mortalidad, en el estudio se presenta resultados utilizando coeficientes concentración-respuesta de Cifuentes, Pope y Laden¹¹.

Un tercer aspecto, que arrastra una mayor incertidumbre corresponde a la modelación de MP2.5. Para minimizar esto, se usó una herramienta de modelación probada, disponible y recomendada para evaluaciones regulatorias.

¹¹ Laden, 2006 (24); Pope, 2004 (36); Cifuentes, 2000 (37)

8. REFERENCIAS

1. Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1995. DS N° 93/1995. Reglamento para la dictación de normas de calidad y de Emisión
2. USEPA AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Fifth Edition. Volume Point and area sources.
3. Hylander, L.D, Herbert, R.B, 2008. Global emission and production of mercury during the pyrometallurgical extraction of nonferrous sulphide ores. Environmental Science and Technology 42, 5971-5977.
4. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.
5. Ministerio del Medioambiente. 2011. Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para Instrumentos de Gestión de calidad del aire.
6. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2008. Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria. Research Triangle Park, NC, U.S. Environmental Protection Agency.
7. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2008. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria (Final Report). National Center for Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC. July.
8. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2008g. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. National Center for Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC. EPA/600/R-08/139.
9. Organización Mundial de la Salud, El Mercurio en el Sector de la Salud, Documento de política general, 2005.
10. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, productos químicos, evaluación mundial sobre el mercurio, ginebra, suiza, diciembre de 2002.
11. Agency for Toxic Substances and Disease (Contributing Author); ATSDR (Content Source); Mohamed Rashed (Topic Editor) "Health effects of arsenic". 2009. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment.
12. Searle, A. (2005) "Exposure Response Functions for HM impacts on human health" Deliverable Report D05a, prepared as part of the ESPREME study for the European Commission, Brussels.
13. Hunt, A. and J. Ferguson (2010), A review of recent policy relevant findings from the environmental health literature. OECD, Paris. [www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPNEP\(2009\)9/FINAL](http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPNEP(2009)9/FINAL).
14. Mella y Meza. 2008. Evaluación del impacto de las emisiones generadas por la fundición Altonorte y la Cementera Inacesa en la calidad del aire de Antofagasta. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en Geografía, Universidad de Santiago.

15. Mager y Hanne. 2006. "Evaluación del impacto de las emisiones de SO₂ producidas por la fundición Caletones en la calidad del aire de Santiago", Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en Geografía, Universidad de Santiago.
16. Olivares G., Gallardo L., et al. 2002. Regional dispersion of oxidized sulfur in Central Chile. Atmos. Environ. Vol 36: 3819-3828.
17. Gallardo L., Olivares G., et al. 2002. Coastal lows and sulfur air pollution in Central Chile. Atmos. Environ. Vol 36: 3829-3841.
18. Gidhagen L., Kahelin H., Schmidt-Thomé P., and Johansson C. 2002. Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM₁₀ in Central and Northern Chile. Atmos. Environ. Vol 36: 3803-3817.
19. Williams M. and Brown M. 1994. Development of Methods for Evaluating Options for Improving the Air Quality in Santiago, Chile and its Environs. Los Alamos National Laboratory.
20. Bernardo Reyes Ortiz, Taller de Diseño de Indicadores de Sustentabilidad, Universidad de Chile.
21. Sánchez, J. M., Figueroa, E., Kunze, V., y Pardo, C. (1999); "Valor Económico de la Visibilidad en la Región Metropolitana", CONAMA.
22. Rizzi L., De la Maza C., Cifuentes L. (2007); "Disentangling Health and visibility effects in the valuation of improved air quality by use of stated choice analysis". Working paper UC.
23. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Arsenic (Draft). U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. 1998.
24. Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. Am J Respir Crit Care Med 2006; 173:667-72
25. USEPA. Regulatory Impact Analysis (RIA) for the Proposed Manganese Ferroalloys RTR Final Report, November 2011
26. USEPA, Regulatory Impact Analysis Proposed New Source Performance Standards and Amendments to the National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants for the Oil and Natural Gas Industry, July 2011
27. USEPA, Regulatory Impact Analysis for the Federal Implementation Plans to Reduce Interstate Transport of Fine Particulate Matter and Ozone in 27 States, June 2011
28. USEPA. Health and Welfare Benefits Analyses to Support the Second Section 812 Benefit-Cost Analysis of the Clean Air Act Final Report, February 2011



29. USEPA, Regulatory Impact Analysis: Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Commercial and Industrial Solid Waste Incineration Units, February 2011.
30. USEPA, Regulatory Impact Analysis: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Industrial, Commercial, and Institutional Boilers and Process Heaters, February 2011.
31. USEPA, Regulatory Impact Analysis: Proposed National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) for Mercury Emissions from Mercury Cell ChlorAlkali Plants, November 2010
32. USEPA, Final Regulatory Impact Analysis (RIA) for the SO₂ National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), June 2010.
33. USEPA, Final Regulatory Impact Analysis (RIA) for the NO₂ National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), January 2010.
34. Scire, JS., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, 2000: A User´s Guide for the CALPUFF Dispersion Model. Earth Tech, Inc, Concord MA.
35. Scire, JS., E.M. Insley, R.J. Yamartino, 1990: Model formulation and user´s guide for the CALMET Meteorological Model. Sigma Research Corp., Concord MA.
36. 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.
37. Cifuentes, L.A., J. Vega, et al. 2000: Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. Air & Waste Management Association (50): 1287-1298
38. CONAMA VI Región. 2006: Análisis de efectos en Salud por material particulado respirable (PM10) y Ozono (O3) en la VI Región.
39. Reporte de Sustentabilidad CODELCO 2010.
40. Revista Minera Chilena. Revista N°363, Septiembre 2011.
41. Revista Minera Chilena. Revista N°322, Abril 2008.
42. Reporte de Sostenibilidad 2010, Complejo Metalúrgico Alto Norte / Xstrata Copper Chile S.A.
43. Ilustre Municipalidad de Catemu. www.municatemu.cl
44. Comunicado de Prensa, Dirección de Comunicaciones Codelco Chile División Ventanas, 24 de noviembre de 2011: Las operaciones y emisiones de la Fundición han sido Normales.
45. Artículos de Prensa, Diario la Nación, 6 de Abril de 2011.



46. Artículos de Prensa Radio Bío-Bío, 11 de Marzo del 2011



ANEXOS

- A.1 Encuesta sector a regular
- A.2 Descripción Fundiciones de Cobre en Chile
- A.3 Descripción Socioeconómica del medio receptor
- A.4 Estudios análisis área de modelación
- A.5 Indicadores de Diagnóstico
- A.6 Validación de la Modelación