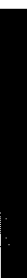


- 1925



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO
DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS
COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVI.**

15 de abril de 2016

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto del Plan de Prevención y Desccontaminación Atmosférica (PPDA) de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño, elaboración y revisión de normas de calidad y emisión, así como planes de descontaminación y prevención. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el reglamento para la dictación de normas (MMA, 2012), se requiere de un AGIES de las propuestas normativas que sirva como apoyo al proceso de toma de decisiones. Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental del MMA, y aporta en las etapas de participación ciudadana y el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.

Resumen

El presente documento presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto del Plan de Prevención y Descaminación Atmosférica (PPDA) de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Éste tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas.

En las comunas del PPDA las concentraciones ambientales de material particulado respirable fino (MP_{2,5}) superan las normas de calidad primaria anual. Mientras que para el MP_{2,5} en su métrica diaria y para el material respirable grueso (MP₁₀) los valores la posicionan en calidad de latencia. El principal sector emisor es el industrial el cual aporta cerca del 76% de las emisiones de MP_{2,5}. Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto han sido diseñadas considerando cuatro escenarios de operación: (1) concentración actual y operación actual, (2) concentración actual y operación alta, (3) concentración máxima y operación actual y (4) concentración máxima y operación alta. Los resultados del AGIES indican que:

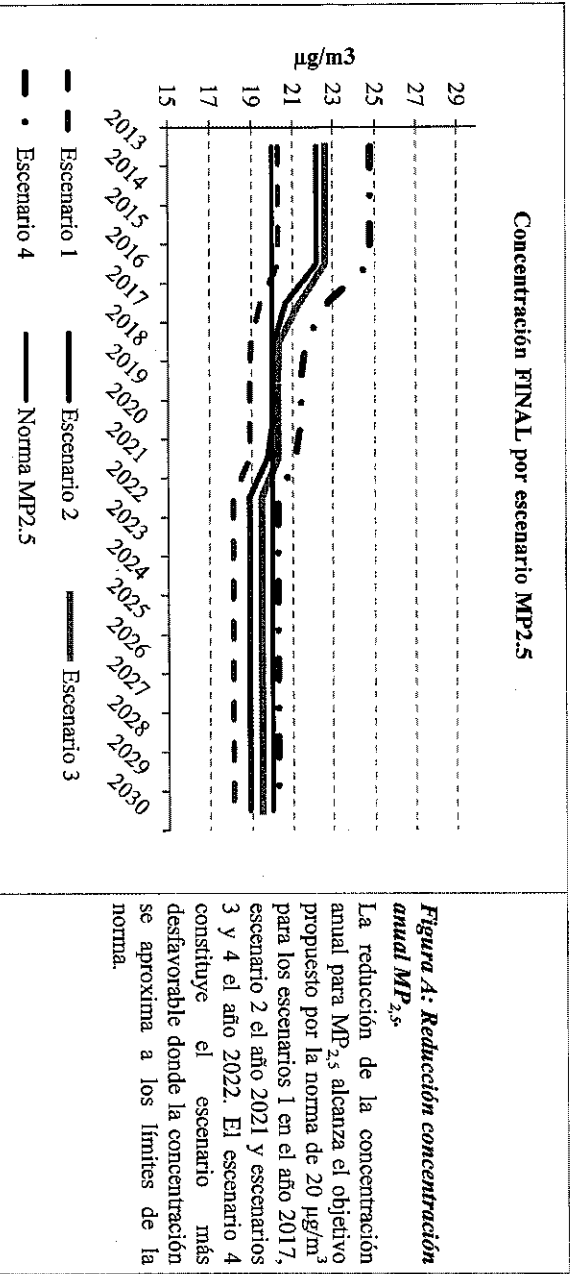
- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir la norma anual de MP_{2,5} entre los años 2017 y 2022, dependiendo del escenario evaluado (Figura A).
- La reducción de emisiones generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas y mejoras en la vulnerabilidad ambiental de la zona, entre otros (Figura B).
- Los beneficios valorizados se estiman entre los US\$19,3 - 43 millones¹ en valor presente². Es importante destacar que la mayoría de estos beneficios son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad (Figura D).
- Los costos asociados a la implementación del Plan varían entre 2,5 y 43 millones de dólares³ en valor presente, dependiendo del escenario evaluado. (Figura D).
- La implementación de este PPDA tiene una razón beneficio-costo que va entre 1 y 9,9 dependiendo del escenario evaluado (Figura D). La mayor proporción de las medidas apunta al sector industrial.

Este análisis concluye que el PPDA de Concón, Quintero y Puchuncaví, junto con incitar el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, es consistente con los compromisos del Ministerio de Medio Ambiente al aplicar instrumentos que disminuyan la contaminación y que promuevan la equidad entre sus habitantes, especialmente considerando que las comunas de Quintero y Puchuncaví son territorios vulnerables.

¹ Valor presente beneficio por escenario en millones USD\$: (1)18,6; (2) 32,32; (3) 25,36; (4) 42.

² Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Raggen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Horizonte de evaluación=14 años, flujos entre años 2017 a 2030, llevados al año 2016. / Tipo cambio dólar: 669,5CLP / Tipo cambio UF: 25,820 CLP.

³ Costos por escenario en millones USD\$: (1) 284,23 USD\$, (2) 984,61 USD\$, (3) 284,48 USD\$ y (4) 995,7 USD\$.



Empresas emisoras	Programa Ambiental 2017-2030	MP2.5	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4
ENAP	Límite de emisión	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
AES GENER	Límite concentración	0,46	0,56	0,99	1,12	0,16
	Límite emisión	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16
Codeco	Límite emisión	0,00	0,27	0,00	0,27	0,27
Otras calderas	LE otras calderas	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Otras quemadas	Proh quemadas	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Otros sectores	Otros emisores	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
Total		1,45	2,32	1,98	3,03	

Figura B: Reducciones en concentraciones del PPDa por empresa o sector y medida.

La reducción de concentraciones debido a la implementación del anteproyecto se representa mediante el símbolo Δ. Los resultados indican que casi todos los sectores aportan en cierta medida a la reducción de emisiones, pero que las medidas de reducción para ENAP y AES GENER aportan en mayor proporción a las reducciones del PDA.

Evento	Casos evitados 2017-2030 (Porcentaje 50)			
	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4
Mortalidad	45	75	84	100
Admisiones hospitalarias	50	83	89	106
Visitas Salas de Emergencia	98	107	103	159
Productividad perdida (dias)	987	1074	1053	1807

Figura C: Casos evitados Plan (2017-2030)

Número de casos evitados durante para todo el periodo de implementación del plan (2017-2030) atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 10%.

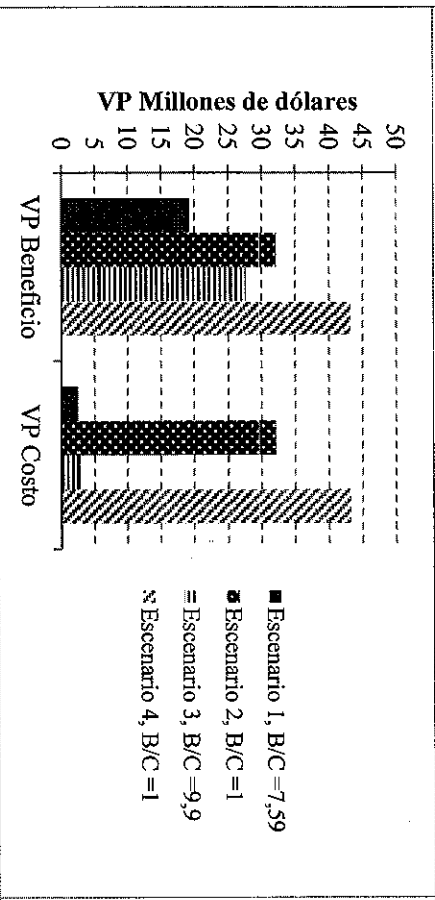


Figura D: Beneficios y Costos del Plan

Los mayores costos del PPDa son atribuibles al escenario 2 y al escenario 4. Ambos escenarios consideran una condición de operación alta, mientras que los menores costos corresponden al escenario 1 y 3 que consideran la operación actual.

Tabla de contenido

PRESENTACIÓN	2
RESUMEN	3
1. ANTECEDENTES	6
1.1. CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	6
1.2. INVENTARIO DE EMISIONES	8
2. METODOLOGÍA DEL AGIES.....	12
3. EVALUACIÓN DE MEDIDAS	14
3.1. APORTE DE CONCENTRACIONES	14
3.2. MEDIDAS EVALUADAS	15
3.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE MEDIDAS	16
3.3.1. EVALUACIÓN DE EMISIONES	16
3.3.2. EVALUACIÓN DE COSTOS	19
3.3.3. ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	19
3.3.4. RESULTADOS DE EVALUACIÓN	21
3.3.5. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE MEDIDAS	21
3.5.1. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES	21
3.5.2. CASOS EVITADOS DE MORTALIDAD Y MORBILIDAD	26
3.6. INDICADORES ECONÓMICOS	29
4. COMENTARIOS FINALES.....	32
5. ANEXOS.....	33
5.1. METODOLOGÍA INVENTARIO DE EMISIONES	33
5.1.1. <i>Supuestos de fracciones de MP</i>	33
5.1.2. <i>Nuevos sectores: leña, quemus agrícolas e incendios forestales</i>	34
5.1.3. <i>Nuevos sectores: calderas</i>	36
5.2. INVENTARIO DE EMISIONES OTRAS EMPRESAS	37
5.3. FACTOR EMISIÓN CONCENTRACIÓN	37
5.4. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES DE MP _{2,5}	41
5.5. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES DE MP ₁₀	42
5.6. RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE PARA MP ₁₀	44
5.7. EMISIONES DE LÍNEA BASE POR CONTAMINANTE Y ESCENARIO	47
5.8. REDUCCIÓN DE EMISIONES POR MEDIDA, CONTAMINANTE Y ESCENARIO	57
5.9. BENEFICIOS EN SALUD	62
5.10. VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS	64
5.11. COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO	64
5.12. FICHA DEL AGIES	67
6. BIBLIOGRAFÍA.....	68

1. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 10 de 2015 del Ministerio del Medio Ambiente declaró zona saturada por Material Particulado Fino Respirable (MP_{2,5}) como concentración anual, zona latente por MP_{2,5} como concentración 24 horas, y zona latente por Material Particulado Respirable (MP₁₀) como concentración anual para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví de la Región de Valparaíso.

La declaración de zona saturada y latente da conformidad al procedimiento y a las etapas señaladas en el artículo 44 de la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y en el decreto supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente que mandatan y reglamentan, respectivamente, la elaboración de un Plan de Prevención y Descartaminación Atmosférico. Mediante este instrumento de gestión ambiental el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración de contaminantes a niveles máximos por debajo de los establecidos en la normativa vigente.

Las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví comprenden una superficie total de 524⁴ km² y su población total, según el anteproyecto, asciende a 89.912⁵ habitantes.

1.1. Concentración de Material Particulado

La

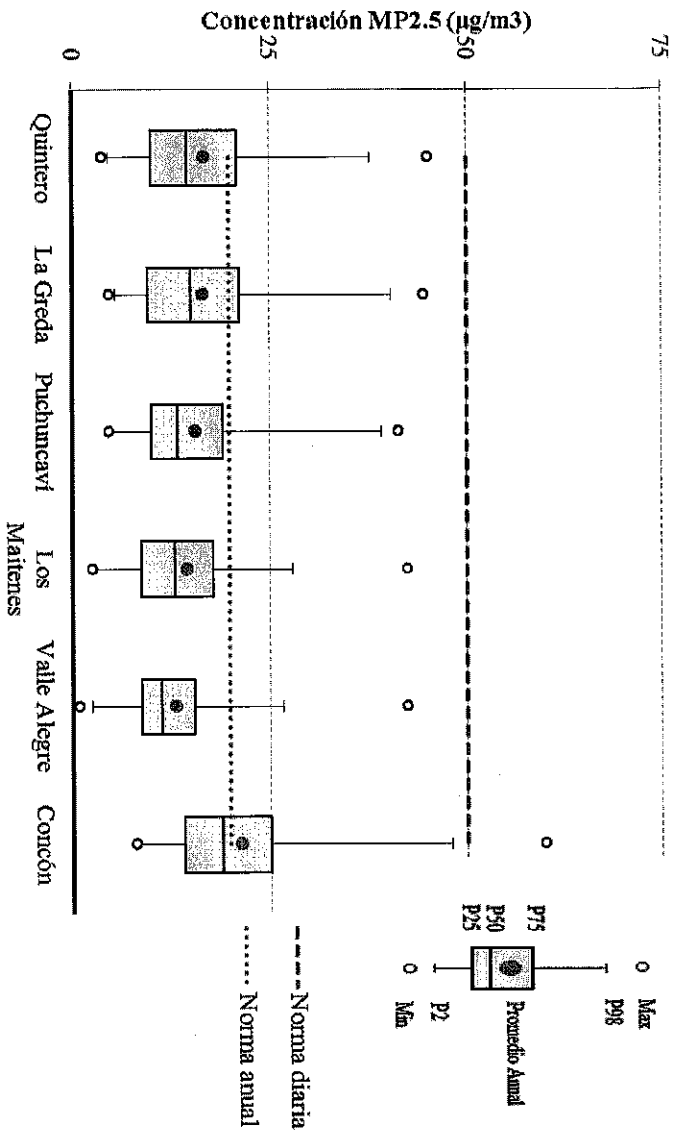
Figura 1 presenta los datos de concentración de MP_{2,5} monitoreados el año 2013 en las estaciones de Quintero, La Greda, Puchuncaví, Los Maitenes, Valle Alegre y Concón. La Figura 3 muestra los datos de concentración para MP₁₀ en las estaciones mencionadas anteriormente, considerando además las estaciones Colmo y Junta de Vecinos. Las concentraciones están presentadas tanto en su métrica diaria (percentil 98 de los datos diarios medidos) como anual (promedio anual).

Se observa que para MP_{2,5} la estación Concón supera la norma anual en un 6% el año 2013. Respecto del estado de latencia, al menos para el año 2013 las estaciones Quintero y La Greda se encuentran en este estado respecto de la norma anual. Respecto de la norma diaria, las estaciones con estado de latencia para el 2013 son La Greda y Concón. Esta última estación está a un 4% de alcanzar el estado de saturación.

Para el MP₁₀ la estación Junta de Vecinos se encuentra en estado de latencia respecto de la norma anual para el 2013.

⁴ Superficie en km² de 76 para Concón, 148 para Quinteros y 300 para Puchuncaví

⁵ Población de 46.124, 26.742 y 17.046 habitantes para las comunas de Concón, Quinteros y Puchuncaví respectivamente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Comparación de concentración de MP_{2.5} año 2013 con normativas diaria y anual.

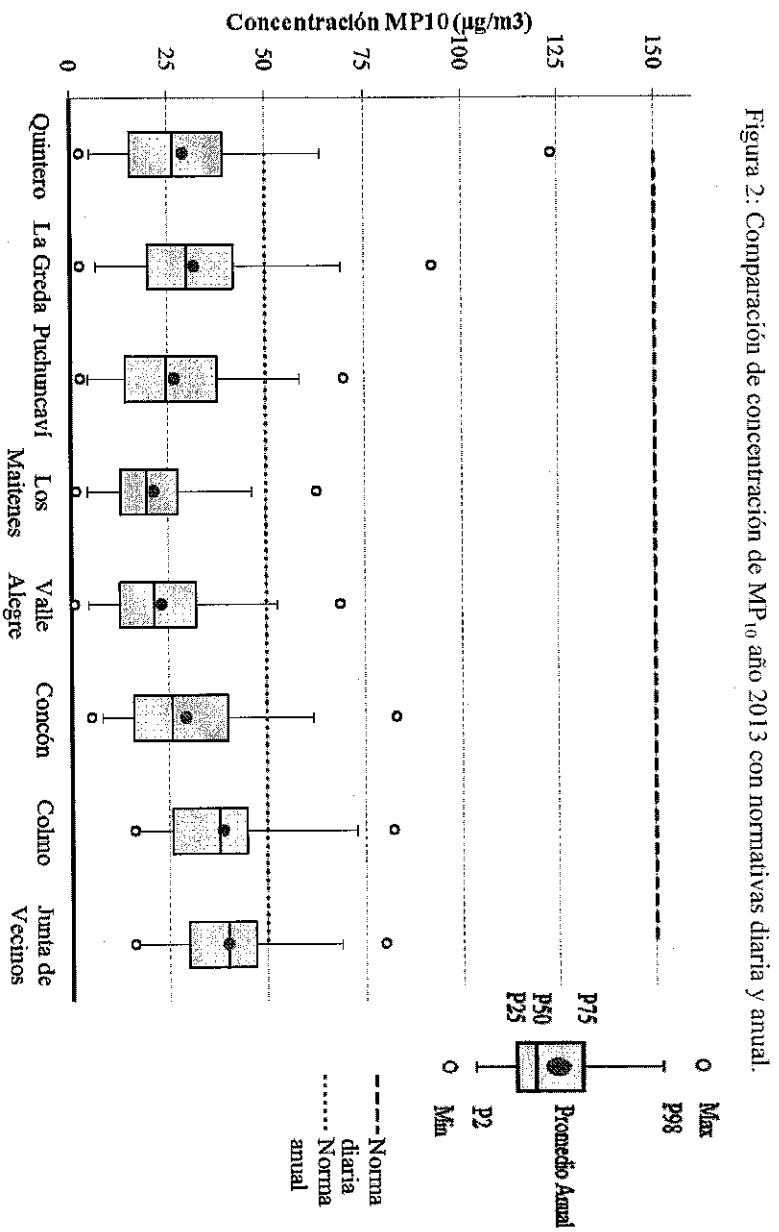


Figura 2: Comparación de concentración de MP₁₀ año 2013 con normativas diaria y anual.

Fuente: Elaboración propia

1.2. Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones se presenta en la Tabla 1. Dicho inventario fue elaborado en base al estudio de Geoaire Ambiental Limitada (2015) y a las declaraciones de emisiones de las grandes empresas (ENAP, AES GENER y CODELCO). Debido a que la declaración de emisiones detalla el material particulado (MP), para efectos de la evaluación económica se realizaron supuestos para estimar sus fracciones fina y gruesa. Este inventario se complementó añadiendo las emisiones de leña residencial, polvo de calles, quemas agrícolas, incendios forestales y otras calderas. El detalle metodológico del desarrollo del inventario se detalla en el Anexo 5.1.

Tabla 1: Inventario de Emisiones utilizado en evaluación económica. Año base 2013.

Emisor	Emisión (ton/año)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2.5}	NOx	SO ₂
AES GENER	382	351	288	8.557	10.301
CODELCO	325	286	202	0	13.743
ENAP	1.170	732	425	1.197	1.711
Otras empresas/sectores *	295,9	293,2	281,9	2.125,9	186,7
Acopios **	48,2	48,2	7,3	0	0
Leña residencial	106	106	103	6,5	1,0
Polvo	172	90	18	0,0	0,0

AGIES PPD4 de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,3	0,8	0,5
Incendios forestales	63,4	63,4	60,9	14,6	0,0
Otras calderas	17,1	15,9	15,4	5,7	7,6
Total	2.581	1.988	1.403	11.907	25.951

* Otras empresas/sectores considera: Abastecedora de Combustibles SA, Administradora de Supermercado Express Ltda., AGA S.A., Asfaltos Chilenos S.A, Banco de Chile, Banco del Estado de Chile, Banco Santander Santiago, BASF Chile S.A., Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A, Constructora de Pavimentos Asfálticos, Empresa Nacional de Electricidad S.A, Empresas Lipigas S.A., ESVVAL S.A., Fabrica de Bebidas Alcohólicas, GNL Quintero S.A., Hidroeléctrica La Higuera S.A., Oxiquím Sociedad Anónima, Paris S.A, Pesquera Quintero S.A, Puerto Ventanas S.A., Rendic Hnos S.A., Servicio de Salud Viña del Mar-Quillota, TECNOREID S.A. En este sector también se incluyen las emisiones urbanas y de transporte para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. El detalle de las emisiones de esta categoría se encuentra en la sección 5.2 de Anexos.

** Acopios que corresponden a AES GENER, CODELCO, Puerto Ventanas, Caramutín y Cementera.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se observa que las empresas que más aportan a la emisión total de MP y SO₂ son AES GENER, CODELCO y ENAP. Sin embargo, la contribución de ENAP para el SO₂ es mucho menor en comparación a CODELCO y AES GENER. Para el NOx las empresas que más contribuyen a las emisiones son AES GENER y ENAP. Así, las empresas que contribuyen en mayor medida a los precursores de MP_{2,5} (SO₂ y NOx) corresponden a CODELCO, AES GENER y ENAP. El sector “Otras empresas/sectores” también contribuye en su conjunto a las emisiones de NOx (17.9% del total), donde gran parte de las emisiones proviene del sector transporte, contribuyendo en un 9,6% de las emisiones totales de NOx.

En términos de fuentes de emisión, en CODELCO las Fuentes Fugitivas son las mayores contribuyentes a las emisiones de MP y SO₂, aportando un 54,5% y un 87,3% al total de sus emisiones, respectivamente. Particularmente para el SO₂, la Planta de Ácido Sulfúrico contribuye en un 12,7% a las emisiones de este contaminante. Respecto de las emisiones de MP, los Hornos (Basculante, Eléctrico y Refino) y los Acopios son las fuentes que más contribuyen segundas de las fuentes Fugitivas, aportando en conjunto un 41,2% a estas emisiones. El detalle del inventario de CODELCO se muestra en la

Tabla 2.

Tabla 2: Inventario de Emisiones de CODELCO utilizado en evaluación económica. Año base 2013.

Fuente de CODELCO	Emisión (ton/año)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	NOx	SO ₂
Acopios	27	27	4	0	0
Calderas Kewanee	1	1	1	0	0
Fugitivas	192	169	105	0	12.003
Homo Basculante	37	32	32	0	0
Homo Eléctrico	29	26	22	0	0
Homo Refino	51	45	33	0	0
Planta de Ácido Sulfúrico	10	8	5	0	1.740
Secador Rotatorio	5	4	3	0	0
Tolva 500	0	0	0	0	0
Total CODELCO	352	313	206	0	13.743

Fuente: Elaboración propia en base a declaración de emisiones de CODELCO y a Geoaire Ambiental Limitada (2015).

Por otro lado, en ENAP el Cracking Catalítico y las Torres de Enfriamiento son las fuentes que más contribuyen a las emisiones de MP. La contribución a las emisiones de NOx es mayor para las calderas de la planta de fuerza, las antorchas, los hornos de planta de reformación y *topping* y el *cracking* catalítico. Para el SO₂, las fuentes que contribuyen en mayor medida a las emisiones son los hornos post-combustión de las unidades recuperadoras de azufre y el *cracking* catalítico, los cuales aportan un 47,3% y 35,1% a sus emisiones, respectivamente. El detalle del inventario de ENAP se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Inventario de Emisiones de ENAP del modelo de costo-beneficio. Año base 2013.

Fuente de ENAP	Emisiones (ton/año)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2.5}	NOx	SO ₂
Antorchas	0	0	0	290	6,8
Calderas	16,6	16,4	16,1	382	78
Cracking Catalítico (B755)	870	435	261	115	601
Combustor Patio de Carga	0,39	0,39	0,20	0,00	0,00
Proceso de Coquificación	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Grupos Electrógenos	0,1	0,0	0,0	0,5	0,1
Torres Enfriamiento	259	259	130	0	0
Horno desulfurizadora gasolina (B1701)	0,16	0,14	0,12	1,06	0,00
Hornos Hidrocracking	2,6	2,3	2,0	34,1	12,2
Hornos Hidrotratamiento	0,8	0,7	0,6	8,2	3,0
Horno planta coker B3001	3,1	2,8	2,4	41,0	65,5
Horno planta cracking catalítico (B751)	0,6	0,6	0,5	8,4	2,5
Hornos post-combustion URA	0,59	0,52	0,45	7,68	809,45
Horno planta isomerización (B801)	0,8	0,7	0,6	10,7	4,2
Hornos planta de MHC	1,1	0,9	0,8	14,1	3,9
Horno planta nueva alquilación (B1981)	0,20	0,18	0,15	3,96	28,16
Hornos planta de NHT	0,9	0,7	0,6	11,3	3,6
Hornos planta reformación	3,93	3,46	2,97	130,05	18,22
Hornos plantas topping	9,6	8,4	7,3	138,7	74,9
Turbina (1236)	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
Total ENAP	1.170	732	425	1.197	1.711

Fuente: Elaboración propia en base a declaración de emisiones de MP de ENAP.

Finalmente, las unidades 1 y 2 de AES GENER contribuyen en mayor medida a las emisiones de material particulado, aportando un 66,5% a las emisiones. Los acopios de AES GENER no constituyen fuentes significativas de emisión de este contaminante. Para el NOx las unidades que más contribuyen son la 2 y la 3, mientras que para el SO₂ corresponden a la 1 y 3. El detalle del inventario de AES GENER se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Inventario de Emisiones de AES GENER del modelo de costo-beneficio. Año base 2013.

Fuente de AES GENER	Emisión (ton/año)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2.5}	NOx	SO ₂
Acopios	5,5	5,5	0,8	0,0	0,0
Unidad 1	100,2	92,2	75,6	1.554	3.055
Unidad 2	157,4	144,8	118,7	3.088	2.016
Unidad 3 (Nueva Ventanas)	43,9	40,4	33,1	2.215	2.894
Unidad 4 (Campiche)	80,2	73,8	60,5	1.699	2.336
Total AES GENER	387	357	289	8.557	10.301

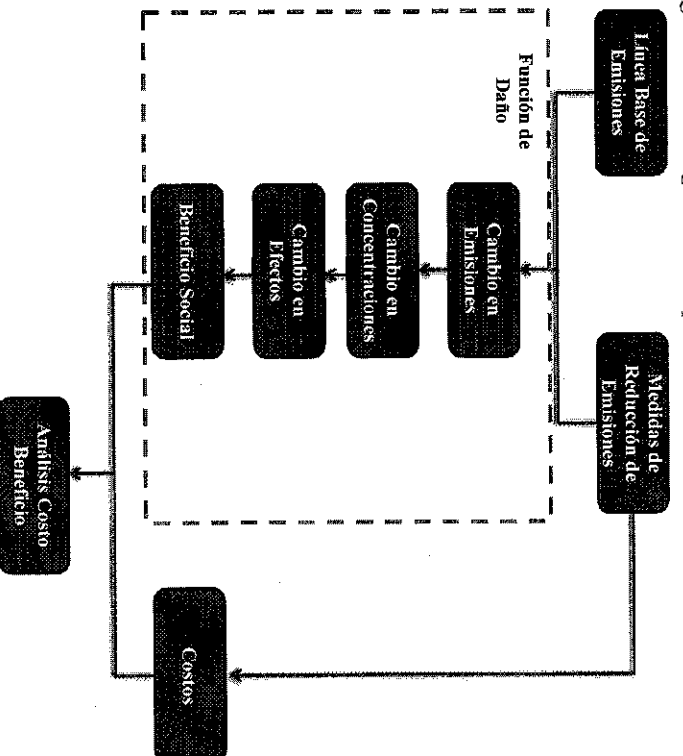
Fuente: Elaboración propia en base a declaración de emisiones de AES GENER.

2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, el cual es ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Hanley and Spash 1993; Layard and Glaister 1994; Boardman, Greenberg et al. 2006). La reducción de emisiones asociadas a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se pueden resumir en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado.

El AGIES se elabora utilizando una secuencia de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las emisiones de línea base con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el modelo integra una sección de emisiones, un modelo de emisión-calidad, modelo de riesgo ambiental basado en estudios epidemiológicos y finalmente un modelo de valorización de los beneficios. Paralelamente se integra la información de los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el análisis costo-beneficio (ver Figura 3).

Figura 3. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



Fuente: Evaluación propia basado en (EPA 2000; MMA 2013)

Por una parte, los beneficios valorizados de las medidas del Plan corresponden a impactos en la salud de la población expuesta debido a la disminución de concentración ambiental de MP_{10} y $MP_{2,5}$ producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida.

Por otro lado, en el AGIES se incorporan los costos relacionados a inversión asociados a la implementación de las medidas de reducción de emisiones de las fuentes emisoras.

Dentro de las limitaciones del análisis se mencionan los beneficios por reducción de MP que no fueron valorizados tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, efectos en la salud en otras comunas del país y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o falta de información base.

Finalmente es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante indicadores elaborados con la metodología planteada. Sin embargo, estos indicadores no deben ser considerados como el único criterio para la aprobación de una política pública (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Esta debe tener una visión integral que incorpore otras variables tales como el riesgo de la población expuesta, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras.

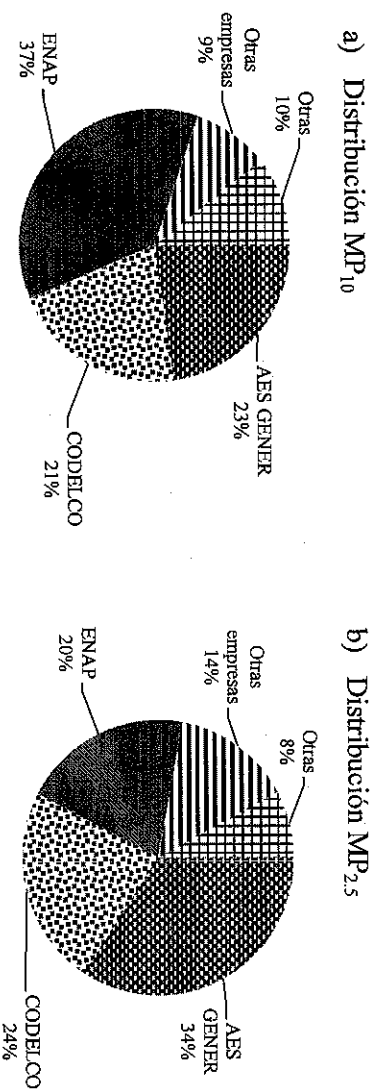
En los siguientes capítulos del informe se presentan los análisis de las medidas de reducción de emisores.

3. Evaluación de medidas

3.1. Aporte de concentraciones

De acuerdo al inventario de emisiones, los mayores emisores de la zona saturada corresponden a AFS GENER, CODELCO y ENAP. El impacto en la concentración de estas fuentes se presenta en la Figura 4.

Figura 4: Distribución de concentración de línea base, excluyendo concentración de *background*.



Fuente: Elaboración propia

Estas tres fuentes aportan con un total de 20,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP₁₀ y con 9,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{2,5}, correspondientes a un 46% y 47% de la concentración de MP₁₀ y MP_{2,5} respectivamente.

La Tabla 5 muestra el aporte de emisiones directas y de precursores a la concentración de MP₁₀ y MP_{2,5} por emisor, incluyendo la concentración basal o de *background*.

Tabla 5: Aporte concentración de línea base, año 2013 en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	MP _{10-2,5}	MP _{2,5}	NOX	SO ₂	Total MP ₁₀	Total MP _{2,5}
AFS GENER	1,37	1,39	1,41	1,42	5,58	4,2
CODELCO	1,83	0,97	0,00	1,89	4,69	2,9
ENAP	6,67	2,05	0,20	0,24	9,16	2,5
Otras empresas/sectores:	0,25	1,36	0,35	0,03	1,98	1,7
Acopios	0,89	0,04	0,00	0,00	0,92	0,04
Leña residencial	0,07	0,50	0,00	0,00	0,56	0,5
Polvo	1,57	0,09	0,00	0,00	1,65	0,1
Quemas agrícolas	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Incendios forestales	0,05	0,29	0,00	0,00	0,35	0,3
Otras calderas	0,01	0,07	0,00	0,00	0,09	0,08
<i>Background</i>	10,00	8,00			18	8
Total	22,70	14,77	1,96	3,57	43	20,3

Fuente: Elaboración propia

La metodología para estimar la concentración de MP₁₀ y MP_{2.5} se detalla en la sección 5.3 de Anexos.

3.2. Medidas evaluadas

Las principales medidas establecidas en el anteproyecto se enfocan en las tres empresas con mayor aporte a las emisiones y concentración en la zona. Se establecen además restricciones a las calderas y quemas agrícolas, en línea con las medidas establecidas en otros planes de descontaminación vigentes. Las medidas evaluadas y sus principales supuestos de evaluación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de medidas evaluadas en el modelo de costo-beneficio.

Nombre corto medida	Descripción	Supuestos evaluación																	
Límite de emisión CODELCO	El establecimiento deberá cumplir los siguientes límites: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Año</td> <td>SO₂ (ton/año)</td> <td>MP (ton/año)</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>14.000</td> <td>300</td> </tr> </table>	Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	2020	14.000	300	LB: DS N° 28/2013 MMA. Norma de emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico: Control MP en horno eléctrico y secador 50 mg/m ³ N, valor de 600 ppm de SO ₂ en la Planta de ácido y captura y fijación de S de 95%.											
Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)																	
2020	14.000	300																	
Límites concentración unidades AES GENER	Límite máximo de concentración: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th>Fuente</th> <th>Año</th> <th>MP (mg/m³N)*</th> <th>NOx y Hg (mg/m³N)</th> </tr> <tr> <td>U1</td> <td>2018</td> <td>20</td> <td rowspan="4">Límite para fuentes existentes, Norma termoelectricas.</td> </tr> <tr> <td>U2</td> <td>2018</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>U3</td> <td>2018</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>U4</td> <td>2018</td> <td>30</td> </tr> </table> *como concentración promedio horaria	Fuente	Año	MP (mg/m ³ N)*	NOx y Hg (mg/m ³ N)	U1	2018	20	Límite para fuentes existentes, Norma termoelectricas.	U2	2018	20	U3	2018	30	U4	2018	30	LB: DS N° 13/2011 MMA. Norma de emisión para centrales termoelectricas.
Fuente	Año	MP (mg/m ³ N)*	NOx y Hg (mg/m ³ N)																
U1	2018	20	Límite para fuentes existentes, Norma termoelectricas.																
U2	2018	20																	
U3	2018	30																	
U4	2018	30																	
Límite de emisión AES GENER	Las Centrales Termoelectricas Venanas 1, Venanas 2, Central Nueva Venanas y Central Campiche deberán cumplir los siguientes límites: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Año</td> <td>SO₂ (ton/año)</td> <td>MP (ton/año)</td> <td>NOx (ton/año)</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>10.600</td> <td>700</td> <td>10.000</td> </tr> </table>	Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)	2018	10.600	700	10.000	La reducción de esta medida se estima después de cumplidos los límites de concentración establecidos en la medida anterior.									
Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)																
2018	10.600	700	10.000																
Límite de emisión refinería ENAP	El establecimiento deberá cumplir los siguientes límites: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Año</td> <td>SO₂ (ton/año)</td> <td>MP (ton/año)</td> <td>NOx (ton/año)</td> </tr> <tr> <td>2022</td> <td>1.600</td> <td>656</td> <td>1.350</td> </tr> </table>	Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)	2022	1.600	656	1.350										
Año	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)																
2022	1.600	656	1.350																
Límite de emisión en calderas nuevas y existentes	Se establecen los siguientes límites de emisión para calderas nuevas (N) y existentes (E): <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th>Potencia*</th> <th>SO₂ (ton/año)</th> <th>MP (ton/año)</th> <th>NOx (ton/año)</th> </tr> <tr> <td>[75 kW_t, 1 MW_t]</td> <td>E N</td> <td>E N</td> <td>E N</td> </tr> <tr> <td></td> <td>NA</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> </table>	Potencia*	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)	[75 kW _t , 1 MW _t]	E N	E N	E N		NA	NA	NA	Se utiliza la base de datos de Sistan (2013).					
Potencia*	SO ₂ (ton/año)	MP (ton/año)	NOx (ton/año)																
[75 kW _t , 1 MW _t]	E N	E N	E N																
	NA	NA	NA																

Nombre corto medida	Descripción						Supuestos evaluación
Quemas agrícolas, forestales y domiciliarias	11 MWt,	50	50	200	50	200	Vigencia: 2017 Se evalúa la prohibición total de quemas agrícolas.
	20 MWt]						
	[20 MWt, 50 MWt]	30	30	50	20	200	
*Térmica Nominal de la caldera							
Se prohíbe el uso de fuego para la quema de rastrojos, hojas secas y de cualquier residuo de vegetación, residuos agroindustriales, urbanos, domiciliarios, u otros de cualquier naturaleza, como forma de eliminación o reducción de residuos.							

Fuente: Elaboración propia en base a Anteproyecto y supuestos de evaluación.

3.3. Metodología de evaluación de medidas

En esta sección se describe la metodología de evaluación de las medidas propuestas en el Anteproyecto de Plan.

3.3.1. Evaluación de emisiones

a) Límite de emisión de CODELCO

Para evaluar la medida para CODELCO Ventanas, las emisiones de MP de cada una de las fuentes se estimaron para el período de evaluación en base a sus parámetros de operación: disponibilidad (%), concentración (mg/m^3) y caudal (m^3/h). Los parámetros de operación, así como la emisión declarada, se reportan para cada semestre del año y varían considerablemente para algunas fuentes. Por este motivo se estimaron parámetros de operación ponderados y optimizados para entregar las emisiones de MP declaradas. La metodología de cálculo de las emisiones de MP para las fuentes de CODELCO Ventanas se muestra en la siguiente ecuación.

$$E_{MP.i.CODELCO} = Q_{i.CODELCO} * C_{MP.i.CODELCO} * Disp * D * H * 10^{-9}$$

Donde:

$E_{MP.i.CODELCO}$: Emisiones de MP de la fuente i de CODELCO Ventanas [ton/año]
 $Q_{i.CODELCO}$: Caudal de fuente i de CODELCO Ventanas [m^3/h]
 $Disp$: Disponibilidad de fuente i de CODELCO Ventanas [%]
 D : Días totales del año (365)
 H : Horas del día (24)

Para el SO_2 existen solamente dos fuentes a las cuales se asignan emisiones: planta de ácido y emisiones fugitivas. Las emisiones totales de SO_2 se describen considerando los siguientes parámetros de operación: capacidad de fusión (ton/año), captura de SO_2 (%) y contenido de azufre (%). Considerando que para el 2013 se reportaron las emisiones de SO_2 totales (13.743 ton), la capacidad de fusión (390.039 ton), y asumiendo un contenido

de azufre del 32% (MMA 2012) se estimó la captura de SO₂ en un 95%. Luego, para estimar la emisión total de SO₂ en escenarios con una capacidad de fusión distinta, se utiliza la siguiente ecuación.

$$E_{SO_2_{CODELCO}} = (1 - Captura_{SO_2}) * Cap_{Fusion} * S * 2$$

Donde:

$E_{SO_2_{CODELCO}}$: Emisiones totales de SO₂ para CODELCO Ventanas [ton/año]

$Captura_{SO_2}$: Captura de SO₂ [%]

Cap_{Fusion} : Capacidad de fusión de Ventanas [ton/año]

S: Contenido de azufre [%]

Las emisiones de la planta de ácido se estiman mediante la misma metodología de MP, utilizando los parámetros de operación y la concentración de SO₂ (ppm).

Debido a que CODELCO Ventanas está sujeto a la Norma de emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico (DS N° 28/2013 MMA) la proyección de emisiones de línea base considera las reducciones asociadas a la implementación de esta norma, asumiendo que se comienza a implementar el 2017. Particularmente, se consideran los límites mencionados en los supuestos de evaluación de la Tabla 6. Además, se consideran medidas reportadas por CODELCO (Carta CODELCO N° 1745-1755 del expediente del Plan) para cumplir con el requerimiento de la Norma de Fundiciones (opacidad del 20% en los hornos de refinó) mediante su "Proyecto de Tratamiento de Humos Visibles de Refinó a Fuego". De acuerdo a las reducciones de emisiones de MP mencionadas en la carta de CODELCO para el Horno de Refinó y el Horno Basculante, se estima una reducción porcentual respecto de las emisiones del año base, correspondiente a 59% y 41%, respectivamente.

Para evaluar escenarios se modifica solamente la disponibilidad para el MP y la capacidad de fusión para el SO₂. El cálculo de la reducción de emisiones se realiza aplicando los límites de emisión establecidos por el Plan, por lo que si el establecimiento supera dichos límites (ver Tabla 6) deberá reducir sus emisiones al menos hasta el límite.

b) Límite de concentración y emisión de unidades térmicas AES GENER

Para evaluar las medidas para AES GENER, se estiman las emisiones de los contaminantes para cada una de las fuentes de emisión (Unidad 1, 2, 3 y 4) en base a sus parámetros de operación: disponibilidad (%), concentración (mg/m³) y caudal (m³/h). Asimismo como para CODELCO, los caudales se ajustaron de tal forma que las emisiones fueran iguales a las declaradas para el año base. Para evaluar escenarios se modifican solamente disponibilidad y concentración, asumiendo el caudal constante.

Debido a que AES GENER está sujeto a la Norma de emisión para centrales termoeléctricas (DS N° 13/2011 MMA) se consideran los límites establecidos por dicha norma para la proyección de las emisiones de línea base, luego de lo cual se aplican

calculan las reducciones asociadas al Plan. La Norma de Emisión se asume vigente desde el año 2017.

El cálculo de la reducción de emisiones se realiza aplicando primero los límites de concentración establecidos por el Plan, según los escenarios descritos en la siguiente sección, por lo que si las fuentes superan dichos límites (ver Tabla 6) deberá reducir sus emisiones al menos hasta este límite. En caso de que las concentraciones sean menores a las establecidas por la Norma de Termoeléctricas, se considerarán dichas emisiones, sin embargo si se superan entonces se considera la reducción de la concentración al menos hasta el límite de la Norma. Para las Unidades 1 y 2 se genera el caso particular de que la concentración actual supera el límite comprometido por RCA de 20 mg/m³ (no así el límite de la Norma de Termoeléctricas), por lo que se supone que este límite se hace efectivo una vez que comienza la implementación de la medida del plan (2018). Una vez proyectada la reducción de emisiones asociada a la implementación de los límites de concentración del Plan se calcula la reducción de emisiones aplicando los límites de emisión establecidos por el Plan (ver Tabla 6), por lo que si el establecimiento supera dichos límites deberá reducir sus emisiones al menos hasta el límite.

c) Límite de emisión de refinería ENAP

Para evaluar las medidas de ENAP se consideraron las emisiones declaradas y los escenarios se aplicaron ajustando proporcionalmente según el aumento de la disponibilidad. El cálculo de la reducción de emisiones se realizó aplicando los límites de emisión establecidos por el Plan, por lo que si el establecimiento supera dichos límites (ver Tabla 6) deberá reducir sus emisiones al menos hasta el límite.

d) Límite de emisión en calderas nuevas y existentes

La línea base de las emisiones de las calderas obtenida para el inventario se proyectó de manera constante en el tiempo, por lo que las fuentes de emisión así como el valor de la emisión se mantienen constantes. La evaluación del límite de emisión en calderas se realizó estimando una eficiencia asociada a cumplir los límites de concentración según rango de potencia térmica para las fuentes que sobrepasan las concentraciones establecidas (ver Tabla 6). Por lo tanto, la reducción de emisiones de calcula como la multiplicación de las emisiones de línea base por la eficiencia de reducción.

e) Quemadas agrícolas, forestales y domiciliarias

Debido a que la medida de control de emisiones asociadas a quemadas consiste en una prohibición total de quemadas agrícolas, forestales y domiciliarias, la reducción de emisiones corresponde a la totalidad de la emisión estimada de línea base para quemadas agrícolas. La proyección de las emisiones en el tiempo se asume constante, por lo que la reducción también es constante en el tiempo desde la entrada en vigencia del Plan.

3.3.2. Evaluación de Costos

La evaluación de costos se realizó utilizando costos medios por tonelada reducida de MP, SO₂ y NOx para AES GENER, CODELCO, ENAP y Calderas. Dichos costos medios provienen del Modelo CoST de la USEPA (2010). Para estimar el costo asociado a la prohibición de quemas agrícolas se utiliza un costo anual por hectárea de 31.354 CLP/ha (Villena and Chávez 2007) equivalente a la incorporación de rastrojo y manejo de suelos.

Tabla 7: Costos unitarios considerados en la evaluación de costos.

Tipo de Costo	Costo (USD/ton de contaminante)		
	MP	NOx	SO ₂
Medio	220	1.618	2.898

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Escenarios de evaluación

Para la presente evaluación se consideraron cuatro escenarios de emisión debido a que las condiciones de operación del año base (2013) de los principales establecimientos emisores no necesariamente corresponden al escenario futuro más probable. Por lo tanto, existe la posibilidad de que las empresas aumenten su disponibilidad o bien, en caso de encontrarse por debajo de los niveles normativos actuales, decidan ocupar esta holgura en su emisión. Por lo tanto, los escenarios de emisión descritos a continuación se proyectan en el futuro, de tal forma de verificar el cumplimiento de los estándares de calidad en la zona incluso en las condiciones más desfavorables.

Escenario 1: Concentración Actual, Operación Actual.

Este escenario corresponde básicamente a las condiciones de emisión observadas durante el año base (2013).

Escenario 2: Concentración Actual, Operación Alta.

En este escenario las empresas operan con los niveles de concentración observados el año 2013, pero aumentan su disponibilidad al máximo (98%).

Escenario 3: Concentración Máxima, Operación Actual.

El escenario 3 considera que se emite el máximo permitido o incluso por sobre ese nivel si se observó un nivel más alto el año 2013, en términos de concentración. La disponibilidad corresponde a la del año base.

Escenario 4: Concentración Máxima, Operación Alta.

Este escenario considera que se emite el máximo entre la concentración permitida y la observada, operando al máximo de disponibilidad.

Es importante destacar que para los escenarios 3 y 4 el único establecimiento que considera concentraciones máximas permitidas corresponde a AES GENER. La Tabla 8 muestra las concentraciones correspondientes a cada escenario.

Tabla 8: Concentración [mg/m³] unidades AES GENER por escenario.

Contaminante	Unidad	Esc1:		Esc2:		Esc3:		Esc4:	
		Conc. actual	Conc. Máxima	Conc. actual	Conc. Máxima	Conc. actual	Conc. Máxima	Conc. actual	Conc. Máxima
NOx	U1 GENER	800	800	800	800	800	800	800	800
NOx	U2 GENER	482	482	482	500	500	500	500	500
NOx	U3 GENER	257	257	257	500	500	500	500	500
NOx	U4 GENER	292	292	292	292	292	292	292	292
SO2	U1 GENER	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155	1.155
SO2	U2 GENER	425	425	425	425	425	425	425	425
SO2	U3 GENER	367	367	367	400	400	400	400	400
SO2	U4 GENER	408	408	408	408	408	408	408	408
MP	U1 GENER	36	36	36	36	36	36	36	36
MP	U2 GENER	42	42	42	42	42	42	42	42
MP	U3 GENER	6	6	6	50	50	50	50	50
MP	U4 GENER	14	14	14	50	50	50	50	50

Fuente: Declaración de emisiones AES GENER, año 2013.

En la Tabla 9 se muestra la disponibilidad de las fuentes de emisión de AES GENER, por escenario.

Tabla 9: Disponibilidad unidades AES GENER por escenario.

Unidad	Esc1:		Esc2:		Esc3:		Esc4:	
	Disp. actual	Disp. alta	Disp. actual	Disp. alta	Disp. actual	Disp. alta	Disp. actual	Disp. alta
U1 GENER	0,71	0,98	0,71	0,98	0,71	0,98	0,71	0,98
U2 GENER	0,87	0,98	0,87	0,98	0,87	0,98	0,87	0,98
U3 GENER	0,93	0,98	0,93	0,98	0,93	0,98	0,93	0,98
U4 GENER	0,76	0,98	0,76	0,98	0,76	0,98	0,76	0,98

Fuente: Elaboración propia en base a supuestos y Declaración de emisiones de AES GENER, 2013.

En el caso de CODELCO, la disponibilidad de sus fuentes para cada escenario se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10: Disponibilidad fuentes CODELCO, por escenario.

	Esc1: Disp. actual		Esc2: Disp. alta		Esc3: Disp. actual		Esc4: Disp. alta	
	Secador CODELCO	0,874	0,98	0,874	0,98	0,874	0,98	0,874
Horno CODELCO	0,962	0,98	0,962	0,98	0,962	0,98	0,962	0,98
PAS CODELCO	0,882	0,98	0,882	0,98	0,882	0,98	0,882	0,98
Tolva500 CODELCO	0,874	0,98	0,874	0,98	0,874	0,98	0,874	0,98
Horno CODELCO	0,915	0,98	0,915	0,98	0,915	0,98	0,915	0,98
HornoB CODELCO	0,6	0,98	0,6	0,98	0,6	0,98	0,6	0,98
Calderak CODELCO	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56

Fuente: Elaboración propia en base a supuestos y Declaración de emisiones de CODELCO, 2013.

Para ENAP los escenarios 1 y 3 suponen la disponibilidad actual del establecimiento, mientras que los escenarios 2 y 3 asumen que se está operando con un 98% de disponibilidad.

3.5. Resultados de evaluación de medidas

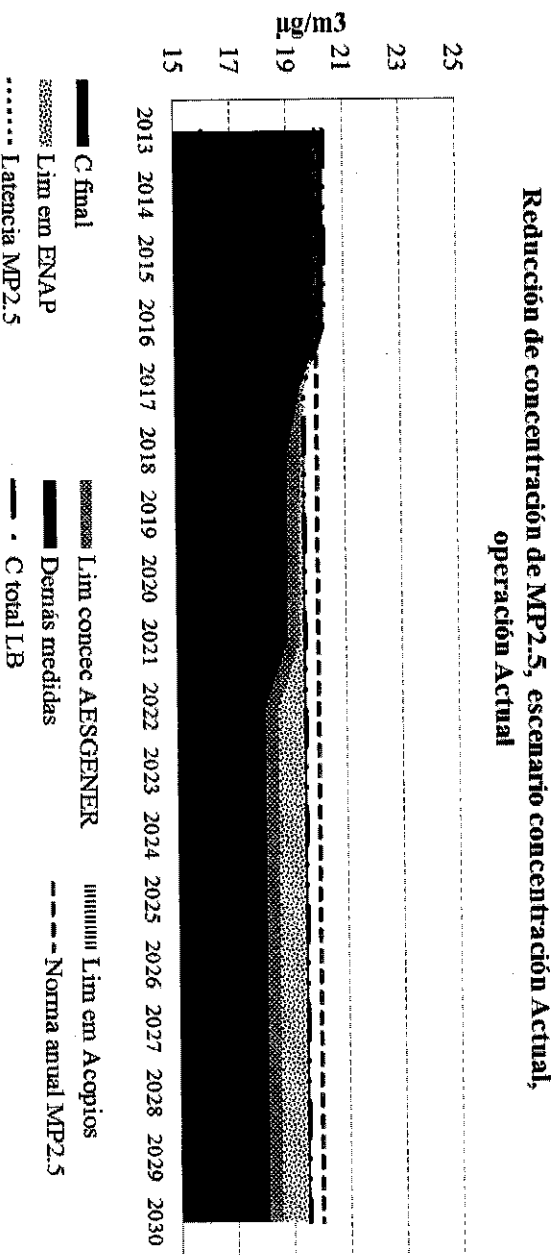
En esta sección se presentan los resultados de reducción de emisiones, concentraciones, y beneficios y costos asociados a las medidas del plan, para los cuatro escenarios descritos anteriormente.

3.5.1. Reducción de emisiones y concentraciones

En las siguientes figuras se muestra la evolución en la calidad del aire asociada a la implementación de las medidas establecidas en el anteproyecto. El foco del análisis está en el MP_{2.5} debido a que es el contaminante que origina la condición de saturación y cuyos estándares son más difíciles de cumplir en esta zona.

La Figura 5 muestra la evolución de concentración en la zona en caso de mantenerse las condiciones de operación de los principales emisores observadas en 2013 (Escenario 1). En este escenario sólo con las medidas de línea base (norma de termoelectricas y norma de fundiciones) sería suficiente para cumplir con los estándares de calidad.

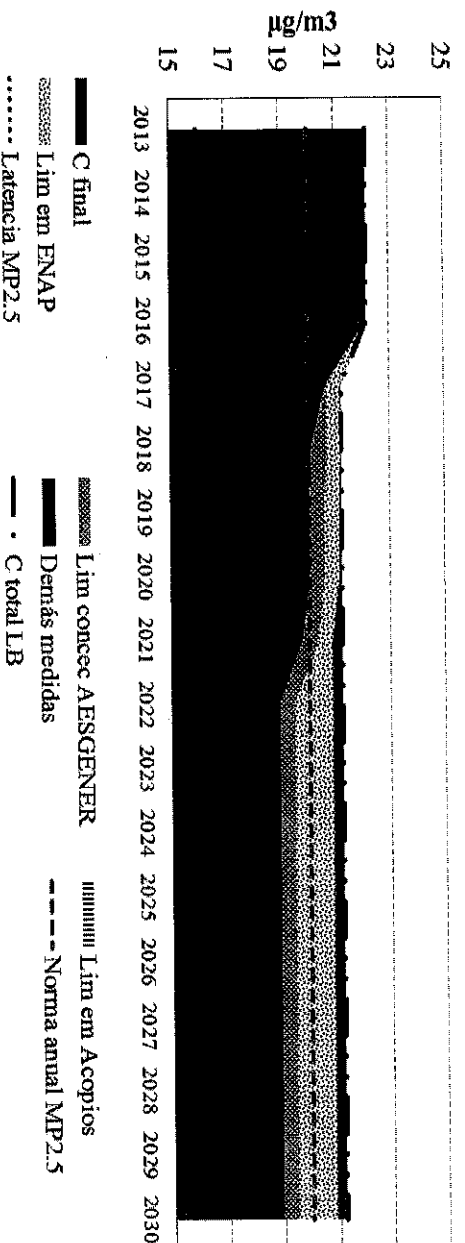
Figura 5: Concentración proyectada de MP_{2.5} para el Escenario 1.



La Figura 6 presenta la evolución de concentración de material particulado fino en el Escenario 2, en el que los tres principales emisores aumentan su disponibilidad, dando lugar a mayores emisiones que en el Escenario 1. En este caso el estándar de calidad no se cumpliría únicamente con las medidas de línea base, por lo que sería necesario implementar

medidas adicionales. Las medidas establecidas en el anteproyecto lograrían una concentración de MP_{2.5} por debajo de los estándares desde la entrada en vigencia del instrumento.

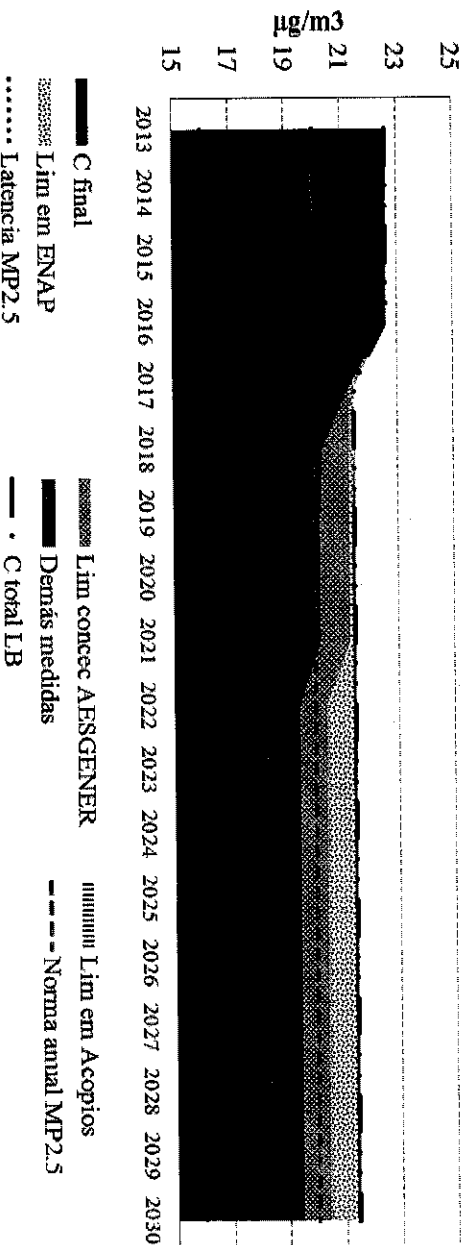
Figura 6: Concentración proyectada de MP_{2.5}, Escenario 2
Reducción de concentración de MP_{2.5}, escenario concentración Actual, operación Alta



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Concentración proyectada de MP_{2.5}, Escenario 3.

Reducción de concentración de MP_{2.5}, escenario concentración Máxima, operación Actual



Fuente: Elaboración propia

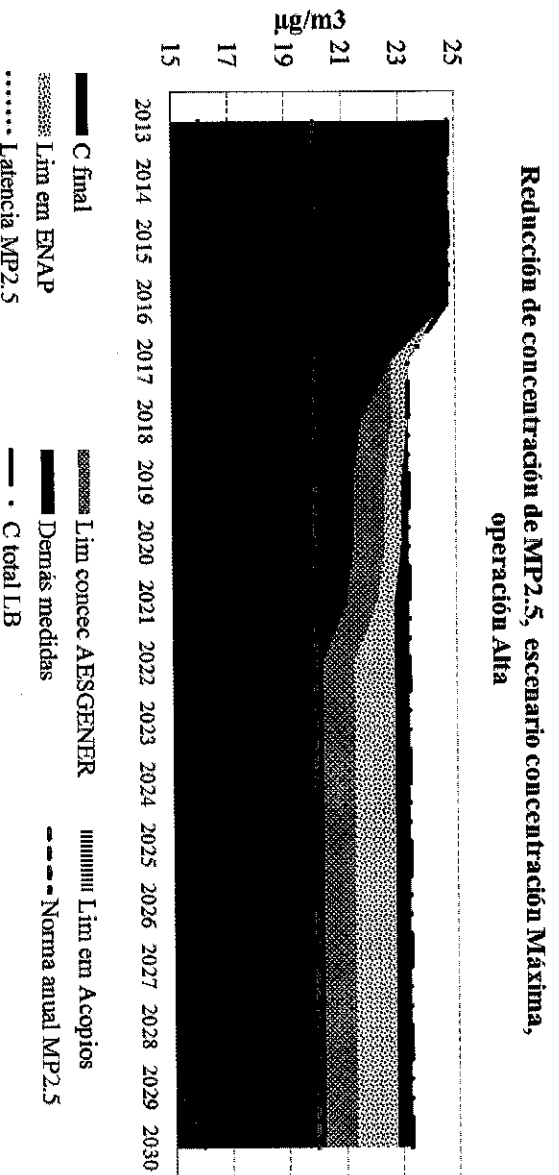
La Figura 7 presenta las proyecciones del Escenario 3, en el que AES GENER operaría con una concentración mayor a la observada durante el año 2013, pero esta empresa y las demás mantendrían la disponibilidad observada en el año 2013. Este escenario es similar al

anterior, y en este caso las medidas del plan serían necesarias para lograr el cumplimiento de la norma de calidad anual de MP_{2.5}.

Por último, la ad todas las medidas evaluadas.

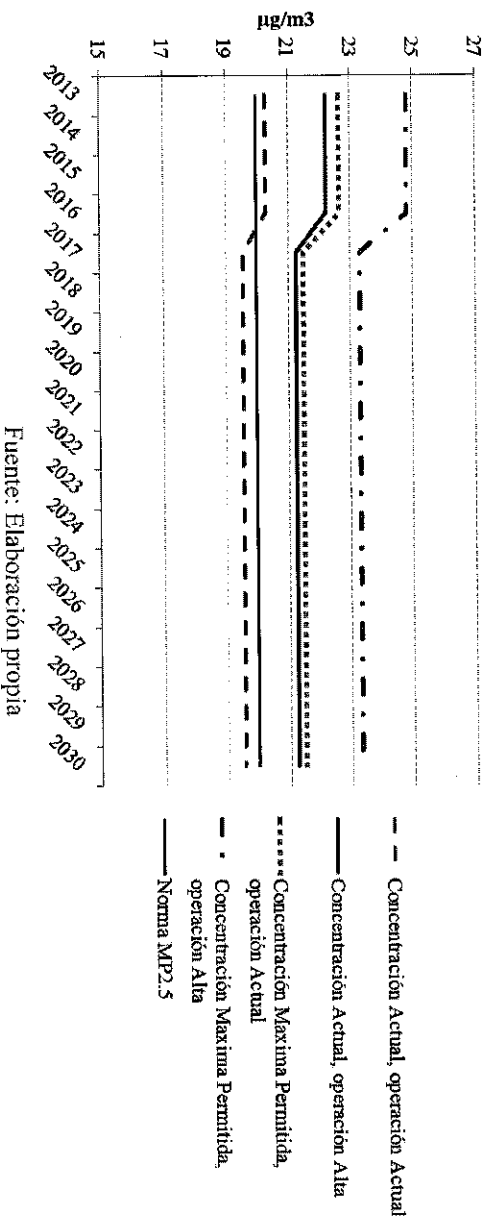
Figura 8 muestra la proyección de concentración en el tiempo para el Escenario 4. Este escenario representa la situación de emisiones más desfavorable, en la que todas las empresas aumentarían al máximo su disponibilidad y además AES GENER operaría con concentraciones máximas, esto es, con sus unidades 1 y 2 en incumplimiento y las unidades 3 y 4 en su concentración máxima permitida. En este escenario la concentración ambiental se aproximaría al estándar de calidad sólo si se implementan y cumplen a cabalidad todas las medidas evaluadas.

Figura 8: Concentración proyectada de MP_{2.5}, Escenario 4.



Con las medidas propuestas en el plan se verifica el cumplimiento de la norma de calidad anual de MP_{2.5} en todos escenarios evaluados, incluso en el más desfavorable en términos de emisiones, como se aprecia en la Figura 9.

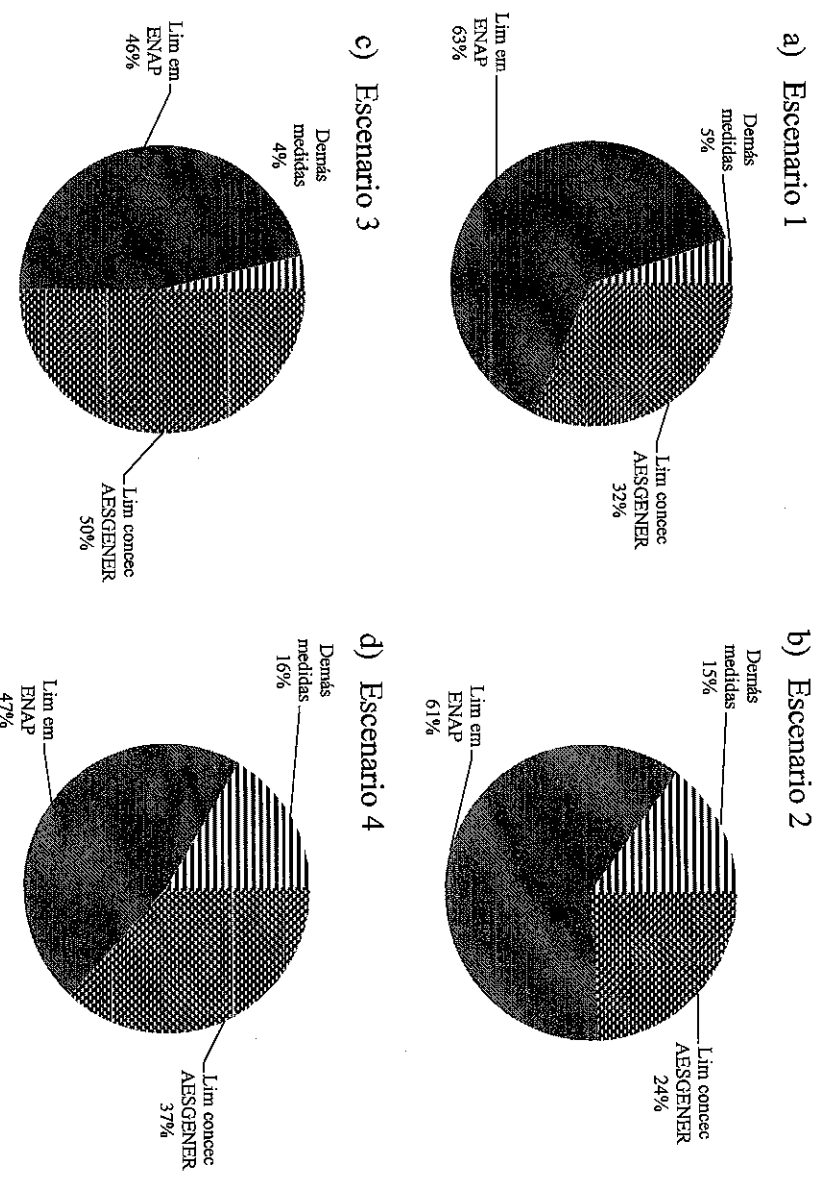
Figura 9: Concentración MP_{2.5} con medidas PDA, por escenario.
Concentración total IB por escenario MP_{2.5}



Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 presenta el aporte a la reducción de concentración de MP_{2.5} de las diferentes medidas por escenario. Se observa que en todos los escenarios, la medida con el mayor aporte es el límite de emisión establecido para ENAP, medida que contribuiría con entre un 50 y 80% de la reducción de emisiones.

Figura 10: Aporte a la reducción de concentración de MP_{2.5}, año 2030, por escenario.



Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reducción de emisiones por año y por contaminante se incluye en la sección 4.4 de Anexos. A continuación se presentan los resultados de reducción de emisión y concentración de MP_{2,5} por medida para los Escenarios 1 y 4. Las tablas para los escenarios 2 y 3 se presentan en la sección de 5.4 Anexos.

En las Tablas Tabla 11 y

Tabla 12 se aprecia el peso en la reducción de concentraciones que tienen las medidas de ENAP. En el Escenario 4 la disminución de las concentraciones se distribuye en CODELCO y AES GENER además de ENAP.

Tabla 11: Reducción de emisiones y concentración de MP_{2,5} respecto a la línea base, año 2030. Escenario 1: Concentración Actual, Operación Actual

Emisor	Medida	Línea Base (2030)		Reducción (2030)		% A Conc. Total	
		Emisión (Ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (Ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (%)	Conc. (%)
ENAP	Límite de emisión	425,34	2,48	186,94	0,92	36,92%	%
	Límite concentración	287,92	3,58	95,78	0,46	12,91%	1,82%
AES GENER	Límite emisión			0,00	0,00	0,00%	0,00%
	Límite emisión	190,60	2,77	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codeco	Límite emisión	15,38	0,08	13,55	0,07	86,96%	4,56%
Otras calderas	LE otras calderas	1,31	0,01	1,31	0,01	100,00%	0,45%
Quemas agrícolas	Proh quemas	471,73	10,66	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Otros sectores	Otros emisores						
Total		1.392,27	19,57	297,57	1,45		100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Reducción de emisiones y concentración de MP_{2,5} respecto a la línea base, año 2030. Escenario 4: Concentración Máxima, Operación Actual

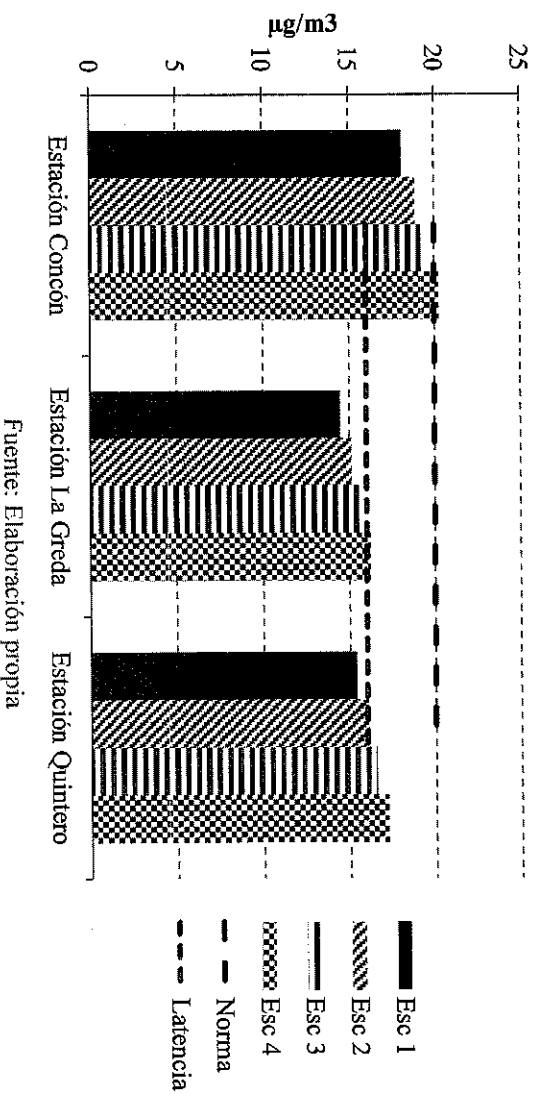
Emisor	Medida	Línea Base (2030)		Reducción (2030)		% A Conc. Total	
		Emisión (Ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (Ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (%)	Conc. (%)
ENAP	Límite de emisión	514,61	3,01	276,20	1,41	47,02%	61%
	Límite concentración	692,76	6,29	231,91	1,12	17,76%	90%
AES GENER	Límite emisión			0,00	0,16	2,48%	5,16%
	Límite emisión	237,60	3,27	14,50	0,27	8,23%	8,94%
Otras calderas	LE otras calderas	15,38	0,08	13,55	0,07	86,96%	2,18%
Quemas agrícolas	Proh quemas	1,31	0,01	1,31	0,01	100,00%	0,22%
Otros sectores	Otros emisores	471,73	10,66	0,00	0,16	1,47%	5,16%
Total		1.933,39	23,31	537,48	3,03		100%

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 presenta la concentración final luego de entradas en vigencia todas las medidas evaluadas para los cuatro escenarios en las estaciones de Concón, La Greda y

Quinteros. Para el $MP_{2,5}$ se observa que con Plan la estación de Concón cumple con la norma y se mantiene en latencia al 2030, mientras que la estación La Greda estaría fuera de la zona de latencia. Dependiendo del escenario la estación Quintero estaría dentro o fuera de condición de latencia.

Figura 11: Concentración final PPD4 de $MP_{2,5}$ por estación y escenario.
Concentración final PPD4 por estación y escenario $MP_{2,5}$



Los resultados para el MP_{10} se encuentran en la sección 5.6 de Anexos.

3.5.2. Casos evitados de mortalidad y morbilidad

La disminución de concentración de $MP_{2,5}$ y MP_{10} se asocia a la reducción de casos de mortalidad y morbilidad en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. La metodología para la estimación de casos evitados se describe en la sección 5.9 de Anexos.

Las siguientes tablas muestran el detalle de los casos evitados según escenario. Los casos de mortalidad anuales para el año 2030 van desde 4,8 para el Escenario 1 hasta 10 casos en el Escenario 4, mientras que los casos agregados en el periodo 2017-2030 van desde 44 a 98, dependiendo del escenario de evaluación.

Tabla 13: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, Escenario 1.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados		Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados		Intervalo de confianza (IC) al 90%
			2030 (Percentil 50)	2017-2030 (Percentil 50)		2017-2030 (Percentil 50)	2017-2030 (Percentil 90)	
Mortalidad	$MP_{2,5}$	Cardiopulmonar largo plazo	4,9	44	[2,52 - 7,22]	1	[22,92 - 65,67]	
	MP_{10}	Todas las causas largo plazo	0	1	[0,05 - 0,13]	1	[0,54 - 1,34]	

Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	0	[0,05 - 0,11]	1	[0,53 - 1,34]
	MP2.5	Cardiovascular	1	[0,91 - 1,73]	13	[8,66 - 16,5]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	0	[-0,07 - 0,35]	1	[-0,53 - 3,31]
	MP2.5	Neumonía	1	[0,55 - 2,01]	12	[5,06 - 18,57]
	MP10	Bronquitis	1	[0,12 - 1,89]	13	[1,51 - 24,05]
	MP10	Bronquitis crónica	1	[0,63 - 1,57]	10	[6 - 14,76]
	MP2.5	Asma	56	[18,15 - 92,87]	698	[228,27 - 1168,12]
	MP2.5	Días laborales	750	[669,45 - 830,38]	8.120	[7249 - 8991]
	MP2.5	Días de actividad restringida	3.124	[2862,45 - 3385,45]	33.941	[31100 - 36782]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	5.884	[5121,75 - 6645,91]	63.926	[55647 - 72206]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	56	[18,15 - 92,87]	698	[228,27 - 1168,12]
Productividad perdida	MP2.5	Días de actividad restringida	3.124	[2862,45 - 3385,45]	33.941	[31100 - 36782]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	5.884	[5121,75 - 6645,91]	63.926	[55647 - 72206]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, Escenario 2.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	7,8	[4,02 - 11,52]	73	[38,03 - 108,91]
	MP10	Todas las causas largo plazo	0	[0,08 - 0,2]	2	[0,91 - 2,28]
	MP2.5	Asma (crónica)	0	[0,07 - 0,18]	2	[0,87 - 2,24]
	MP2.5	Cardiovascular	2	[1,46 - 2,77]	21	[14,42 - 27,43]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	0	[-0,1 - 0,56]	2	[-0,87 - 5,49]
	MP2.5	Neumonía	2	[0,87 - 3,2]	20	[8,39 - 30,81]
	MP10	Bronquitis	2	[0,18 - 2,87]	22	[2,59 - 41,39]
	MP10	Bronquitis crónica	2	[0,96 - 2,37]	17	[9,79 - 24,16]

Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	89	[28,96 - 148,18]	1.177	[384,93 - 1969,83]
	MP2.5	Días laborales	1.197	[1068,23 - 1325,02]	13.577	[12121 - 15034]
Productividad perdida	MP2.5	Días de actividad restringida	4.985	[4567,56 - 5402,09]	56.771	[52019 - 61523]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	9.389	[8172,68 - 10604,74]	106.926	[93077 - 120775]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad. Escenario 3.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2030	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2017-2030	Intervalo de confianza (IC) al 90%
			(Percentil 50)	(IC)	(Percentil 50)	(IC)
Mortalidad	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	6,7	[3,45 - 9,87]	63	[32,74 - 93,7]
	MP10	Todas las causas largo plazo	0	[0,06 - 0,16]	1	[0,7 - 1,73]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	0	[0,06 - 0,16]	1	[0,74 - 1,94]
	MP2.5	Cardiovascular	2	[1,25 - 2,37]	18	[12,37 - 23,61]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	0	[-0,09 - 0,48]	2	[-0,75 - 4,73]
	MP2.5	Neumonía	2	[0,75 - 2,74]	17	[7,23 - 26,49]
	MP10	Bronquitis	1	[0,14 - 2,31]	17	[1,96 - 31,26]
	MP10	Bronquitis crónica	1	[0,77 - 1,91]	13	[7,59 - 18,73]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	76	[24,8 - 126,93]	1.013	[331,22 - 1695,02]
	MP2.5	Días laborales	1.025	[915,03 - 1135]	11.684	[10431 - 12938]
Productividad perdida	MP2.5	Días de actividad restringida	4.270	[3912,52 - 4627,37]	48.834	[44765 - 52944]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	8.042	[7000,62 - 9083,89]	92.015	[80097 - 103933]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, Escenario 4.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2017-2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	10,2	[5,27 - 15,08]	99	[51,01 - 146,07]
	MP10	Todas las causas largo plazo	0	[0,09 - 0,23]	2	[1,05 - 2,73]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	0	[0,09 - 0,24]	2	[1,2 - 3,03]
	MP2.5	Cardiovascular	3	[1,91 - 3,62]	28	[19,33 - 36,83]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	0	[-0,14 - 0,73]	3	[-1,14 - 7,38]
	MP2.5	Neumonía	3	[1,14 - 4,19]	26	[11,27 - 41,34]
	MP10	Bronquitis	2	[0,21 - 3,36]	27	[3,13 - 49,91]
	MP10	Bronquitis crónica	2	[1,13 - 2,78]	20	[11,7 - 28,89]
	MP2.5	Asma	116	[37,9 - 193,94]	1.592	[520,52 - 2663,72]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	1.566	[1398,09 - 1734,19]	18.286	[16324 - 20248]
	MP2.5	Días de actividad restringida	6.524	[5978,02 - 7070,25]	76.471	[70069 - 82872]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	12.288	[10696,4 - 13879,47]	144.029	[125374 - 162684]

Fuente: Elaboración propia

3.6. Indicadores económicos

En esta sección se presentan los indicadores económicos de las diferentes medidas por escenario. El valor presente de los beneficios se encuentra entre 19,3 y 43 millones de dólares, dependiendo del escenario modelado; mientras que los costos están entre 2,5 y 43 millones de dólares.

Tabla 17: Indicadores económicos Escenario 1.

Medida	Millones de dólares			B/C
	VP Beneficio	VP Costo	VP Costo Neto	
Límite de emisión ENAP	10,93	15	5,08	
Límite concentración AES GENER	7,26	0,22	0,00	
Límite emisión AES GENER	0,00	0,00	0,00	
Límite emisión CODELCO	0,00	0,00	0,00	
Límite emisión otras calderas	0,96	0,14	-0,81	6,85
Prohibición quemas agrícolas	0,11	0,03	-0,08	4,11
Total	19,26	2,54	-16,72	7,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Indicadores económicos Escenario 2.

Medida	Millones de dólares			B/C
	VP Beneficio	VP Costo	VP Costo Neto	
Límite de emisión ENAP	19,03	8,38	-10,65	2,27
Límite concentración AES GENER	8,80	0,27	-8,53	0,00
Límite emisión AES GENER	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión CODELCO	3,29	23,33	-20,04	0,14
Límite emisión otras calderas	0,96	0,14	-0,82	6,85
Prohibición quemas agrícolas	0,11	0,03	-0,08	4,11
Total	32,19	32,14	-0,05	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Indicadores económicos Escenario 3.

Medida	Millones de dólares			B/C
	VP Beneficio	VP Costo	VP Costo Neto	
Límite de emisión ENAP	10,93	2,15	5,08	
Límite concentración AES GENER	15,63	0,47	0,00	
Límite emisión AES GENER	0,00	0,00	0,00	
Límite emisión CODELCO	0,00	0,00	0,00	
Límite emisión otras calderas	0,96	0,14	-0,81	6,85
Prohibición quemas agrícolas	0,11	0,03	-0,08	4,11
Total	27,63	2,79	-24,84	9,90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Indicadores económicos Escenario 4.

Medida	Millones de dólares			B/C
	VP Beneficio	VP Costo	VP Costo Neto	
Límite de emisión ENAP	19,03	8,38	-10,65	2,27
Límite concentración AES GENER	17,58	0,53	-17,05	0,00
Límite emisión AES GENER	2,26	10,83	8,57	0,21
Límite emisión CODELCO	3,29	23,33	-20,04	0,14
Límite emisión otras calderas	0,96	0,14	-0,82	6,85
Prohibición quemas agrícolas	0,11	0,03	-0,08	4,11
Total	43,23	43,23	0,00	1,00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 25 compara los indicadores económicos de los cuatro escenarios modelados.

Tabla 21: Comparación de indicadores económicos por escenario

Medida	Millones de dólares			B/C
	VP Beneficio	VP Costo	VP Costo Neto	
Escenario 1	19,26	2,54	-16,72	7,59
Escenario 2	32,19	32,14	-0,05	1,00
Escenario 3	27,63	2,79	-24,84	9,90
Escenario 4	43,23	43,23	0,00	1,00

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los costos son menores o iguales a los beneficios en los cuatro escenarios. Sin embargo, es necesario considerar que existen beneficios que no han sido valorizados y que los antecedentes entregados en esta evaluación económica constituyen una de muchas otras consideraciones para formular la política ambiental. En particular, las comunas de Quintero y Puchuncaví han sido definidas por el Ministerio del Medio Ambiente como territorios vulnerables, esto debido a que el significativo desarrollo industrial y energético ha sometido históricamente a una gran presión ambiental al territorio, sumado a condiciones socioeconómicas desfavorables.

4. Comentarios Finales

En las comunas Concón, Quintero y Puchuncaví las concentraciones ambientales de material particulado respirable fino (MP_{2,5}) superan las normas de calidad primaria anual. Mientras que para el MP_{2,5} en su métrica diaria y para el material respirable grueso (MP₁₀) los valores la posicionan en calidad de latencia.

El Anteproyecto presenta medidas de reducción de emisiones principalmente orientadas al sector industrial. El inventario de emisiones indica que las empresas que más aportan a la emisión total de MP y los precursores de MP_{2,5} son AES GENER, CODELCO y ENAP. Sin embargo, el sector transporte contribuye un 9,6% de las emisiones totales de NOx.

Los Análisis Generales de Impacto Económico y Social (AGIES) realizan análisis de costo beneficio de las medidas propuestas en el Plan con el objeto de apoyar a los tomadores de decisión en un esfuerzo por hacer que las medidas de política ambiental sean más eficientes y eficaces. En este contexto, a través del presente AGIES se puede concluir lo siguiente:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas para los escenarios del Anteproyecto permitirían cumplir la norma anual de MP_{2,5} en el año 2022, en su escenario más estricto (4) esto significa salir del estado de saturación antes del término del período de evaluación (2030).
- La reducción de emisiones generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas y mejoras en la vulnerabilidad ambiental de la zona, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman entre los US\$19,3 - 43 millones⁶, para un horizonte de evaluación de 14 años⁷. Es importante destacar que la mayoría de estos beneficios son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad.
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 14 años, varían entre 2,5 y 43 millones de dólares⁸, dependiendo del escenario evaluado. (Figura D).
- La implementación de este PPDa tiene una razón beneficio-costo que va entre 1 y 9,9 dependiendo del escenario evaluado (Figura D). La mayor proporción de las medidas apunta al sector industrial.

⁶ Beneficio potescenario en millones USD\$: (1)18,6; (2) 32,32; (3) 25,36; (4) 42

⁷ Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iraguen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=14 años / Tipo cambio dólar: 669,5CLP / Tipo cambio UF: 25,820 CLP.

⁸ Costos por escenario en millones USD\$: (1) 284,23 USD\$, (2) 984,61 USD\$, (3) 284,48 USD\$ y (4) 995,7 USD\$.

5. Anexos

5.1. Metodología Inventario de Emisiones

5.1.1. Supuestos de fracciones de MP

Considerando que las empresas declaran sus emisiones para MP, se asumieron factores de conversión para las fracciones fina (MP_{2,5}) y gruesa (MP₁₀) respecto del MP. Para el Cracking Catalítico se supuso⁹ que un 0,5 y 0,3 del MP corresponde a MP₁₀ y MP_{2,5}, respectivamente. Para la torre de enfriamiento y el proceso de coquificación se supuso la fracción de MP_{2,5} respecto del MP según la proporción reportada en el inventario de Ambiosis (2011), lo cual se detalla en la Tabla 22. Para estas dos fuentes se asume que el MP₁₀ es igual al MP. Las calderas, electrogénos y otros procesos de combustión se suponen según fracciones de combustión reportadas por la US EPA¹⁰. Para los hornos de ENAP se realizó el supuesto de que las fracciones de MP fino y grueso son equivalentes al promedio de las fracciones de los hornos de CODELCO, detalladas en la Tabla 23.

Tabla 22: Fracción del MP_{2,5} y MP₁₀ respecto del MP, según tipo de fuente, para ENAP.

Tipos de fuente ENAP	Fracción MP _{2,5}	Fracción MP ₁₀
Calderas y electrogénos	0,97	0,99
Cracking catalítico	0,30	0,50
Torre enfriamiento y coquificación	0,50	1,00
Hornos	0,76	0,88

Fuente: elaboración propia

Para las unidades de AES GENER las fracciones fina y gruesa se supusieron según C. Ehrlich (2007) y EPA (1995), respectivamente. Para CODELCO las fracciones de todas las fuentes excepto acopios y calderas se estimaron según las proporciones reportadas en el inventario de Ambiosis (2011). Las fracciones para las emisiones de los acopios se supusieron según lo estimado en Geoaire Ambiental Limitada (2015), asumiendo que el MP equivale al MP₁₀. Las fracciones para las canchas se supusieron según estimaciones de la EPA (1995)¹¹. Finalmente, para las emisiones urbanas y de transporte se supusieron las mismas proporciones reportadas en el inventario de Ambiosis (2011), mientras que para las calderas y grupos electrogénos de las otras empresas se utilizaron los mismos supuestos que para ENAP.

⁹ Table 5-2 del reporte "Emission Estimation Protocol for Petroleum Refineries" (RTI International, 2011), la cual detalla la distribución por defecto del tamaño del MP para unidades de cracking catalítico sin abatimiento https://www3.epa.gov/ttnchie1/efac/protocol/Emission_Estimation_Protocol_for_Petroleum_Refinerie_052011.pdf

¹⁰ "Crude oil combustion" Figure 2-2.

¹¹ "Road and soil dust" Figure 2-2.

Tabla 23: Fracción del MP_{2.5} y MP₁₀ respecto del MP, según tipo de fuente, para AES GENER, CODELCO y otro tipo de fuentes.

Empresa	Tipos de fuente	Fracción MP _{2.5}	Fracción MP ₁₀
AES GENER	Calderas termoeléctricas	0,75	0,92
	Secador Rotatorio	0,75	0,88
	Horno Eléctrico	0,75	0,88
	Planta de Acido Sulfúrico	0,51	0,88
	Tolva 500	0,88	0,88
	Horno Refino	0,65	0,88
	Horno Basculante	0,88	0,88
	Calderas Kewanee	0,97	0,99
	Fugetivas	0,55	0,88
	Acopios	0,15	1,00
Otras	Calderas y grupos electrógenos	0,97	0,99
	Urbana	0,97	1
	Transporte	0,93	1
	Canchas	0,107	0,523
	Aridos	0,152	1
	Acopios	0,156	1

5.1.2. Nuevos sectores: leña, quemas agrícolas e incendios forestales

El inventario de Geoaire Ambiental Limitada (2015) no definió explícitamente las emisiones por combustión de leña para el sector residencial, pero las incluyó dentro de las emisiones urbanas, en base al inventario de Ambiosis (2011). Para mejorar la estimación de esta fuente de emisión, se sustrajo la contribución de leña incluida en las estimaciones de Geoaire y se recalcularon las emisiones (ton/año) en base a una estimación del consumo de leña de las comunas y a un factor de emisión.

$$Emisión_{leña} = Consumo \cdot FE_{leña} \cdot 10^{-6}$$

El consumo (kg) se estima según los datos de la encuesta CASEN (2013) para el total de las tres comunas multiplicando el número de hogares, la proporción de éstos que consume leña y el consumo de leña por hogar. Respecto de la proporción y el consumo de leña se utilizan los datos regionales reportados en las preguntas respecto de si las personas utilizan leña en su hogar (pregunta 36: “¿en el último año ha utilizado leña en su hogar?”) y la cantidad utilizada (pregunta 37: “¿cuántos kilos de leña?”). Se utilizaron los datos regionales debido a la baja representatividad de los datos comunales. En la Tabla 24 se muestra el consumo total de leña estimado y los datos utilizados para su cálculo.

Tabla 24: Datos utilizados para estimar el consumo de leña de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Datos consumo de leña	Valor
Número de hogares comunas	34.574
Proporción que consume leña (%)	21,6%
Consumo de leña por hogar (kg)	672
Consumo total de leña (kg)	5.019.428

Fuente: Elaboración propia en base a datos de encuesta CASEN (MIDEPLAN 2013).

En la Tabla 25 a continuación se muestran los factores de emisión base (leña seca y operación con tiraje abierto) utilizados por tipo de equipo. Para la estimación de las emisiones totales del sector se asumieron diferentes factores de emisión ajustados según la condición de humedad de la leña (seca, semi-húmeda y húmeda) y según el tipo de operación del tiraje (abierto, mitad y cerrado). Además, se supuso una distribución de los equipos en las comunas.

Tabla 25: Factores de emisión de equipos de calefacción residencial.

Equipo	Factor de Emisión (gr/kg.año)				Distribución de equipos (%)
	MP	MP ₁₀	MP ₂₅	SO _x	
Chimenea	16,6	16,6	16,1	0,2	1,3
Salamandra	16,6	16,6	16,1	0,2	1,3
Combustión Simple	15,3	15,3	14,9	0,2	1,3
Doble Cámara Básica	8,3	8,3	8,1	0,2	1,3
Cocina a Leña	16,6	16,6	16,1	0,2	1,3

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2013)

Para el sector de quemas agrícolas las emisiones se estimaron de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \sum_j \sum_i \text{N}^\circ \text{Hectáreas}_{ij} * FC_i * FE_i$$

Donde:

Emisiones: Emisiones de quemas agrícolas [kg/año]*NºHectáreas_{ij}*: Número de hectáreas quemadas del cultivo *j* el mes *i* [ha/mes]*FC_i*: Factor de carga, cantidad de toneladas de cultivo *i* por unidad de superficie [ton/ha]*FE_i*: Factor de emisión por cultivo *i* [kg contaminante/ton]

Con respecto a la fuente de la información utilizada, el número de hectáreas quemadas por cultivo y mes se obtiene del Reporte de Situación Específica de Avisos (GEORFE) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas de CONAF¹². La Tabla 26 detalla la superficie agrícola quemada para el año 2013.

¹² <http://saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=17539376715682de64a49eb>

Tabla 26: Superficie agrícola quemada para el año base (2013).

Cultivo	Superficie quemada (ha)
Otros	4,11
Ramas	4,98
Desecho de pino	0,75
Desecho de Eucaliptus	1,24
Desecho de otras plantaciones	1,00
Total	12,32

Fuente: Elaboración propia en base a CONAF.

El factor de carga y factores de emisión provienen de la recopilación hecha por (MMA 2013) y se detallan en la Tabla 27.

Tabla 27: Factores de emisión de quemas agrícolas por cultivo.

Cultivo	Factor de Emisión (ton/ha)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO _x	NO _x
Otros	0,119	0,119	0,115	0,004	0,036
Ramas	0,045	0,045	0,038	0,013	0,039
Desecho de pino	0,364	0,364	0,309	0,208	0,198
Desecho de Eucaliptus	0,302	0,302	0,257	0,173	0,164
Desecho de otras plantaciones	0,109	0,109	0,093	0,063	0,059

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de reducción de emisiones se considera el número de hectáreas que se dejarán de quemar, lo que según el anteproyecto corresponde al total de éstas, a las que se asigna el costo unitario.

Finalmente, para el cálculo de las emisiones por incendios forestales se consideran las hectáreas afectadas en el año base, correspondientes a 111 ha, multiplicadas por un factor de emisión (DICTUC 2015).

Tabla 28: Factor de emisión para incendios forestales.

Parámetro	Factor de Emisión (kg/ha)
MP	571,6
MP ₁₀	571,6
MP _{2,5}	548,7
SO _x	0,0
NO _x	131,1

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Nuevos sectores: calderas

Para el cálculo de las emisiones para calderas, se utilizó una base de datos (Sistam 2013) que contiene los datos de calderas a nivel comunal y diferenciadas para calderas industriales (IN), calderas de calefacción (CA) y calderas Recuperadoras (RE). Para estimar

las emisiones de las fracciones de MP fino y grueso (en base a las emisiones totales de MP de la base de datos de Sistan) se consideró que el MP_{2,5} correspondía a un 97,5% del MP, mientras que el MP₁₀ a un 99,2% del MP.

5.2. Inventario de Emisiones Otras empresas

Tabla 29: Inventario detallado de "Otras empresas".

Otras Empresas	Emisión (ton/año)				
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	NOx	SO ₂
Abastecedora de Combustibles S.A.	6,9	6,9	6,8	4,0	2,0
Administradora de Supermercado Express Ltda.	5,9	5,9	5,8	17,0	15,0
AGA S.A.	14,9	14,9	14,6	138,0	0,0
Asfaltos Chilenos S.A.	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0
Banco de Chile	1,0	1,0	1,0	1,0	15,0
Banco del Estado de Chile	0,0	0,0	0,0	24,0	12,0
Banco Santander Santiago	0,0	0,0	0,0	4,0	2,0
BASF Chile S.A.	17,8	17,8	17,5	5,0	15,0
COPEC S.A.	1,0	1,0	1,0	2,0	7,0
Constructora de Pavimentos Asfálticos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Empresa Nacional de Electricidad S.A.	5,0	5,0	4,9	60,0	0,0
Empresas Lipigas S.A.	0,0	0,0	0,0	8,0	4,0
BSVAL S.A.	15,8	15,8	15,5	25,0	32,0
Fábrica de Bebidas Analcohólicas	5,0	5,0	4,9	1,0	13,0
GNL Quintero S.A.	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
Hidroeléctrica La Higuera S.A.	159,4	159,4	156,2	609,0	0,0
N/A	0,0	0,0	0,0	12,0	10,0
Otros	44,0	40,8	34,5	1,148,9	8,7
OXIQUIM S.A.	6,9	6,9	6,8	8,0	5,0
Paris S.A.	5,0	5,0	4,9	10,0	10,0
Pesquera Quintero S.A.	1,0	1,0	1,0	2,0	7,0
Puerto Ventanas S.A.	16,3	4,0	3,9	4,0	7,0
RENDIC Hnos S.A.	1,0	1,0	1,0	8,0	8,0
Servicio de Salud Viña del Mar-Quillota	1,0	1,0	1,0	2,0	5,0
TECNORED S.A.	0,0	0,0	0,0	27,0	0,0
Total Otras empresas	309	293	282	2,126	187

5.3. Factor Emisión Concentración

Para estimar el Factor Emisión-Concentración (FEC) se utiliza el resultado de la modelación de calidad del aire utilizado en (Geoaire Ambiental Limitada 2015). La Tabla

AGIES PPDA de las comunas de Concepción, Quintero y Puchuncaví

30 presenta el aporte a la concentración de $MP_{2,5}$ que tienen las emisiones directas de este contaminante, así como el aporte de sus precursores.

Tabla 30: Concentración de $MP_{2,5}$, emisiones directas y precursores.

Estación	Concentración Media Anual ($\mu g/m^3$)			
	$MP_{2,5}$	NOx	SO ₂	TOTAL
La Greda	2,64	0,91	3,10	6,6
Los Maitenes	1,33	1,05	3,37	5,7
Ventanas	4,67	0,95	3,50	9,1
Sur	2,38	1,08	2,17	5,6
Valle Alegre	0,91	1,22	1,70	3,8
Puchuncaví	2,24	1,15	2,26	5,7
Quintero	2,48	0,81	2,14	5,4
Concón	18,55	1,28	0,95	20,8
Junta de vecinos	9,71	1,16	0,84	11,7
Colmo	5,56	1,13	0,88	7,6
Las Gavioyas	9,25	1,24	0,96	11,5
Promedio	5,43	1,09	1,99	8,51

Fuente: (Geoaire Ambiental Limitada 2015).

Considerando el aporte promedio a la concentración de $MP_{2,5}$ de los distintos contaminantes y el inventario de emisión considerado en la modelación (ver Tabla 31) se estima el FEC que será utilizado en la evaluación.

Tabla 31: Inventario de emisión utilizado en modelación de calidad del aire por GeoAire.

Tipo	Fuente	Emisión 2013 (ton/año)		
		$MP_{2,5}$	NOx	SO ₂
Puntual	AES GENNER	382	8.557	10.501
	Fundición CODELCO	133	0	13.743
	ENAP	1.140	1.197	1.711
	Otras puntuales (DS 138)	255	979	178
	<i>Sub Total</i>	<i>1.910</i>	<i>10.733</i>	<i>25.933</i>
	Urbana Puchuncaví	20,8	3,4	0,4
	Urbana Quintero	18,6	4,2	0,4
	Urbana Concepción	24,5	8,3	0,3
	Transporte Puchuncaví	10	366,3	2,2
	Transporte Quintero	3,7	152,2	1,2
Areal	Transporte Concepción	21,9	619,5	5
	Acopios de CODELCO	4,1	0	0
	Acopios de AES GENNER	0,8	0	0
	Acopios Puerto Ventana y Catamutún	1,9	0	0

	Acopio Planta Cementera	0,5	0	0
	Canchas deportivas	0,04	0	0
	Plantas de áridos	3,7	0	0
	<i>Sub Total</i>	<i>110,5</i>	<i>1153,9</i>	<i>9,5</i>
	TOTAL	2.021	11.887	25.943

Fuente: (Geoaire Ambiental Limitada 2015).

Cabe hacer notar que la emisión de MP_{2,5} utilizada en el estudio difiere de la emisión estimada por el Departamento de Economía Ambiental. Sin embargo, el FEC inicialmente se calcula con dicho inventario y luego se ajusta para ser consistente con el inventario utilizado en la evaluación económica y además replicar las condiciones de calidad del aire en la zona de Ventanas.

El FEC sin ajustar se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$FEC_{sin\ ajustar,i} = \frac{Emisi\o{n}_i}{Concentraci\o{n}_i}$$

Al aplicar la fórmula anterior se obtiene el FEC sin ajustar detallados en la Tabla 32.

Tabla 32: Factor emisión-concentración por contaminante sin ajustar para MP_{2,5} (ton/µg/m³)

	MP _{2,5}	NOx	SO ₂
FEC MP _{2,5} sin ajustar	372,2	10.908,5	13.059,2

Fuente: Elaboración propia en base a (Geoaire Ambiental Limitada 2015).

Finalmente, el FEC se ajusta aplicando las siguientes ecuaciones, de acuerdo al inventario estimado por el Departamento de Economía Ambiental (ver Anexo 5.1 Inventario de Emisiones), a la concentración de la zona y a los niveles de concentración basal o *background* asumidos:

$$Factor\ ajuste = \frac{\sum_i Emisi\o{n}_i * FEC_i}{C_{observada} - C_{background}}$$

El FEC final a utilizar esta dado por la siguiente expresión:

$$FEC_{ajustado,i} = Factor\ ajuste * FEC_{sin\ ajustar,i}$$

En la Tabla 33 se presentan tanto la concentración utilizada, correspondiente a la estación de Concepción, como los niveles de *background* asumidos para el MP₁₀ y MP_{2,5}.

Tabla 33: Concentración observada inicial y concentración de *background* utilizadas [µg/m³]

	MP ₁₀	MP _{2,5}
Concentración observada	43	20,3
<i>Background</i>	18	8

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del FEC para el MP₁₀, se considera que los precursores lo afectan de la misma manera que al material particulado fino, mientras que el FEC para la fracción MP_{10-2,5} se estima de forma que explique la diferencia de concentración observada entre MP₁₀ y MP_{2,5}. El FEC ajustado resultante para MP₁₀ y MP_{2,5} se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34: Factor emisión concentración ajustado para MP₁₀ y MP_{2,5} en [ton/μg/m³]

	MP ₁₀ -MP _{2,5}	MP _{2,5}	NOx	SO ₂
FEC MP _{2,5} ajustado		207,3	6.074,9	7.272,6
FEC MP ₁₀ ajustado	46	207,3	6.074,9	7.272,6

Fuente: Elaboración propia.

Por último, el cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso MP_{2,5} y MP₁₀ se estima como:

$$\Delta C_p = \sum_1 \frac{\Delta E_i}{FEC_i}$$

Donde el subíndice i corresponde a MP₁₀, MP_{2,5}, NOx y SOx.

5.4. Reducción de emisiones y concentraciones de MP_{2,5}

Tabla 35: Reducción de emisiones y concentración de MP_{2,5} respecto a la línea base, año 2030. Escenario 2: Concentración Actual, Operación Alta

Empresarios	Límite de emisión (kg/año)	Línea Base 2030		Reducción (A) 2030		% A Conc. empresa	% A Conc. total
		Emisión (kg/año)	Conc. (µg/m ³)	A Emisión (Ton/año)	A Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	514,61	3,01	276,20	1,41	47,02%	0%
AES GENER	Límite concentración	349,37	4,22	116,04	0,56	13,26%	24,16%
	Límite emisión			0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codelco	Límite emisión	227,60	3,27	14,50	0,27	8,23%	11,70%
Otras calderas	LE otras calderas	15,38	0,08	13,55	0,07	86,96%	2,86%
Quemas agrícolas	Proh quemas	1,31	0,01	1,31	0,01	100,00%	0,28%
Otros sectores	Otros emisores	471,73	10,66	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Total		1.590,00	21,23	421,60	2,32		100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Reducción de emisiones y concentración de MP_{2,5} respecto a la línea base, año 2030. Escenario 3: Concentración Máxima, Operación Actual

Empresarios	Límite de emisión (kg/año)	Línea Base 2030		Reducción (A) 2030		% A Conc. empresa	% A Conc. total
		Emisión (kg/año)	Conc. (µg/m ³)	A Emisión (Ton/año)	A Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	425,34	2,48	186,94	0,92	36,92%	21%
AES GENER	Límite concentración	599,96	5,48	206,19	0,99	18,14%	2%
	Límite emisión			0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codelco	Límite emisión	190,60	2,77	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Otras calderas	LE otras calderas	15,38	0,08	13,55	0,07	86,96%	3,34%
Quemas agrícolas	Proh quemas	1,31	0,01	1,31	0,01	100,00%	0,33%
Otros sectores	Otros emisores	471,73	10,66	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Total		1.704,31	21,48	407,98	1,98		100%

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Reducción de emisiones y concentraciones de MP₁₀Tabla 37. Reducción de emisiones y concentración de MP₁₀ respecto a la línea base, año 2030. Escenario 1: Concentración Actual, Operación Actual

Empresarios Sectores	Método	Línea Base 2030		Reducción (Δ) 2030		% Δ Conc. empresa	% Δ Conc. total
		Emisión (ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Δ Emisión (ton/año)	Δ Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	732,43	9,16	321,90	3,85	42,04%	
	Límite concentración			116,80	0,92	18,18%	18,93%
AES GENER	Límite emisión	351,12	4,95	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codelco	Límite emisión	273,07	4,57	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Otras calderas	LE otras calderas	15,89	0,09	14,00	0,08	87,11%	1,57%
Quemas agrícolas	Proh quemas	1,48	0,01	1,48	0,01	100,00%	0,21%
Otros sectores	Otros emisores	600,83	23,46	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Total		1.974,81	42,23	454,18	4,85		100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Reducción de emisiones y concentración de MP₁₀ respecto a la línea base, año 2030. Escenario 2: Concentración Actual, Operación Alta

Empresarios Sectores	Método	Línea Base 2030		Reducción (Δ) 2030		% Δ Conc. empresa	% Δ Conc. total
		Emisión (ton/año)	Conc. (µg/m ³)	Δ Emisión (ton/año)	Δ Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	886,15	11,08	475,62	5,75	51,87%	
	Límite concentración			141,51	1,11	18,59%	15,16%
AES GENER	Límite emisión	426,07	5,88	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codelco	Límite emisión	335,51	5,40	20,32	0,40	6,71%	5,41%
Otras calderas	LE otras calderas	15,89	0,09	14,00	0,08	87,11%	1,04%
Quemas agrícolas	Proh quemas	1,48	0,01	1,48	0,01	100,00%	0,14%
Otros sectores	Otros emisores	600,83	23,46	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Total		2.265,92	45,92	652,93	7,34		100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Reducción de emisiones y concentración de MP₁₀ respecto a la línea base, año 2030. Escenario 3: Concentración Máxima, Operación Actual

Empresas o sectores	Métrica	Línea Base (A) 2030		Reducción (A) 2030		% A Conc empresa	% A Conc total
		Emisión (t/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (t/año)	A Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	732,43	9,16	321,90	3,85	42,04%	%
	Límite concentración	731,65	8,34	251,45	1,98	23,42%	3,45%
AFES GENER	Límite emisión			0,00	0,00	0,00%	0,00%
	Límite concentración	273,07	4,57	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Codelco	Límite emisión	15,89	0,09	14,00	0,08	87,11%	1,29%
Otras calderas	LE otras calderas	1,48	0,01	1,48	0,01	100,00%	0,17%
Quemas agrícolas	Proh quemas	600,83	23,46	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Otros sectores	Otros emisores						
Total		2.355,34	45,62	588,83	5,91		100%

Fuente: Elaboración propia.

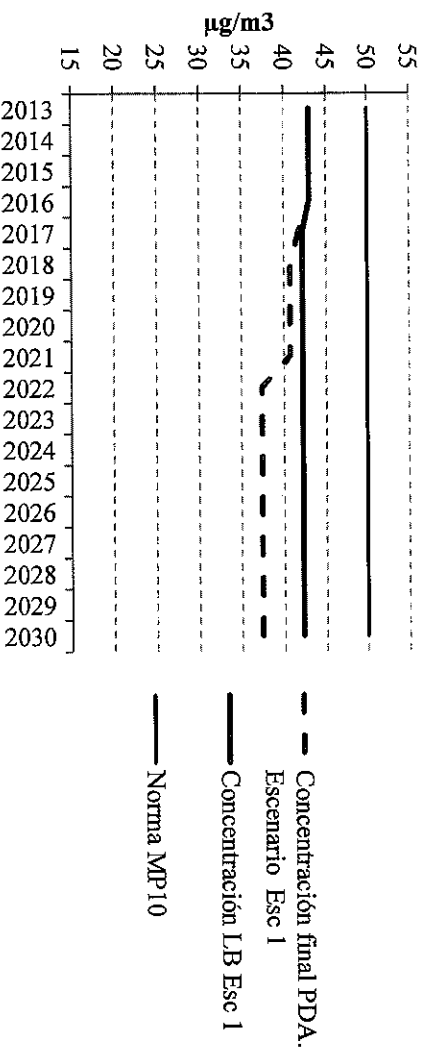
Tabla 40. Reducción de emisiones y concentración de MP₁₀ respecto a la línea base, año 2030. Escenario 4: Concentración Máxima, Operación Alta

Empresas o sectores	Métrica	Línea Base (A) 2030		Reducción (A) 2030		% A Conc empresa	% A Conc total
		Emisión (t/año)	Conc. (µg/m ³)	Emisión (t/año)	A Conc. (µg/m ³)		
ENAP	Límite de emisión	886,15	11,08	475,62	5,75	51,87%	%
	Límite concentración	844,83	9,60	282,82	2,22	22,93%	5,84%
AFES GENER	Límite emisión			0,00	0,16	1,61%	1,82%
	Límite concentración	335,51	5,40	20,32	0,40	6,71%	4,62%
Codelco	Límite emisión	15,89	0,09	14,00	0,08	87,11%	0,88%
Otras calderas	LE otras calderas	1,48	0,01	1,48	0,01	100,00%	0,12%
Quemas agrícolas	Proh quemas	600,83	23,46	0,00	0,16	0,67%	1,82%
Otros sectores	Otros emisores						
Total		2.684,69	49,63	794,24	8,61		100%

Fuente: Elaboración propia.

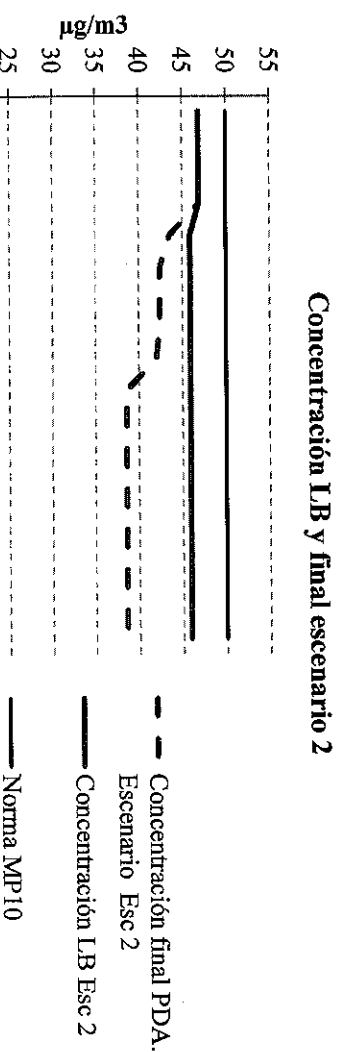
5.6. Resultados calidad del aire para MP₁₀

Figura 12: Evolución de concentración de MP₁₀ de línea base y final, Escenario 1
Concentración LB y final escenario 1



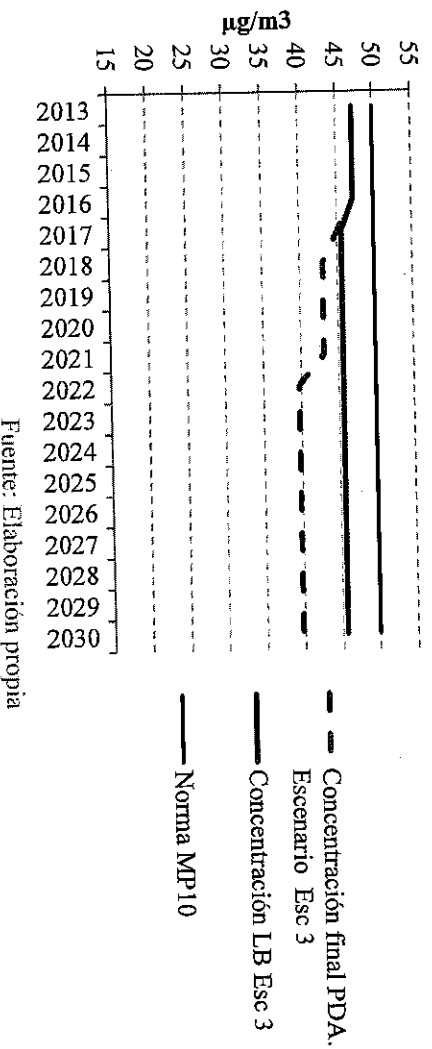
Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Evolución de concentración de MP₁₀ de línea base y final, Escenario 2



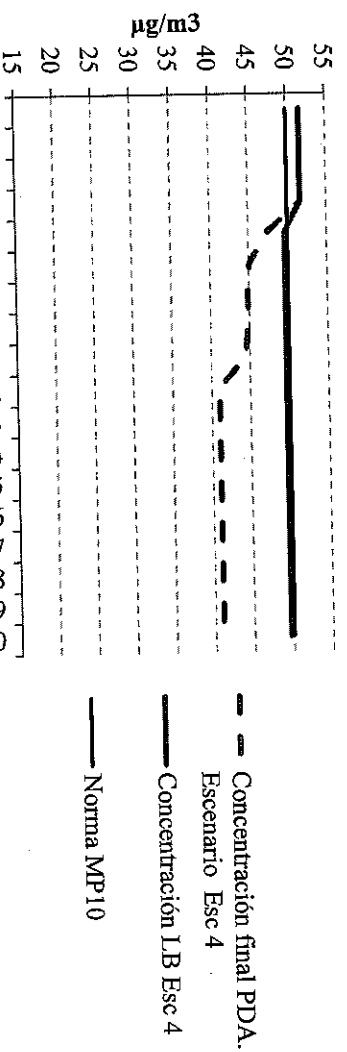
Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Evolución de concentración de MP10 de línea base y final, Escenario 3
Concentración LB y final escenario 3



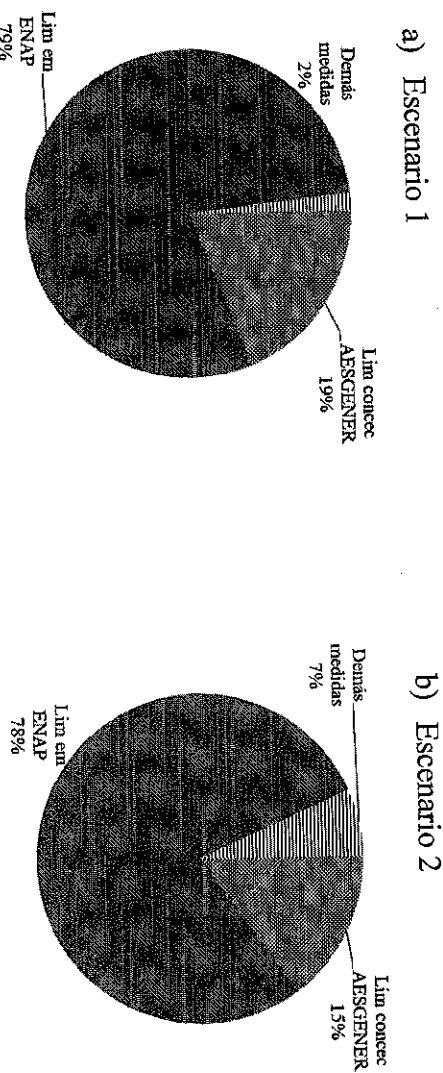
Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Evolución de concentración de MP10 de línea base y final, Escenario 4
Concentración LB y final escenario 4

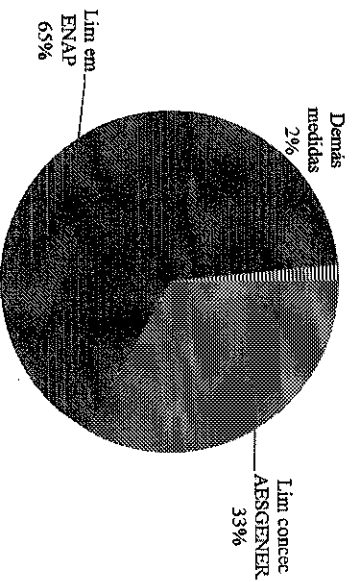


Fuente: Elaboración propia

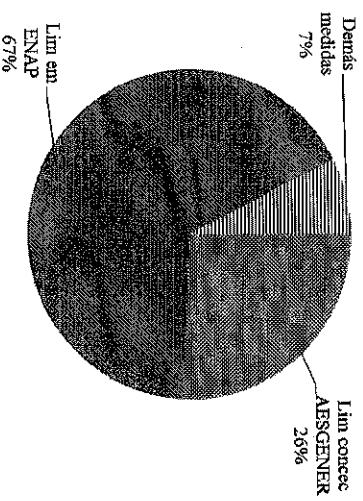
Figura 16: Aporte a la reducción de concentración de MP₁₀, año 2030, por escenario.



c) Escenario 3

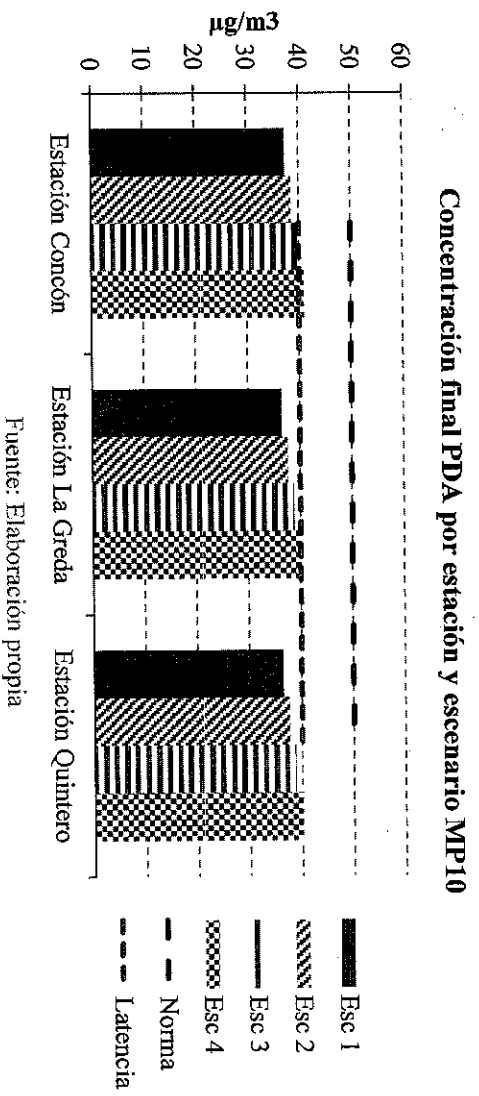


d) Escenario 4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Concentración final PDA de MP₁₀ por estación y escenario.



5.7. Emisiones de línea base por contaminante y escenario

Tabla 41: Emisiones de línea base de MP por año y escenario (1 y 2).

Escenario 1	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4
AES GENER	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2	387,2
CODELCO	352,4	352,4	352,4	352,4	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6
Otras empresas	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
TOTAL	2.581	2.581	2.581	2.581	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523	2.523

Escenario 2	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0
AES GENER	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6	468,6
CODELCO	423,6	423,6	423,6	423,6	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3
Otras empresas	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
TOTAL	2.980	2.980	2.980	2.980	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906

Fuente: Elaboración propia

1971

Tabla 42: Emisiones de línea base de MP por año y escenario (3 y 4).

Escenario 3	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4	1.170,4
AES GENER	915,3	915,3	915,3	915,3	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8	800,8
CODELCO	352,4	352,4	352,4	352,4	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6	294,6
Otras empresas	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
TOTAL	3.109	3.109	3.109	3.109	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937	2.937

Escenario 4	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0	1.416,0
AES GENER	1.070,4	1.070,4	1.070,4	1.070,4	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8	923,8
CODELCO	423,6	423,6	423,6	423,6	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3	350,3
Otras empresas	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4	311,4
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0	172,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
TOTAL	3.581	3.581	3.581	3.581	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361

Fuente: Elaboración propia

1072

Tabla 43: Emisiones de línea base de MP10 por año y escenario (1 y 2).

Escenario 1	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4
AES GENER	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6	356,6
CODELCO	313,5	313,5	313,5	313,5	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3
Otras empresas	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
TOTAL	1.988	1.988	1.988	1.988	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975	1.975

Escenario 2	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1
AES GENER	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6	431,6
CODELCO	376,2	376,2	376,2	376,2	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7
Otras empresas	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
TOTAL	2.279	2.279	2.279	2.279	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266	2.266

Fuente: Elaboración propia

1973

Tabla 44: Emisiones de línea base de MPI0 por año y escenario (3 y 4).

Escenario 3	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4	732,4
AES GENER	842,5	842,5	842,5	842,5	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2	737,2
CODELCO	313,5	313,5	313,5	313,5	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3	300,3
Otras empresas	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
TOTAL	2.474	2.474	2.474	2.474	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355

Escenario 4	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1	886,1
AES GENER	985,2	985,2	985,2	985,2	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3	850,3
CODELCO	376,2	376,2	376,2	376,2	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7	362,7
Otras empresas	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7	308,7
Leña residencial	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0
Polvo	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Quemas agrícolas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Incendios forestales	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4
Otras calderas	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
TOTAL	2.833	2.833	2.833	2.833	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685	2.685

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Emisiones de línea base de MP2,5 por año y escenario (1 y 2).

Escenario 1	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3
AES GENER	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7	288,7
CODELCO	206,0	206,0	206,0	206,0	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7
Otras empresas	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3
Leña residencial	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2
Polvo	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Quemas agrícolas	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Incendios forestales	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
Otras calderas	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
TOTAL	1.404	1.404	1.404	1.404	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392

Escenario 2	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6
AES GENER	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2	350,2
CODELCO	253,2	253,2	253,2	253,2	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7
Otras empresas	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3
Leña residencial	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2
Polvo	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Quemas agrícolas	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Incendios forestales	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
Otras calderas	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
TOTAL	1.601	1.601	1.601	1.601	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590	1.590

Fuente: Elaboración propia

1975

Tabla 46: Emisiones de línea base de MP2,5 por año y escenario (3 y 4).

Escenario 3	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3	425,3
AES GENER	687,2	687,2	687,2	687,2	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8	600,8
CODELCO	206,0	206,0	206,0	206,0	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7	194,7
Otras empresas	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3
Leña residencial	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2
Polvo	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Quemas agrícolas	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Incendios forestales	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
Otras calderas	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
TOTAL	1.802	1.802	1.802	1.802	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704	1.704

Escenario 4	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6	514,6
AES GENER	804,2	804,2	804,2	804,2	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6	693,6
CODELCO	253,2	253,2	253,2	253,2	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7	241,7
Otras empresas	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3	284,3
Leña residencial	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2
Polvo	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Quemas agrícolas	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Incendios forestales	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
Otras calderas	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
TOTAL	2.055	2.055	2.055	2.055	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933

Fuente: Elaboración propia

1976

Tabla 47: Emisiones de línea base de NOx por año y escenario (1 y 2).

Escenario 1	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1
AES GENER	8.556,6	8.556,6	8.556,6	8.556,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6	7.438,6
CODELCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras empresas	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9
Leña residencial	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Incendios forestales	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Otras calderas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
TOTAL	11.907	11.907	11.907	11.907	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789	10.789

Escenario 2	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3
AES GENER	10.105,1	10.105,1	10.105,1	10.105,1	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3	8.622,3
CODELCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras empresas	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9
Leña residencial	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Incendios forestales	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Otras calderas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
TOTAL	13.707	13.707	13.707	13.707	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224	12.224

Fuente: Elaboración propia

1977

Tabla 48: Emisiones de línea base de NOx por año y escenario (3 y 4).

Escenario 3	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1	1.197,1
AES GENER	10.766,6	10.766,6	10.766,6	10.766,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6	9.648,6
CODELCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras empresas	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9
Leña residencial	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Incendios forestales	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Otras calderas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
TOTAL	14.117	14.117	14.117	14.117	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999	12.999

Escenario 4	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3	1.448,3
AES GENER	12.433,3	12.433,3	12.433,3	12.433,3	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5	10.950,5
CODELCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras empresas	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9	2.125,9
Leña residencial	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Incendios forestales	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Otras calderas	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
TOTAL	16.035	16.035	16.035	16.035	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552	14.552

Fuente: Elaboración propia

1078

Tabla 49: Emisiones de línea base de SO2 por año y escenario (1 y 2).

Escenario 1	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5
AES GENER	10.300,7	10.300,7	10.300,7	10.300,7	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2	6.994,2
CODELCO	13.741,9	13.741,9	13.741,9	13.741,9	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4
Otras empresas	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7
Leña residencial	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Incendios forestales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras calderas	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
TOTAL	25.950	25.950	25.950	25.950	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395	22.395

Escenario 2	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7
AES GENER	12.479,6	12.479,6	12.479,6	12.479,6	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8	8.087,8
CODELCO	15.738,0	15.738,0	15.738,0	15.738,0	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9
Otras empresas	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7
Leña residencial	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Incendios forestales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras calderas	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
TOTAL	30.484	30.484	30.484	30.484	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816	25.816

Fuente: Elaboración propia

1979

Tabla 50: Emisiones de línea base de SO2 por año y escenario (3 y 4).

Escenario 3	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5	1.711,5
AES GENER	10.560,9	10.560,9	10.560,9	10.560,9	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4	7.254,4
CODELCO	13.741,9	13.741,9	13.741,9	13.741,9	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4	13.493,4
Otras empresas	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7
Leña residencial	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Incendios forestales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras calderas	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
TOTAL	26.210	26.210	26.210	26.210	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655	22.655

Escenario 4	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ENAP	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7	2.070,7
AES GENER	12.752,6	12.752,6	12.752,6	12.752,6	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9	8.360,9
CODELCO	15.738,0	15.738,0	15.738,0	15.738,0	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9	15.461,9
Otras empresas	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7	186,7
Leña residencial	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Polvo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quemas agrícolas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Incendios forestales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras calderas	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
TOTAL	30.757	30.757	30.757	30.757	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089	26.089

Fuente: Elaboración propia

5.8. Reducción de emisiones por medida, contaminante y escenario

Tabla 51: Reducción de emisión de MP por año y escenario.

Medida	Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Límite de emisión ENAP	Escenario 1 y 3	67,38	67,38	67,38	67,38	67,38	514,38	514,38	514,38	514,38	514,38	514,38	514,38	514,38	514,38
	Escenario 2 y 4	313,02	313,02	313,02	313,02	313,02	760,02	760,02	760,02	760,02	760,02	760,02	760,02	760,02	760,02
Límite concentración AES GENER	Escenario 1	0,00	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96	126,96
	Escenario 2	0,00	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81
	Escenario 3	0,00	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32	273,32
	Escenario 4	0,00	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41	307,41
Límite emisión AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión CODELCO	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09	23,09
Límite emisión otras calderas	Todos	0,00	0,00	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05	15,05
Prohibición quemas agrícolas	Todos	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
Reducción total MP	Escenario 1	69	196	211	211	211	658	658	658	658	658	658	658	658	658
	Escenario 2	314	468	483	483	506	953	953	953	953	953	953	953	953	953
	Escenario 3	69	342	357	357	357	804	804	804	804	804	804	804	804	804
	Escenario 4	314	622	637	637	660	1.107	1.107	1.107	1.107	1.107	1.107	1.107	1.107	1.107

Fuente: Elaboración propia

1981

Tabla 52: Reducción de emisión de MP₁₀ por año y escenario.

Medida	Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Límite de emisión ENAP	Escenario 1 y 3	42,17	42,17	42,17	42,17	42,17	321,90	321,90	321,90	321,90	321,90	321,90	321,90	321,90	321,90
	Escenario 2 y 4	195,89	195,89	195,89	195,89	195,89	475,62	475,62	475,62	475,62	475,62	475,62	475,62	475,62	475,62
Límite concentración AES GENER	Escenario 1	0,00	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80	116,80
	Escenario 2	0,00	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51	141,51
	Escenario 3	0,00	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45	251,45
	Escenario 4	0,00	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82	282,82
Límite emisión AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión CODELCO	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32
Límite emisión otras calderas	Todos	0,00	0,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Prohibición quemas agrícolas	Todos	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
Reducción total MP10	Escenario 1	44	160	174	174	174	454	454	454	454	454	454	454	454	454
	Escenario 2	197	339	353	353	373	653	653	653	653	653	653	653	653	653
	Escenario 3	44	295	309	309	309	589	589	589	589	589	589	589	589	589
	Escenario 4	197	480	494	494	515	794	794	794	794	794	794	794	794	794

Fuente: Elaboración propia

1982

Tabla 53: Reducción de emisión de MP_{2.5} por año y escenario.

Medida	Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Límite de emisión ENAP	Escenario 1 y 3	24,49	24,49	24,49	24,49	24,49	186,94	186,94	186,94	186,94	186,94	186,94	186,94	186,94	186,94
	Escenario 2 y 4	113,76	113,76	113,76	113,76	113,76	276,20	276,20	276,20	276,20	276,20	276,20	276,20	276,20	276,20
Límite concentración AES GENER	Escenario 1	0,00	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78	95,78
	Escenario 2	0,00	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04	116,04
	Escenario 3	0,00	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19	206,19
	Escenario 4	0,00	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91	231,91
Límite emisión AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión CODELCO	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50
Límite emisión otras calderas	Todos	0,00	0,00	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55
Prohibición quemas agrícolas	Todos	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
Reducción total MP2.5	Escenario 1	26	122	135	135	135	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	Escenario 2	115	231	245	245	259	422	422	422	422	422	422	422	422	422
	Escenario 3	26	232	246	246	246	408	408	408	408	408	408	408	408	408
	Escenario 4	115	347	361	361	375	537	537	537	537	537	537	537	537	537

Fuente: Elaboración propia

1089

Tabla 54: Reducción de emisión de NOx por año y escenario.

Medida	Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Límite de emisión ENAP	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28
Límite concentración AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51	950,51
Límite emisión CODELCO	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión otras calderas	Todos	0,00	0,00	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
Prohibición quemas agrícolas	Todos	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Reducción total NOx	Escenario 1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Escenario 2	1	1	2	2	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Escenario 3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Escenario 4	1	1	952	952	952	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Reducción de emisión de SO2 por año y escenario.

Medida	Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Límite de emisión ENAP	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	111,47	111,47	111,47	111,47	111,47	111,47	111,47	111,47	111,47
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	470,67	470,67	470,67	470,67	470,67	470,67	470,67	470,67	470,67
Límite concentración AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión AES GENER	Escenario 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Límite emisión CODELCO	Escenario 1 y 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Escenario 2 y 4	0,00	0,00	0,00	0,00	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88	1.461,88
Límite emisión otras calderas	Todos	0,00	0,00	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11
Prohibición quemas agrícolas	Todos	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Reducción total SO2	Escenario 1	1	1	6	6	6	117	117	117	117	117	117	117	117	117
	Escenario 2	1	1	6	6	1.468	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938
	Escenario 3	1	1	6	6	6	117	117	117	117	117	117	117	117	117
	Escenario 4	1	1	6	6	1.468	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938

Fuente: Elaboración propia

1985

5.9. Beneficios en salud

Los efectos en salud se asocian a principalmente a la fracción fina del material particulado (MP_{2.5}), pero también existen efectos por MP₁₀ que fueron cuantificados en este análisis.

La fracción fina del MP contiene partículas tan pequeñas que son capaces de ingresar en las vías respiratorias y depositarse en los alveolos pulmonares e incluso llegar al torrente sanguíneo. Esto provoca graves efectos sobre la salud de las personas, exacerbando enfermedades de tipo respiratorio y dolencias cardiovasculares, siendo los niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias y cardíacas los grupos más vulnerables a la contaminación.

Además de los efectos a la salud de las personas, existen otros beneficios de reducir la contaminación. La Tabla 56 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 56: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

Identificados	Valorizados
↓ Mortalidad prematura (MP, O ₃)	Sí
↓ Morbilidad (MP, O ₃)	Sí
↓ Productividad perdida (MP)	Sí
↓ Actividad restringida (MP)	Sí
↑ Visibilidad (MP)	No
↓ Corrosión materiales (SO ₂)	No
↑ Producción agrícola (MP, SO ₂)	No
↓ Efectos en ecosistemas (SO ₂)	No
↑ Imagen país (recomendaciones OCDE)	No
↓ Depósito de contaminantes (MP, SO ₂)	No
↓ Efectos en la salud en otras comuna (MP)	No
↑ Cobeneficios en reducción de <i>Black Carbon</i> (MP)	No

Fuente: Elaboración propia.

El cambio en concentraciones ambientales se relaciona con el cambio en el número de eventos a través de la utilización de funciones dosis respuesta:

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

Dónde:

$\Delta \text{Efecto}_{pj}$: Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p

β_{pj} :	$[(\text{ug}/\text{m}^3)^{-1}]_j$, Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p $[(\text{ug}/\text{m}^3)^{-1}]_j$,
ΔC_{pj} :	Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m^3],
P_{ijp} :	Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]
Y_{0j} :	Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar¹³ la expresión anterior de obtiene:

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

Esto implica que para la evaluación se asume una relación lineal entre los niveles de concentración y daños en la salud.

Finalmente, el beneficio se obtiene multiplicando el número de casos por la valoración asociada de padecer uno de los efectos valorados, tal como se señala a continuación:

$$\text{Beneficio}_p = \sum_j \Delta \text{Efecto}_{pj} \cdot VU_j$$

Dónde:

Beneficio_p: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p , en este caso MP_{10} , $MP_{2,5}$ y O_3 .

VU_j: Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

El detalle de la metodología utilizada se encuentra en "Guía Metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire" (MMA 2011).

¹³ Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β es pequeño.

5.10. Valores unitarios de beneficios

Tabla 57: Valores unitarios por casos evitados [UI/caso] para el año 2015.

Tipo de efecto	Efecto detalle	Grupo etario									
		0-4	1-4	5-12	13-17	18-29	30-44	45-64	65-74	75+	
Mortalidad	Largo y corto plazo	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351
Admisiones hospitalarias	Asma	26	26	26	26	29	29	29	0	0	
	Cardiovascular	0	0	0	0	58	58	58	58	58	
	Respiratorias crónicas	0	0	0	0	37	37	37	38	38	
	Neumonía	0	0	0	0	0	0	0	41	41	
	Bronquitis	26	26	26	26	37	37	37	38	38	
Visitas Salas de Emergencia	Asma	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0	
Productividad perdida	Días laborales	0	0	0	0	0,9	0,9	0,9	0	0	
	Días de actividad restringida	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0	
	Días de actividad restringida menor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: (MMA 2011).

5.11. Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 58 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino.

Tabla 58: Coeficientes de riesgo unitario

Tipo de efecto	Efecto detalle	Grupo etario									
		0-4	1-4	5-12	13-17	18-29	30-44	45-64	65-74	75+	
Mortalidad	Respiratoria corto plazo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,39%	0,39%	0,39%	0,39%
	Cardiopulmonar largo plazo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
	Todas las causas largo plazo	0,39%	0%	0%	0%	0%	0%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
Admisiones hospitalarias	Asma	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0%	0%	
	Cardiovascular	0%	0%	0%	0%	0,15%	0,15%	0,33%	0,15%	0,16%	
	Respiratorias crónicas	0%	0%	0%	0%	0,24%	0,24%	0,24%	0,12%	0,12%	
	Neumonía	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,4%	0,4%	
	Bronquitis crónica	0%	0%	0,77%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	Bronquitis crónica	0%	0%	0%	0%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	

Visitas Salas de Emergencia	Asma	0,449%	0,449%	0,449%	0,449%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Días laborales	0%	0%	0%	0%	0,469%	0,469%	0,469%	0%	0%	0%	0%
Productividad perdida	Días de actividad restringida	0%	0%	0%	0%	0,479%	0,479%	0,489%	0%	0%	0%	
	Días de actividad restringida menor	0%	0%	0%	0%	0,749%	0,749%	0,749%	0%	0%	0%	

Fuente: (MMA 2011).

Tabla 59: Detalle coeficientes de riesgo unitario y fuente de información

Tipo de Efecto	Nombre	Grupo edad	Coeficiente	Métrica	Fuente	Original Location	Risk Factor	Site
Mortalidad	Exp de Largo Plazo Todas las Causas	0-1	MP 10	Annual	Woodruff et al.	Nationwide, USA	0,3 9%	1,22 E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis	5-12	MP 10	Annual	Hoek et al.	Nine Countries	0,7 7%	4,95 E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis Crónica	18+	MP 10	Annual	Combinatio n (OMS)	California, USA and Switzerland	1,1 1%	3,42 E-03
Mortalidad	Exp. Aguda Respiratorias	30+	O3	D1Hour Max	Jerrett et al.	86 urban areas	0,3 9%	1,32 E-03
Mortalidad	Exp de Largo Plazo Cardiopulmonar	>30	MP 2,5	Annual	Pope et al.	US Metropolitan Areas	0,8 6%	3,03 E-03
Admisiones Hospitalarias	Congestive Heart Failure	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Ito	Detroit, MI	0,3 1%	1,29 E-03
Admisiones Hospitalarias	Dysrhythmia	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Ito	Detroit, MI	0,1 2%	2,03 E-03
Admisiones Hospitalarias	Ischemic Heart (less Myocardial Infarctions)	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Ito	Detroit, MI	0,1 4%	1,16 E-03
Admisiones Hospitalarias	Chronic Lung	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Ito	Detroit, MI	0,1 0%	2,06 E-03
Admisiones Hospitalarias	Pneumonia	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Ito	Detroit, MI	0,4 0%	1,66 E-03
Admisiones Hospitalarias	Cardiovasculares	18-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,1 5%	3,68 E-04
Admisiones Hospitalarias	Chronic Lung	18-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,2 4%	7,91 E-04
Admisiones Hospitalarias	Cardiovasculares	65+	MP 2,5	D24Hou rMean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,1 6%	3,44 E-04
Admisiones Hospitalarias	Asthma	0-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Sheppard	Seattle, WA	0,3 3%	1,05 E-03
Admisiones Hospitalarias	Asthma	0-17	MP 2,5	D24Hou rMean	Norris et al.	Seattle, WA	1,6 5%	4,14 E-03
Restricción de Actividad	Dias Laborales Perdidos	18-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Ostro	Nationwide, USA	0,4 6%	3,60 E-04
Restricción de Actividad	Dias con Actividad Restringida	18-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Ostro	Nationwide, USA	0,4 8%	2,90 E-04
Restricción de Actividad	Dias con Actividad Restringida Menor	18-64	MP 2,5	D24Hou rMean	Ostro and Rothschild	Nationwide, USA	0,7 4%	7,00 E-04
Visitas Sala Urgencia	Bronquitis Aguda	0-17	MP 2,5	D24Hou rMean	Dockery et al.	Six Cities USA	0,4 4%	2,16 E-03

Fuente: Elaboración Propia.

AGIES PPDa de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

5.12. Ficha del AGIES

ITEM	GLISA	DESCRIPCION
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto del Plan de Prevención y Desccontaminación Atmosférica (PPDA) de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Plan de Prevención y Desccontaminación Atmosférica (PPDA) de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
	Tipo de regulación	Plan de Prevención y Desccontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	15/04/2016
	Alcance geográfico	Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
	Instrumento nuevo o revisión	Revisión
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos
	Metodología	Análisis Costo-Beneficio; Beneficios salud en base a: (MMA 2013)
	Normativas consideradas de línea base	DS N° 13/2011 MMA, Norma de emisión para centrales termoeléctricas y DS N° 28/2013 MMA, Norma de emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico
	Nivel de evaluación de beneficios	Se valoraron beneficios en salud y costos de abatimiento.
Metodología	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 58
	Tasas de incidencia	(MMA 2011)
	Valor de la vida estadística	15.351 UJF al año 2015, proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población
	Modelo de dispersión	FEC
	Beneficios marginales por concentración de MP _{2.5}	(MMA 2011)
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2030: MP _{2.5} : 1,43 [µg/m ³].
	Años de evaluación	2017-2030
	Valor del dólar	669,55 pesos/dólar
	Valor de la UJF	25.824,53 pesos/UJF
Parámetros	Costos estimados en MM USD (valor presente)	US\$2,5 - 43 millones
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	US\$19,3 - 43 millones
Resultados		

6. Bibliografía

- Ambiosis (2011). Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, construcción de un Inventario de Emisiones Regional.
- Arrow, K. J., M. L. Cropper, et al. (1996). "Is there a role for benefit-cost analysis in environmental health, and safety regulation?" *Science* **272**(5259): 221-222.
- Boardman, A. E., D. H. Greenberg, et al. (2006). Cost-benefit analysis: concepts and practice. NJ: Prentice Hall.
- C. Ehrlich, G. N., W.-D. Kalkoffä, G. Baumbachb, A. Dreiseidler (2007). "PM10, PM2.5 and PM1.0 -Emissions from industrial plants- Results from measurement programmes in Germany." Atmospheric Environment **41**: 6236-6254.
- DICTUC (2015). "Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la Localidad de Huasco." Estudio desarrollado para MMA.
- EPA (1995). AP 42, Fifth Edition: Chapter 1: External Combustion Sources.
- EPA (2000). Guidelines for preparing economic analyses. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.
- Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."
- Geoaire Ambiental Limitada (2015). Evaluación de Medidas Costo Efectivas para Revisar y Reformular el Plan de Ventanas, Encargado por Ministerio del Medio Ambiente.
- Hanley, N. D. and C. L. Spash (1993). Cost-Benefit Analysis and the Environment, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd.
- Layard, R. and S. Glaister (1994). Cost-Benefit Analysis. Cambridge University Press. London.
- MIDEPLAN (2013). Encuesta CASEN 2013. Santiago, Ministerio de Planificación y Cooperación.
- MMA (2011). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOISIS., Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA (2011). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.

- MMA (2012). Análisis General de Impacto Económico y Social de la norma de emisión del anteproyecto norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico. Departamento de Economía Ambiental. Chile.
- MMA (2013). Desarrollo de Modelo Genérico para Evaluación de Planes de Prevención y de Descartaminación Ambiental para Aire, Preparado por GreenLabUC para Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA (2013). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.
- Sistam (2013). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial, Solicitado por Ministerio del Medio Ambiente, ID licitación 608897-60-LE13.
- Villena, M. and C. Chávez (2007). Análisis General del Impacto Económico y Social del Rediseño del Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable (PM10) en la Región Metropolitana. Estudio Realizado para CONAMA RM., SCL Econometrics.