



000620

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

**ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL PLAN DE  
DESCONTAMINACION PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL  
LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS**

---

*Septiembre de 2019*

## **Presentación**

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como planes de descontaminación y prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación (D.S. N° 39/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de las propuestas normativas que sirva como apoyo a la participación ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS), tarea que recae en el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de un plan de descontaminación desde el desarrollo del anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

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

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. Sin embargo, existen otros antecedentes que son considerados en la toma de decisión, por lo que el AGIES no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación.

El presente documento corresponde a una evaluación de Costos y Beneficios para el Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Figura 1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

En este análisis se evalúa el cumplimiento normativo y se estiman los beneficios valorizables producto de la reducción de casos de mortalidad, y morbilidad en la población. Además, se estiman los costos de las principales medidas propuestas por el Anteproyecto del Plan.

Los resultados presentados corresponden a las medidas definidas a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, tales como Participación Ciudadana, Consejos Consultivos, 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 Descontaminación Atmosférica (PDA) para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (en adelante Valle Central de O'Higgins). Este tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas.

En el Valle Central de O'Higgins las concentraciones de material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) y grueso ( $MP_{10}$ ) superan las normas de calidad primaria diaria y anual. Esta situación se origina debido a una gran variedad de fuentes emisoras de diferente índole que aportan tanto MP primario como  $NO_x$  y  $SO_2$  (precursores de MP) provenientes principalmente del sector residencial, agrícola y fuentes fijas. Consecuentemente, las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto han sido diseñadas con énfasis en los sectores mencionados, entre las que se pueden indicar (i) restricción a las quemas agrícolas, (ii) restricción del uso de todo tipo de artefactos a leña en las comunas de Rancagua y Machalí, y gradualmente en las zonas urbanas de las otras comunas (ii) programa de retiro voluntario de calefactores y cocinas a leña y (iv) control de emisiones de fuentes fijas.

Desde el año 2013 se encuentra vigente el Plan de Descontaminación por  $MP_{10}$  (D.S. N° 15/2013 del MMA) en la zona. Por lo tanto, algunas de las medidas a evaluar ya se encuentran vigentes desde el plan de  $MP_{10}$ , evaluándose de forma diferenciada la reducción asociada a estas.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir las normas de  $MP_{2,5}$  anual y diaria al año 2029 y 2023 respectivamente, con importantes aportes del sector quemas y residencial (Figura A y B).
- 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 (Figura C). Además se reduce el consumo de combustible principalmente para el sector transporte. Existen otros beneficios no cuantificados en este análisis como reducción de emisiones de contaminantes climáticos de corta vida, mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$335 millones en valor presente<sup>1</sup>, atribuibles principalmente a reducciones en las emisiones del sector residencial y quemas (61% y 36 % de los beneficios respectivamente) (Figura D).
- Los costos valorizados se estiman en US\$197 millones en valor presente, atribuibles, al igual que en los beneficios, al sector residencial (98%) y quemas (1,6%). (Figura D).

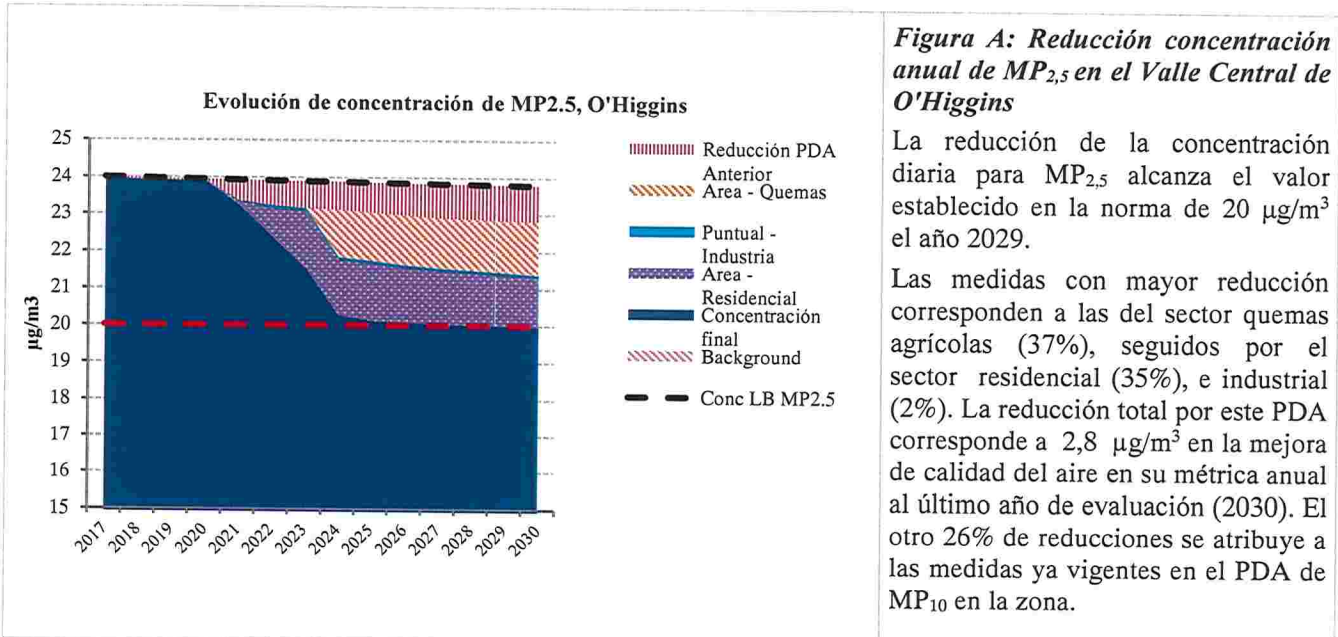
<sup>1</sup> Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 709,81 CLP / Tipo cambio UF: 28.024,26 CLP, cambio vigente al 17-09-2019.





- La implementación de este PDA tiene un beneficio neto<sup>2</sup> en valor presente de US\$138 millones y una razón beneficio-costo de 1,7 (Figura D).

El análisis permite concluir que la implementación del PDA del Valle Central de O'Higgins, junto con incitar el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, es altamente rentable desde el punto de vista social.



**Figura A: Reducción concentración anual de MP<sub>2,5</sub> en el Valle Central de O'Higgins**

La reducción de la concentración diaria para MP<sub>2,5</sub> alcanza el valor establecido en la norma de 20 µg/m<sup>3</sup> el año 2029.

Las medidas con mayor reducción corresponden a las del sector quemas agrícolas (37%), seguidos por el sector residencial (35%), e industrial (2%). La reducción total por este PDA corresponde a 2,8 µg/m<sup>3</sup> en la mejora de calidad del aire en su métrica anual al último año de evaluación (2030). El otro 26% de reducciones se atribuye a las medidas ya vigentes en el PDA de MP<sub>10</sub> en la zona.

Sector	Línea Base año 2030		Reducción (Δ) Año 2030		Respecto a LB sector		Respecto a reducción	
	Emisiones LB MP25 [Ton/año]	Conc. LB MP2.5 [µg/m3]	Δ Emisiones MP25 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5 [µg/m3]	% Δ Conc.	% Δ Conc.	% Δ Conc.	% Δ Conc.
Residencial	1,559	2.9	706	1.3	45%		47%	
Quemas agrícolas	756	1.4	756	1.4	100%		50%	
Fuentes fijas	360	1.6	126	0.1	5%		3%	
<b>Total</b>	<b>2,675</b>	<b>6</b>	<b>1,588</b>	<b>3</b>			<b>100%</b>	

**Figura B: Reducciones de emisiones y concentraciones anuales de MP<sub>2,5</sub>**

La reducción en emisiones o concentraciones se representa mediante el símbolo Δ. La reducción porcentual por sector es la disminución en emisión para cada sector respecto de su emisión de línea base, expresada en forma porcentual. La reducción total corresponde al porcentaje de emisiones reducidas para cada sector respecto de la emisión total reducida.

<sup>2</sup> Los beneficios netos corresponden a los beneficios menos los costos.



Evento	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2017-2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	83	[ 43 - 122 ]	584	[ 303 - 858 ]
Admisiones hospitalarias	197	[ 89 - 305 ]	1.438	[ 642 - 2.230 ]
Visitas Salas de Emergencia	1.209	[ 395 - 2.023 ]	9.403	[ 3.074 - 15.733 ]
Productividad perdida	126.973	[ 112.598 - 141.348 ]	1.017.348	[ 902.173 - 1.132.525 ]

**Figura C: Casos evitados del Plan (2021-2030)**

Número de casos evitados para todo el período de implementación del plan (2021-2030), atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y su intervalo de confianza (IC) al 90%.

Medida	VP millones de dólares		
	Costos (Inv + variables)	Beneficios (Salud + ahorros)	B/C
Recambio a pellets y otros	11	32	3,0
Prohib. Chimeneas	1	1	1,6
Prohib. Gradual calefactores	83	99	1,2
Prohib. Cocinas	54	57	1,1
VE- Reacondicionamiento térmico	33	4	0,1
VN- Norma aislación	11	5	0,4
Leña Seca	0,4	5	11,4
Quemas	3	119	37,2
Límite Calderas y Hornos	0,3	12	37,8
<b>Total</b>	<b>197</b>	<b>335</b>	<b>1,7</b>

**Figura D: Beneficios y Costos del Plan**

Los beneficios estimados (US\$335 millones) del PDA son a los costos (US\$197 millones), con un beneficio neto de US\$138 millones y una razón beneficio-costos de 1,7.

El sector residencial es el de mayor aporte en los costos, con un 98% del total.



000625

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
1.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO .....	9
1.2 INVENTARIO DE EMISIONES Y CONCENTRACIÓN POR SECTOR .....	10
<b>2. METODOLOGÍA DEL AGIES</b> .....	<b>12</b>
<b>3. EVALUACIÓN SECTOR RESIDENCIAL</b> .....	<b>14</b>
3.1 MEDIDAS SECTOR RESIDENCIAL .....	14
3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL .....	15
<b>4. EVALUACIÓN SECTOR FUENTES FIJAS</b> .....	<b>18</b>
4.1 MEDIDAS FUENTES FIJAS .....	18
4.2 METODOLOGÍA EVALUACIÓN FUENTES FIJAS .....	19
<b>5. EVALUACIÓN SECTOR QUEMAS AGRÍCOLAS</b> .....	<b>20</b>
5.1 MEDIDA QUEMAS AGRÍCOLAS .....	20
5.2 METODOLOGÍA QUEMAS AGRÍCOLAS .....	20
<b>6. RESULTADOS AGREGADOS</b> .....	<b>21</b>
6.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES .....	21
6.2 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE .....	22
6.2.1 <i>Cumplimiento normas de calidad</i> .....	22
6.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS .....	24
6.4 INDICADORES ECONÓMICOS .....	24
6.4.1 <i>Análisis Costo-Beneficio</i> .....	24
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>26</b>
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>28</b>
<b>9. ANEXOS</b> .....	<b>30</b>
9.1 ASIGNACIÓN DE REDUCCIÓN ENTRE PLANES .....	30
9.2 CONCENTRACIÓN CON MEDIDAS PPDA EN EL TIEMPO .....	31
9.3 RESULTADOS POR MEDIDA .....	33
9.4 METODOLOGÍA AGIES .....	33
9.4.1 <i>Sinergias de medidas de reducción de emisiones</i> .....	33
9.4.2 <i>Factores emisión concentración MP</i> .....	35
9.4.3 <i>Beneficios en salud</i> .....	36
9.4.4 <i>Cobeneficios en cambio climático</i> .....	38
9.4.5 <i>Evaluación de costos</i> .....	38
9.5 FACTORES DE EMISIÓN SECTOR RESIDENCIAL .....	40
9.6 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS .....	41
9.7 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO .....	41
9.8 FICHA DEL AGIES .....	43





## 1. Antecedentes

000626

El Decreto Supremo N° 7 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, declaró Zona Saturada por material particulado respirable<sup>3</sup> (MP<sub>10</sub>), como concentración anual y diaria (24 horas), a las comunas del Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins<sup>4</sup>. Luego, a través del D.S. N° 15 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, se estableció el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP<sub>10</sub> para dicha zona. Posteriormente, el Decreto Supremo N° 42 de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada por material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), como concentración anual y diaria (24 horas), a las mismas comunas del Valle Central de O'Higgins.

La declaración de zona saturada da conformidad al procedimiento y a las etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300 y en el decreto supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente que mandatan la elaboración de un Plan de Descontaminación 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 por debajo de los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

Mediante Resolución Exenta N° 503 de 2018 del Ministerio del Medio Ambiente, se dio inicio a la elaboración del Plan de Descontaminación por MP<sub>2,5</sub>. Posteriormente, a través de la Resolución Exenta N°659 de 2018 del MMA, se acumuló este proceso con la revisión del Plan de Descontaminación por MP<sub>10</sub>. Esto en la práctica implica que, por eficiencia en la gestión pública, se diseña solamente un plan de descontaminación para abordar tanto la revisión del D.S. N°15/2013 como para elaborar el Plan de Descontaminación por MP<sub>2,5</sub>.

La Región de O'Higgins posee una superficie de 16.387 km<sup>2</sup>, de la cual un 21%<sup>5</sup> corresponde a la superficie de la zona saturada del Valle Central de O'Higgins. La Figura 2 muestra las comunas que forman parte del PPDA de forma completa (en azul), a las comunas que están comprendidas de forma parcial (en formato achurado) y a la región (en amarillo) en el mapa del país. De acuerdo al Censo 2017, la población de la región de O'Higgins es de 914.555 habitantes y en las comunas del presente Plan asciende a 705.576 habitantes.

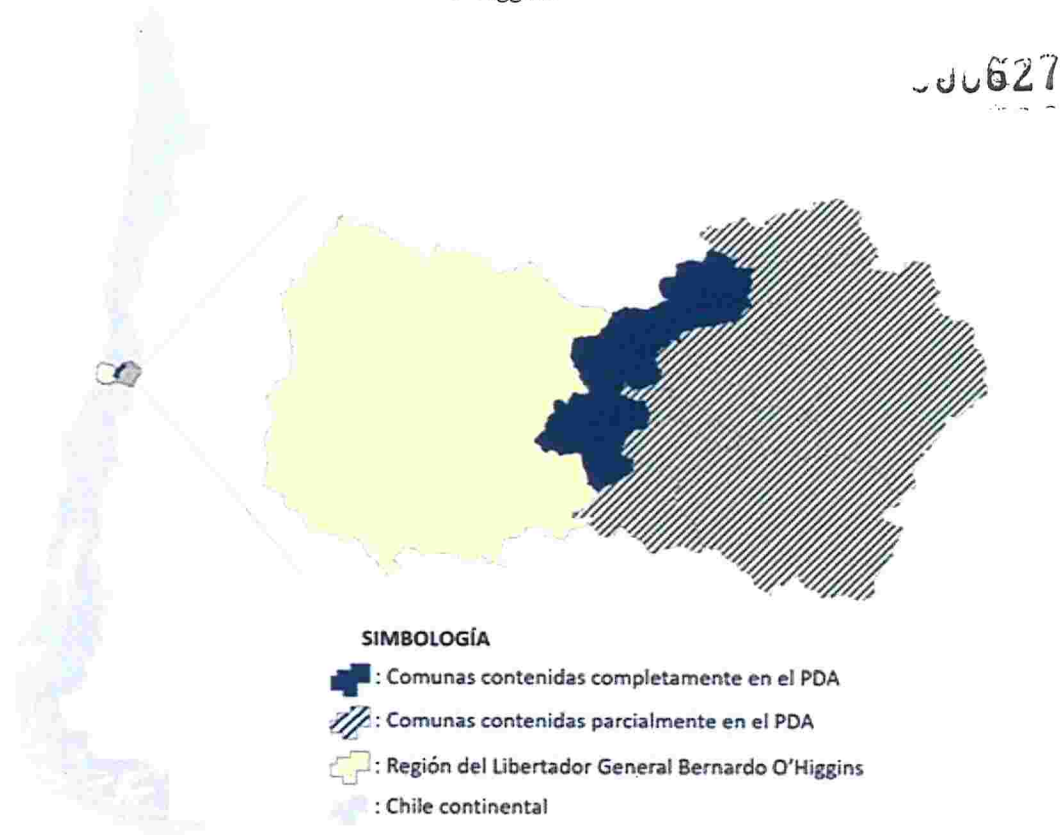
<sup>3</sup> La normativa para MP<sub>10</sub> corresponde al D.S. 59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece una concentración anual máxima permitida de 50 mg/m<sup>3</sup>N y una concentración diaria de 150 mg/m<sup>3</sup>N.

<sup>4</sup> Estas corresponden a: Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua, Placilla y, parcialmente, las comunas de Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo.

<sup>5</sup> La superficie total de las comunas del plan corresponde a 3.443 km<sup>2</sup>



Figura 2: Comunas pertenecientes al Valle Central de O'Higgins, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las actividades económicas en la región, se destacan la actividad minera y agropecuario-silvícola, que en el año 2017 representaban un 21% y 15% del PIB regional, respectivamente.





Tabla 1: PIB por actividad económica, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, precios corrientes, referencia 2013 (millones de pesos). Año 2017.

Actividad económica	PIB (MM CLP)	Participación (%)
Agropecuario-silvícola	1.166	15%
Pesca	2	0%
Minería	1.671	21%
Industria manufacturera	796	10%
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	249	3%
Construcción	653	8%
Comercio, restaurantes y hoteles	641	8%
Transporte, información y comunicaciones	335	4%
Servicios financieros y empresariales	697	9%
Servicios de vivienda e inmobiliarios	554	7%
Servicios personales	970	12%
Administración pública	310	4%
<b>Producto Interno Bruto</b>	<b>8.044</b>	<b>100%</b>

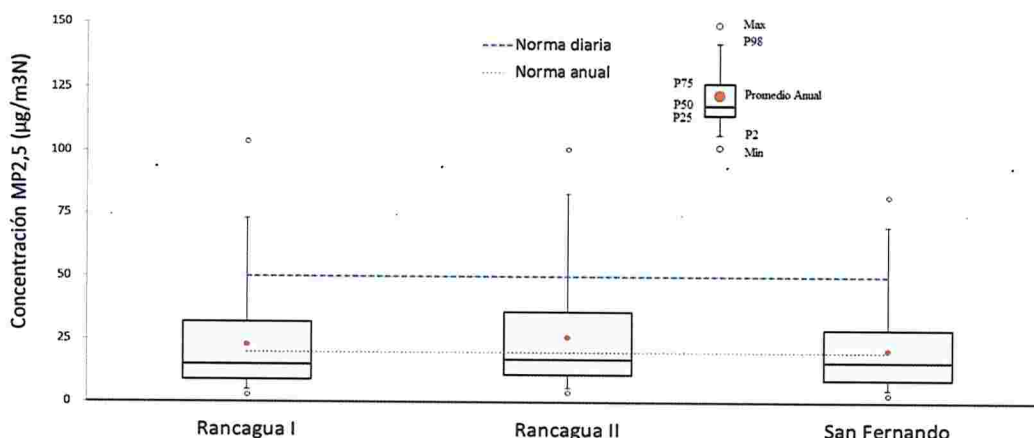
Fuente: Banco Central<sup>6</sup>

El sector agropecuario-silvícola, que compone el 15% del PIB de la región, es altamente relevante en las emisiones de material particulado, producto de las quemas agrícolas tal como se presentará en la sección 1.2.

### 1.1 Concentración de Material Particulado

La Figura 3 presenta los datos de concentración de MP<sub>2,5</sub> monitoreados el año 2017 en las estaciones del Valle Central de O'Higgins, tanto en su métrica diaria (percentil 98) como anual (promedio anual). Se observan superaciones de las normas anual y diaria en todas las estaciones de monitoreo.

Figura 3: Concentración de MP<sub>2,5</sub> año 2017. Comparación con normativas diaria y anual.

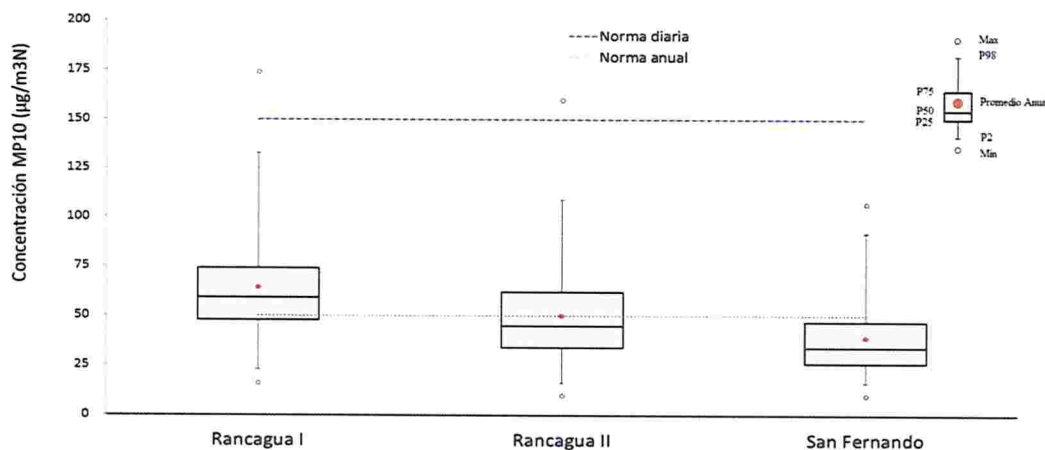


Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> [https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013\\_P0\\_V2](https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013_P0_V2)

En la Figura 4 se muestran los datos de concentración de MP<sub>10</sub> para el mismo año. Para este contaminante la situación es más favorable, ya que la mayoría de las estaciones se encuentran por debajo de la norma diaria y anual, exceptuando Rancagua I, que excede la media anual.

Figura 4: Concentración de MP<sub>10</sub> año 2017. Comparación con normativas diaria y anual.



Fuente: Elaboración propia.

Dado lo anterior, el objetivo del Plan es dar cumplimiento a los niveles establecidos por las normas de calidad primaria para MP<sub>2,5</sub> y MP<sub>10</sub>, en concentración anual y diaria.

## 1.2 Inventario de emisiones y concentración por sector

La Tabla 2 presenta el inventario de emisiones de las comunas del Valle Central de O'Higgins, estimado según sector. Este inventario fue elaborado por la División de Calidad del Aire del MMA y se describe también en el Anteproyecto. Se detallan solamente los contaminantes que inciden en la evaluación de costos y beneficios, estos son las fracciones gruesa y fina del material particulado y los precursores (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>).

Tabla 2: Inventario de emisiones 2017 utilizado en evaluación económica (ton/año).

Sector	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Fuentes fijas	547	360	1.338	1.883
Fuentes Móviles	338	333	16	6.606
Maquinaria Fuera de Ruta	286	278	11	2.229
Combustión residencial	1.958	1.823	51	744
Quemas agrícolas	628	599	25	189
<b>Total Emisiones</b>	<b>3.757</b>	<b>3.393</b>	<b>1.441</b>	<b>11.651</b>

Fuente: Anteproyecto de PDA.

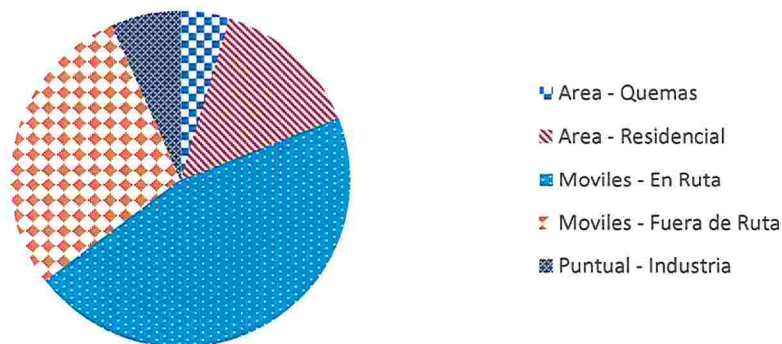
Respecto al MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>, los sectores con mayores aportes corresponden a la combustión residencial y quemas agrícolas. Por otro lado, en relación a precursores de generación de

MP<sub>2,5</sub>, el sector con mayor aporte de SO<sub>2</sub> corresponde al Fuentes Fijas (93%) y de NO<sub>x</sub> corresponde al sector Fuentes Móviles (57%).

Con respecto al aporte de los sectores a la concentración anual de MP<sub>2,5</sub> de la Figura 5 se estima que para el año 2017 es el sector de fuentes móviles en ruta el que representa en promedio la mayor contribución, alcanzando 11 µg/m<sup>3</sup>, equivalentes al 46% de la concentración total promedio. El sector residencial contribuye con 3,4 µg/m<sup>3</sup> en promedio, dando cuenta del 14% de la concentración.

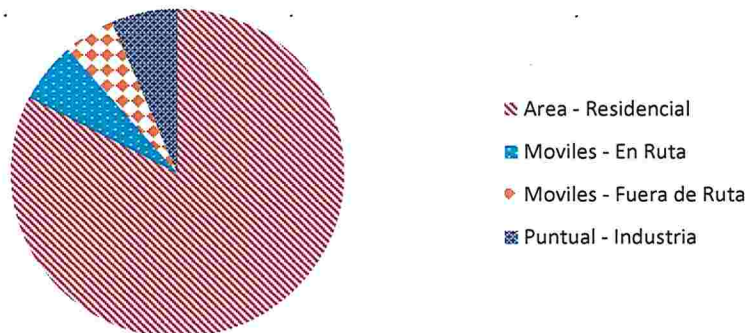
En el caso de la concentración diaria, Figura 6, es el sector residencial el que tiene mayor relevancia, alcanzando el 83% de la concentración debido al uso de leña, equivalente a 68,5 µg/m<sup>3</sup>. El sector de fuentes fijas alcanza una participación del 6% de la concentración diaria de MP<sub>2,5</sub>, equivalente a 5,4 µg/m<sup>3</sup>.

Figura 5: Concentración Anual de MP<sub>2,5</sub> año 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: Concentración diaria de MP<sub>2,5</sub> año 2017.



Fuente: Elaboración propia.

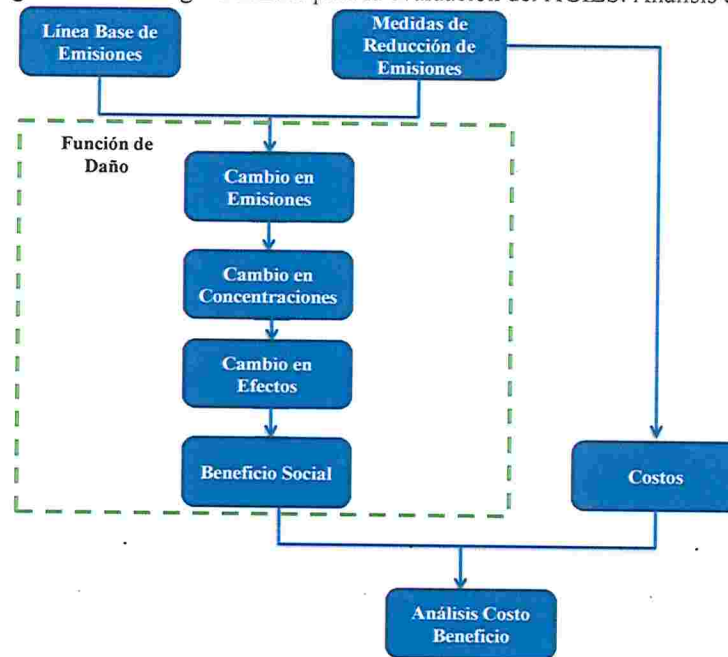


## 2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Boardman *et al.*, 2006; Hanley and Spash, 1993; Layard and Glaister, 1994). La reducción de emisiones asociada a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se resumen 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, una relación de emisión-calidad, modelo de riesgo ambiental basado en estudios epidemiológicos y 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 7).

Figura 7. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



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

La reducción de emisiones del Plan de Descontaminación se atribuye a las medidas definidas en el Anteproyecto, las cuales están diseñadas según sector. En el caso de que existan diferentes medidas aplicadas a un mismo sector, se consideran las sinergias que

generan las medidas de manera secuencial<sup>7</sup>, evitando así sobredimensionar la reducción de emisiones y evaluar la efectividad de cada una de las medidas de forma realista. Para mayor detalle ver el Anexo 9.4.1.

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<sub>2,5</sub> y MP<sub>10</sub> 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. Adicionalmente, se valoran los beneficios por ahorros en el uso de combustible ante medidas que mejoran la eficiencia en el uso del mismo.

En relación a los costos, se evalúan los de inversión y operación asociados a la implementación de las medidas de reducción de emisiones de las fuentes emisoras.

Además de los indicadores económicos (valor presente, beneficio neto, razón beneficio costo), se incorpora un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar diferenciadamente los sectores que perciben los beneficios y costos de la regulación.

Dentro de las limitaciones del análisis se mencionan los beneficios por reducción de material particulado 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*<sup>8</sup>. 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 se presentan los antecedentes de evaluación de las medidas de reducción de emisiones según sector (residencial, fuentes fijas y quemas agrícolas). Con la reducción de emisiones, se estima la reducción de concentraciones de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> según la sección 9.4.2 del capítulo de anexos. Luego, la metodología de estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> se detalla en el capítulo 9.4.3 de anexos.

---

<sup>7</sup> Por ejemplo, si dos medidas con eficiencias del 70% y 80% son aplicadas sobre una misma fuente emisora, el orden que implemente la medida afecta la efectividad de cada una de ellas, no así el valor de la reducción total de emisiones, que en este caso correspondería a  $1 - (1-0,7) \cdot (1-0,8) = 0,94$ .

<sup>8</sup> Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmósfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.



### 3. Evaluación sector residencial

#### 3.1 Medidas sector residencial

En la Tabla 3 se muestran las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del sector residencial.

Tabla 3: Resumen de medidas evaluadas sector residencial

Nombre corto medida	Descripción	Supuestos evaluación
Prohibición venta de leña húmeda	Prohibición de venta de leña húmeda (que no cumplan con los requerimientos técnicos de la NCh2907 de acuerdo a la definición "leña seca") en la zona saturada desde la entrada en vigencia del plan.	Vigencia: 2021 Supuesto: Uso de leña en Línea Base: 70% leña seca, 30% semihumeda. Uso de leña con plan: 90% leña seca, 10% semihumeda.
Programa de recambio de artefactos a leña	El programa contemplará el recambio de al menos 20.000 equipos que combustionen leña en la zona saturada.	Vigencia: 2021-2030 Supuesto: Se consideran los recambios existentes (1.552) y el restante se asume que se realiza en 1.845 recambios por año. Supuesto: Se considera que los equipos que ingresan en remplazo siguen la distribución observada para el recambio de calefactores vigente (53% pellets, 35% kerosene, 11% gas, 1% eléctrico)
Prohibición de chimeneas	Prohibición de chimeneas desde la entrada en vigencia del plan.	Vigencia: 2021 Supuesto: Se considera que los equipos que ingresan en remplazo siguen la distribución observada para el recambio de calefactores vigente.
Prohibición Gradual de calefactores	Prohibición del uso de calefactores a leña de todo tipo en el área urbana de la ZONA A (Rancagua y Machalí), desde el primero de enero del año siguiente a la publicación del plan. En áreas urbanas de la Zona B (resto de comunas), a contar de 2 años desde la publicación del plan, se prohíbe el uso de calefactores a leña del tipo salamandras y hechizos. En áreas urbanas de la Zona B, a contar de 4 años desde la publicación del plan, se prohíbe el uso de todos los calefactores que no cumplan con el D.S. N°39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente.	Vigencia: Zona A - 2022 Zona B urbana fase 1 – 2023 Zona B urbana fase 2 – 2025  Fase 1: considera prohibición salamandras y hechizos Fase 2: Agrega prohibición a equipos de equipos de combustión simple y doble cámara.
Prohibición de cocinas a leña	Prohibición del uso de cocinas a leña de todo tipo en el área urbana de la ZONA A (Rancagua y Machalí), desde el primero de enero del año siguiente a la publicación del plan. En áreas urbanas de la Zona B (resto de comunas), a contar de 2 años desde la publicación del plan, se prohíbe el uso de cocinas a leña.	Vigencia: Zona A - 2022 Zona B urbana fase 1 – 2023  Supuesto: considera que el remplazo de una cocina a leña incluye la entrada de un equipo de calefacción, el cual considera la distribución observada para el recambio de calefactores vigente.
Subsidios de aislación térmica	La SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará 16.000 subsidios para el acondicionamiento térmico en las	Vigencia: 2021 - 2030 Supuesto: Se consideran los subsidios



	<p>comunas del Plan dentro de un plazo de 10 años. Este subsidio se otorgará en el marco del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF).</p> <table border="1" data-bbox="553 327 857 506"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>U (W/m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Techo</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>Muro</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Piso Ventilado</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>Puerta</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table>	Elemento	U (W/m <sup>2</sup> K)	Techo	0,38	Muro	0,8	Piso Ventilado	0,6	Puerta	1,7	<p>existentes (2.454) y el restante se asume que se entrega en 1.355 subsidios por año.</p>
Elemento	U (W/m <sup>2</sup> K)											
Techo	0,38											
Muro	0,8											
Piso Ventilado	0,6											
Puerta	1,7											
<p>Norma de aislación térmica viviendas nuevas</p>	<p>Desde la entrada en vigencia del plan las viviendas nuevas deberán cumplir al menos los siguientes estándares:</p> <table border="1" data-bbox="553 600 857 772"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>U (W/m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Techo</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>Muro</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>Piso Ventilado</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>Puerta</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table>	Elemento	U (W/m <sup>2</sup> K)	Techo	0,38	Muro	0,8	Piso Ventilado	0,6	Puerta	1,7	<p>Vigencia: 2021</p>
Elemento	U (W/m <sup>2</sup> K)											
Techo	0,38											
Muro	0,8											
Piso Ventilado	0,6											
Puerta	1,7											

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Metodología de evaluación del sector residencial

Para estimar las emisiones de contaminantes producto de la calefacción del sector residencial, es necesario determinar la demanda de calor necesaria para garantizar una temperatura base<sup>9</sup> al interior de las viviendas en la zona a evaluar. Esta corresponde a la temperatura que se fija como parámetro para el cálculo de los requerimientos de calefacción, con los cuales se obtiene el confort térmico. La temperatura de confort corresponde a la temperatura óptima para vivir y está en torno a 20°C. En cambio, la temperatura base varía entre 12°C y 18°C, dado que se deben considerar las ganancias de calor producto de dos causas principales: una por la incidencia del sol sobre la envolvente de la vivienda y otra debido al aporte de los usuarios y los equipos de las casas.

La demanda de calor dependerá de las características de cada vivienda, como su volumen, envolvente térmica y la transmitancia de los materiales con la que fue construida, así como la zona geográfica en la que se encuentre y la estación del año. Para satisfacer esta demanda, las viviendas suelen utilizar sistemas de generación de calor, siendo ampliamente utilizados en la zona los sistemas de calefacción en base a leña y sus derivados. Sin embargo, al ser la temperatura exterior menor a la temperatura interior, se produce una pérdida de calor en favor del ambiente más frío, generándose la necesidad de mejorar la aislación térmica de la vivienda.

Para la determinación de la demanda de calor, se utilizan las siguientes características:

- Nivel de hermeticidad de la vivienda: corresponde al número de renovaciones de aire por hora.

<sup>9</sup> Considerando que la temperatura base varía entre 12°C y 18°C, se asumirá como temperatura base 15°C, lo que se asociaría a una temperatura de confort de 19°C aproximadamente.



- Transmitancia térmica (U): flujo de calor que pasa por unidad de superficie, por tiempo y por diferencia de temperatura entre los dos ambientes que separa dicho elemento. Se mide en  $W/m^2 \cdot K$ .
- Grados hora: Corresponde a la suma de las diferencias de temperatura horaria, para todas aquellas horas en que la temperatura es menor a  $15^\circ C$  (temperatura base). No se consideran los meses de verano (diciembre, enero y febrero). Aumentan con la latitud.

Por lo tanto, la demanda de calor para una vivienda se detalla en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{1000} * Gr * V * \left( \frac{\sum_i sup_i * u_i + p_{suelo} * u_{suelo}}{V} + 0,35 * Ren \right)$$

Donde,

$Q$ : Demanda de calor (KW/año-vivienda)

$Gr$ : Grados hora de la zona evaluada ( $^\circ$  hora/año)

$V$ : Volumen de la vivienda ( $m^3$ )

$sup_i$ : Superficie del elemento constructivo  $i$  ( $m^2$ )

$u_i$ : Transmitancia térmica del elemento constructivo  $i$  ( $W/m^2K$ )

$p_{suelo}$ : Perímetro del suelo (m)

$Ren$ : Nivel de hermeticidad de la vivienda (Ren/hora)

La estimación de emisiones por calefacción para el sector residencial se estima de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Emisiones = \sum_j \sum_i \frac{Demanda\ de\ calor \cdot FE_i}{PC_j \cdot \eta_i}$$

Donde,

$Emisiones$ : Emisiones (gr/año)

$\eta_i$ : Eficiencia de calefacción del equipo tecnología  $i$

$FE_i$ : Factor de emisión equipo tecnología  $i$  (gr/kg)

$Demanda\ de\ calor$ : Demanda de calor de la vivienda  $j$  (MJ/vivienda-año)

$PC_j$ : Poder calorífico del combustible utilizado por tecnología  $j$  (MJ/kg)

Los factores de emisión en mg/MJ se detallan en la sección 9.5 de anexos.



La reducción de emisiones debido a la implementación de las medidas corresponde a las emisiones finales menos las de línea base. Las emisiones finales consideran una mejora en el factor de emisión y eficiencia de los equipos, además de un incremento en el poder calorífico del combustible utilizado. La demanda de calor de la vivienda se mantiene constante.

En este sector la estimación de reducción de emisiones considera que las medidas presentan sinergias entre ellas, por lo que no se calculan de forma independiente con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones. Esto se explica en mayor detalle en el anexo 9.4.1.

Con respecto a los costos, estos consideran la inversión anualizada y la diferencia en los costos de operación debido al cambio de tecnología y/o combustible para calefacción. La Tabla 4 a continuación detalla los costos de inversión de los equipos de calefacción según la tecnología de recambio. Se asume una vida útil de 10 años.

Tabla 4: Costos unitarios de inversión en equipos de calefacción

Tecnología	Inversión [CLP/vivienda]
Pellet	1.172.480
Kerosene	1.190.833
Gas	1.065.489
Eléctrico	2.505.664
Leña	434.376
Cocina	696.945

Fuente: Minuta elaborada por División de Calidad del Aire.

Cabe destacar que estos costos corresponden al programa de recambios realizado por el MMA. Esto sobreestima los costos de las prohibiciones graduales de calefactores, ya que existen alternativas más económicas en el mercado.

Respecto de los costos de operación, estos se detallan según tipo de combustible y se obtienen de la oficina de Calefacción Sustentable MMA.

Tabla 5: Costos unitarios de operación en equipos de calefacción.

Energético	Precio	Unidad
Leña	63,62	CLP/kg
Kerosene	765,6	CLP/kg
Gas Natural	864,8	CLP/m <sup>3</sup>
Gas Licuado	1.109	CLP/kg
Electricidad	115,2	CLP/kWh
Pellet	199,8	CLP/kg

Fuente: Elaboración propia.





#### 4. Evaluación sector fuentes fijas

A continuación se muestran las medidas evaluadas y metodología de evaluación correspondientes al control de emisiones de fuentes fijas residenciales, industriales y comerciales.

##### 4.1 Medidas fuentes fijas

En la Tabla 6 se presentan las medidas establecidas en el Anteproyecto del Plan que serán consideradas en la evaluación económica del sector de fuentes fijas (estacionarias).

Tabla 6: Resumen de medidas evaluadas sector fuentes estacionarias

Nombre corto medida	Descripción Anteproyecto	Supuestos evaluación																				
Límite Emisión Calderas	Límites máximos (mg/m <sup>3</sup> N) para MP:	Vigencia: MP - 2022 SO2 fase 1 - 2023 SO2 fase 2 - 2025																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencia térmica (P)</th> <th>Existentes</th> <th>Nuevas</th> <th>Plazo (meses)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 75 kWt</td> <td>-</td> <td>30</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>75 kWt ≤ P &lt; 300 kWt</td> <td>-</td> <td>30</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>300 kWt ≤ P &lt; 1 MWt</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>≥ 1 MWt</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>		Potencia térmica (P)	Existentes	Nuevas	Plazo (meses)	< 75 kWt	-	30	-	75 kWt ≤ P < 300 kWt	-	30	-	300 kWt ≤ P < 1 MWt	30	30	12	≥ 1 MWt	30	30	12
	Potencia térmica (P)		Existentes	Nuevas	Plazo (meses)																	
	< 75 kWt		-	30	-																	
	75 kWt ≤ P < 300 kWt		-	30	-																	
	300 kWt ≤ P < 1 MWt		30	30	12																	
≥ 1 MWt	30	30	12																			
Límites máximos (mg/m <sup>3</sup> N) para SO <sub>2</sub> :	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencia térmica (P)</th> <th>Existentes</th> <th>Nuevas</th> <th>Plazo (meses)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 MWt &lt; P &lt; 20 MWt</td> <td>-</td> <td>400</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>≥ 20 MWt</td> <td>600 400</td> <td>200</td> <td>24 48</td> </tr> </tbody> </table>	Potencia térmica (P)	Existentes	Nuevas	Plazo (meses)	1 MWt < P < 20 MWt	-	400	-	≥ 20 MWt	600 400	200	24 48									
Potencia térmica (P)		Existentes	Nuevas	Plazo (meses)																		
1 MWt < P < 20 MWt		-	400	-																		
≥ 20 MWt	600 400	200	24 48																			
Límite Emisión Hornos	Límites máximos (mg/m <sup>3</sup> N) para MP:	Vigencia: 2021																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Existentes</th> <th>Nuevas</th> <th>Plazo (meses)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Industrial ≥ 20 MWt</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Fundiciones de hierro acero y plomo</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Secadores de granos y semillas</td> <td>50</td> <td>30</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Panificadores</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo	Existentes	Nuevas	Plazo (meses)	Industrial ≥ 20 MWt	30	30	12	Fundiciones de hierro acero y plomo	30	30	0	Secadores de granos y semillas	50	30	0	Panificadores	50	50	0
	Tipo		Existentes	Nuevas	Plazo (meses)																	
	Industrial ≥ 20 MWt		30	30	12																	
	Fundiciones de hierro acero y plomo		30	30	0																	
Secadores de granos y semillas	50	30	0																			
Panificadores	50	50	0																			

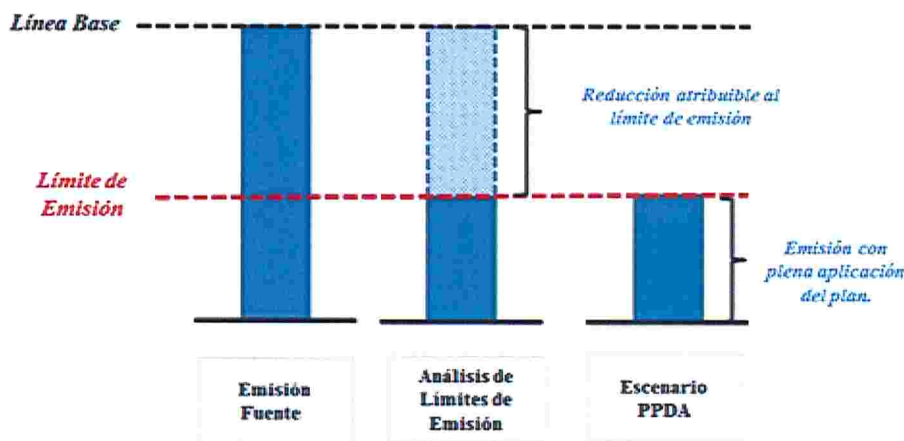
Fuente: Elaboración propia.



## 4.2 Metodología evaluación fuentes fijas

La evaluación de las medidas de límite de emisión para MP y SO<sub>2</sub> considera la reducción de emisiones respecto de la línea base, tal como lo representa la Figura 8.

Figura 8: Cálculo de reducción de emisiones para fuentes fijas



Fuente: Elaboración Propia.

La línea base considera las calderas y hornos de las comunas del Plan. La información se obtuvo del estudio “Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O’Higgins hasta la Región de los Lagos”, realizado por (SISTAM Ingeniería 2019) correspondiente al año 2017.

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. Por lo tanto, la reducción de emisiones se calcula como la multiplicación de las emisiones de línea base por la eficiencia de reducción.

La evaluación de costos se realizó utilizando costos medios por tonelada reducida de MP y SO<sub>2</sub>. Dichos costos medios provienen del Modelo CoST de la USEPA (2006).

Tabla 7: Costos unitarios considerados en la evaluación de fuentes fijas.

Contaminante	Costo (USD2006/ton)
MP	220
SO <sub>2</sub>	2.898

Fuente: Elaboración propia.



## 5. Evaluación sector quemas agrícolas

### 5.1 Medida quemas agrícolas

La medida de quemas agrícolas se describe en la Tabla 8.

Tabla 8: Medida quemas agrícolas

Nombre corto medida	Descripción	Supuestos evaluación
Regulación quemas	Se prohíbe la quema de rastrojos y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal	Vigencia: - 2021 (0 años), periodo 1 de abril al 15 de septiembre. - 2024 (3 años), periodo 1 de marzo al 31 de octubre. - 2026 (5 años), periodo 1 de enero al 30 de diciembre. Línea base: considera que no se realizan quemas entre enero y febrero y entre abril y agosto.

Fuente: Elaboración propia

### 5.2 Metodología quemas agrícolas

La estimación de emisiones para el sector de quemas agrícolas corresponde a la siguiente ecuación:

$$Emisiones = \sum_j \sum_i N^{\circ}Hect\acute{a}reas_{i,j} * FC_i * FE_i$$

Donde,

<i>Emisiones:</i>	Emisiones de quemas agrícolas (ton/año)
<i>N°Hectáreas<sub>i</sub>:</i>	Número de hectáreas quemadas del cultivo <i>i</i> el mes <i>j</i> (Ha/mes)
<i>FC<sub>i</sub>:</i>	Factor de carga, cantidad de toneladas de cultivo <i>i</i> por unidad de superficie (ton/Ha).
<i>FE<sub>i</sub>:</i>	Factor de emisión por cultivo <i>i</i> (kg contaminante/ton)

Con respecto a la fuente de la información utilizada, el número de hectáreas quemadas por cultivo y mes, así como el inventario de emisiones se obtiene del estudio de (SISTAM Ingeniería 2019). El factor de carga y factores de emisión provienen de la recopilación hecha por (MMA 2013).

Para el cálculo de reducción de emisiones se considera el número de hectáreas totales que se dejarán de quemar, de acuerdo a las restricciones definidas en el anteproyecto, a las que se asigna el costo unitario según el estudio Villena, Villena et al. (2007), el cual corresponde a un costo de 1,37 UF por hectárea actualizado de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor.





## 6. Resultados agregados

En esta sección se presentan los resultados de las medidas evaluadas para la reducción de la concentración atmosférica. También se calculan los costos de implementación, ahorros en combustible y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración, según la metodología detallada en el punto 2 y la sección 9.4 de anexos.

### 6.1 Reducción de Emisiones

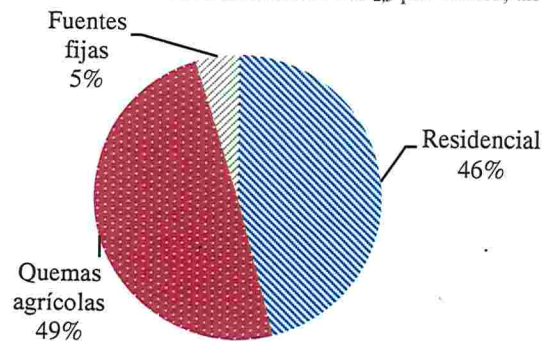
En la Tabla 9 se presenta la reducción de emisiones para el año 2030 derivadas de la implementación de las medidas del plan.

Tabla 9: Reducción de emisiones por medida, año 2030, ton/año.

Medida	MP10	MP25	SOX	NOX
Recambio a pellets y otros	193	181	-2	66
Prohib. Chimeneas	3	2	0	0
Proh. Gradual calefactores	256	238	-48	142
Prohib. Cocinas	240	218	-7	82
VE- Reacondicionamiento térmico	20	19	1	9
VN- Norma aislación	32	29	2	15
Leña Seca	20	19	0	2
Quemas	792	756	32	238
Límite Calderas y Hornos	172	75	0	0
<b>Total</b>	<b>1,728</b>	<b>1,537</b>	<b>-24</b>	<b>554</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 9: Reducción de emisiones anuales de MP<sub>2,5</sub> por sector, año 2030.



Fuente: Elaboración Propia.



## 6.2 Efectos en Calidad del Aire

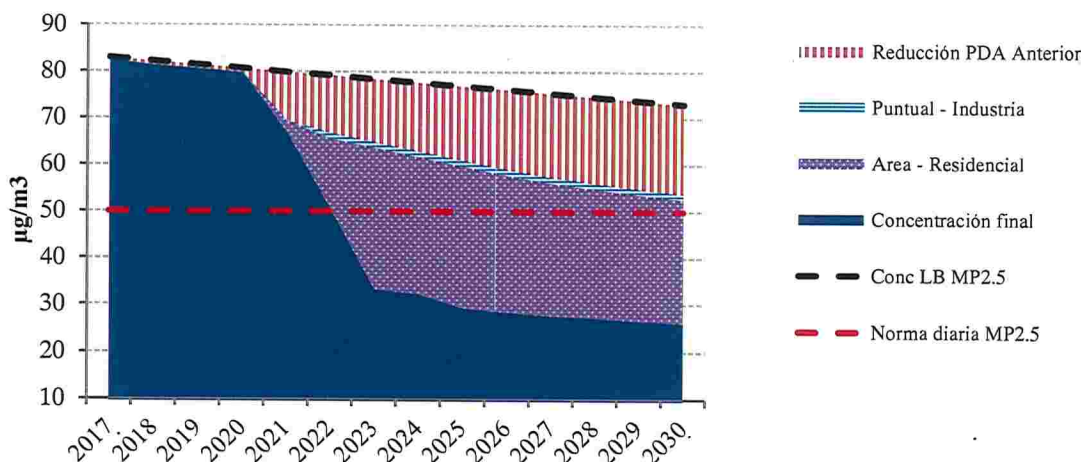
### 6.2.1 Cumplimiento normas de calidad

La Figura 10 y Figura 11 presentan el cumplimiento de la normativa diaria y anual para el MP<sub>2,5</sub> respectivamente para el Valle Central de O'Higgins.

En la Figura 10, las proyecciones de línea base corresponden a la línea puntuada, en que se observa una concentración inicial de 83 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>2,5</sub> diario en el año 2017, la que disminuye debido al recambio natural esperado por equipos a leña más limpios (4% de recambio natural al año, para línea base).

La reducción de concentración por sector se muestra también en la Figura 10. Se observa que son las medias del sector residencial las que tienen un mayor impacto en la normativa diaria (57%), también hay un fuerte impacto en la reducción de emisiones producto de las medidas asociadas al Plan de MP<sub>10</sub> vigente en la zona (41%). La concentración con proyecto corresponde al área azul, observándose que la norma diaria de MP<sub>2,5</sub> se cumpliría en el año 2023.

Figura 10: Evolución de concentración diaria de MP<sub>2,5</sub> para línea base y aporte por sectores (µg/m<sup>3</sup>)



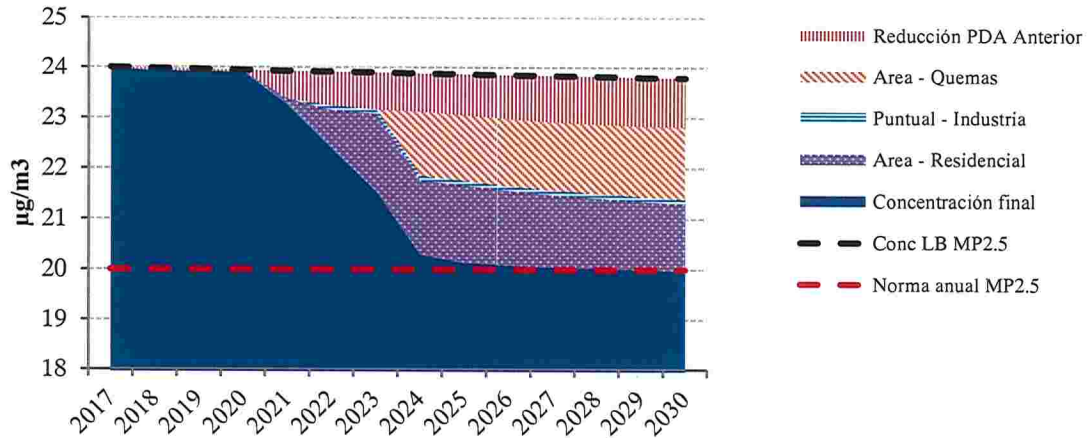
Fuente: Elaboración propia. Nota: Gráfico cortado en eje vertical.

Para el caso de la concentración anual de MP<sub>2,5</sub>, presentada en la Figura 11, la concentración inicial de MP<sub>2,5</sub> diario para el año 2017 es de 24 µg/m<sup>3</sup>.

Se observa que la medida de prohibición de quemas agrícolas es la que tiene un mayor impacto en la normativa anual, correspondiendo a un 37% de la reducción, seguido por las medidas del sector residencial (35%). También hay un fuerte impacto en la reducción de emisiones producto de las medidas asociadas al Plan de MP<sub>10</sub> vigente en la zona (26%). Considerando estas reducciones, se logra cumplir la normativa para el año 2029.



Figura 11: Evolución de concentración anual de MP<sub>2,5</sub> para línea base y aporte por sectores (µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Elaboración propia. Nota: Gráfico cortado en eje vertical.

Por último, la Tabla 10 presenta la reducción de emisiones y concentraciones por sector, respecto a la línea base de cada uno y la distribución de reducciones respecto al total del PPDA.

Tabla 10: Reducción de emisiones y concentración de MP<sub>2,5</sub>, año 2030.

Sector	Reducción (Δ) Año 2030		Reducción respecto al total		Línea Base año 2030		Reducción respecto a LB	
	Δ Emisiones MP25 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5* [µg/m <sup>3</sup> ]	% Δ Emisión	% Δ Conc.	Emisiones LB MP25 [Ton/año]	Conc. LB MP2.5 [µg/m <sup>3</sup> ]	% Δ Emisión	% Δ Conc.
Residencial	706	1,3	46%	35%	1559	2,9	45%	45%
Quemas agrícolas	756	1,4	49%	37%	756	1,4	100%	100%
Fuentes fijas	75	0,1	5%	2%	360	1,6	21%	5%
<b>Total</b>	<b>1.537</b>	<b>2,8</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2.675</b>	<b>6,0</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se presenta solo la reducción asociada a las medidas evaluadas para este plan. En anexo 9.1 se presenta la distribución asignada a las medidas ya vigentes en la zona





### 6.3 Reducción de efectos a la salud: casos evitados

A continuación se muestra el número de casos evitados estimados por tipo de evento para el año 2030 y para el periodo 2021-2030, debido a la menor concentración esperada de MP<sub>2,5</sub> y de MP<sub>10</sub>. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 9.6 de Anexos.

Cabe destacar los casos de mortalidad prematura que se evitarían con la implementación de las medidas del plan, los que se estiman en 83 para el año 2030, con un total de 520 casos evitados de mortalidad entre los años 2021 y 2030.

Tabla 11: Número de casos evitados al año 2030 y durante la vigencia del plan (casos/año)

Evento	Cont.	Tipo	Casos evitados 2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2021-2030 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	75	[ 39 - 111 ]	520	[ 270 - 771 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	8	[ 4 - 11 ]	64	[ 33 - 87 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	2	[ 1 - 2 ]	15	[ 7 - 16 ]
	MP2.5	Cardiovascular	26	[ 18 - 34 ]	189	[ 130 - 249 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	4	[ -3 - 12 ]	31	[ -21 - 85 ]
	MP2.5	Neumonía	31	[ 13 - 49 ]	216	[ 92 - 339 ]
	MP10	Bronquitis	37	[ 4 - 70 ]	292	[ 32 - 550 ]
	MP10	Bronquitis crónica	97	[ 56 - 138 ]	695	[ 402 - 991 ]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	1.209	[ 395 - 2.023 ]	9.403	[ 3.074 - 15.733 ]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	8.405	[ 7.503 - 9.307 ]	67.432	[ 60.197 - 74.668 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida	41.120	[ 37.678 - 44.562 ]	329.436	[ 301.862 - 357.013 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	77.448	[ 67.417 - 87.479 ]	620.480	[ 540.114 - 700.844 ]

Fuente: Elaboración propia

### 6.4 Indicadores Económicos.

#### 6.4.1 Análisis Costo-Beneficio

La Tabla 12 muestra los beneficios y costos por sector, junto con la razón beneficio costo. Se observa que el sector residencial es el que aporta los mayores beneficios, no sólo por reducción de la contaminación, si no que por los ahorros en combustible para calefacción derivados de las medidas, con lo que alcanza el 61% de los beneficios. Es a su vez el sector con los mayores costos, los que dan cuenta del 98% de los costos del plan.

Tabla 12. Valor presente por grupos de medidas de beneficios, costos, beneficio neto y razón B/C (MMUSD)

Sector	Costos	Beneficios	B/C	VAN	Costos	Beneficios
Residencial - leña	193	204	1,1	10	98%	61%
Industria	0,311	12	37,8	11	0,2%	4%
Quemas agrícolas	3	119	37,2	116	1,63%	36%
<b>Total</b>	<b>197</b>	<b>335</b>	<b>1,7</b>	<b>138</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

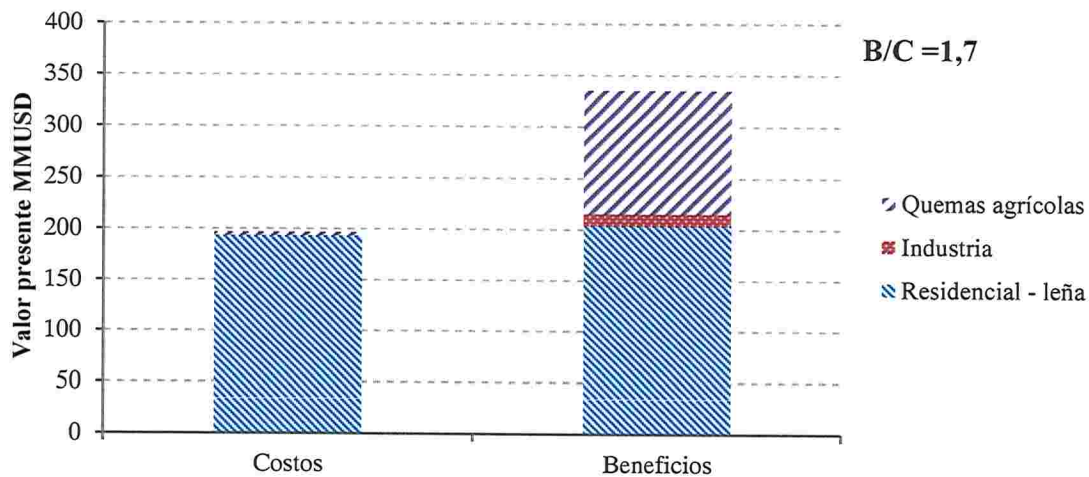
El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 17.260 UF al año 2019, con IC al 90% de [11.968; 21.970] UF<sup>10</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 9.7 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2030. Los beneficios corresponden a la suma de beneficios en salud y ahorros, mientras que los costos corresponden a los costos de inversión más costos variables.

Fuente: Elaboración propia.

El sector quemas agrícolas es el segundo sector en términos de beneficios, los que alcanzan el 36% del total, mientras que los costos alcanzan el 1,63% de los costos totales.

La Figura 12 muestra también la distribución de costos y beneficios por sector del plan, en la que gráficamente se observa que los beneficios exceden a los costos, obteniéndose una razón beneficio costo de 1,7.

Figura 12: Costos y beneficios, valor presente en millones de dólares



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que las medidas del plan implican también cobeneficios al reducir contaminantes climáticos de corta vida (ver sección 9.4.4 de anexos) que no han sido cuantificados.

<sup>10</sup> GreenLabUC (2012). Nuevos Elementos para la Inclusión de la Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES, Preparado por GreenLabUC, Licitación Pública 608897-143-LE11, para Ministerio del Medio Ambiente.



## 7. Conclusiones

El Anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins es una propuesta coherente y consistente para avanzar en la descontaminación de las comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua, Placilla, Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo.

De cumplirse las medidas propuestas en el PPDA la reducción de la concentración anual para  $MP_{2,5}$  alcanzaría el objetivo propuesto por la norma de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el año 2029. En el caso de la normativa diaria, se cumpliría el estándar de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el año 2023 (Ver sección 9.1 de Anexos).

En el caso del  $MP_{10}$ , la concentración anual alcanzaría el objetivo propuesto por la norma de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el año 2024. Y en el caso de la normativa diaria, el año 2021 se lograría salir de la latencia (Ver sección 9.2 de Anexos).

Actualmente en el Valle Central de O'Higgins las concentraciones ambientales de material particulado respirable fino ( $MP_{2,5}$ ) superan las normas de calidad primaria diaria y anual, la misma situación ocurre para el contaminante  $MP_{10}$ <sup>11</sup>. Ello genera importantes costos sociales, económicos y ambientales, donde destaca el impacto sustantivo sobre la salud de las personas.

De acuerdo al inventario de emisiones desarrollado por (SISTAM Ingeniería 2019), los principales sectores emisores de  $MP_{2,5}$  corresponden al sector residencial, quemas agrícolas y fuentes puntuales, con un 54%, 18% y 11% respectivamente de las emisiones de este contaminante.

En consecuencia las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto están orientadas a regular estos sectores. Más específicamente las principales medidas son (i) restricción a las quemas agrícolas, (ii) restricción del uso de todo tipo de artefactos a leña en las comunas de Rancagua y Machalí, y gradualmente en las zonas urbanas de las otras comunas (ii) programa de retiro voluntario de calefactores y cocinas a leña y (iv) control de emisiones de fuentes fijas.

Los Análisis Generales de Impacto Económico y Social (AGIES) realizan análisis de costo beneficio de las medidas propuesta 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 estudios se puede concluir que:

---

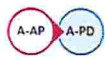
<sup>11</sup> La zona fue declarada saturada por  $MP_{10}$  considerando la concentración promedio del periodo 2014-2016 por la SMA, sin embargo, la concentración observada para el año 2017 es menor al valor de saturación.





1. Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir las normas anual y diaria de  $MP_{2,5}$  al año 2029 y 2023 respectivamente, con importantes aportes del sector agrícola y residencial.
2. El conjunto de medidas con mayor reducción de concentración anual de  $MP_{2,5}$  corresponde a las aplicadas al sector agrícola (37% de las reducciones), seguido por el sector residencial (37%). Estos dos sectores aportan en conjunto con  $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la mejora de calidad del aire de la zona saturada del PPDA. Adicionalmente, se considera una reducción asociada al plan vigente de  $MP_{10}$  correspondiente a  $0,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (26% de la reducción total).
3. La reducción de emisiones generarán los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud y reducciones en el consumo de leña. Adicionalmente, la reducción de  $MP$  posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como disminución de contaminantes climáticos de vida corta, mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
4. Los beneficios valorizados se estiman en **USD 335 millones**, para un horizonte de evaluación desde 2021 a 2030, atribuibles principalmente al sector residencial y agrícola (61% y 36% respectivamente).
5. Los costos valorizados se estiman en **USD 197 millones**, para un horizonte de evaluación desde 2021 a 2030 atribuibles, al igual que en los beneficios, al sector residencial (98%) y agrícola (1,6%).
6. Los beneficios netos en valor presente se estiman en **USD 138 millones**, con **una razón beneficio-costo de 1,7**.

Lo anterior permite concluir que la implementación de las medidas del plan es altamente rentable desde el punto de vista social, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes de las comunas del Valle Central de O'Higgins y consecuente con los objetivos de Gobierno en materia de reducción de la contaminación atmosférica.



## 8. Referencias

Arrow, K. J., M. L. Cropper, et al. (1996). "Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and safety regulation?" *Science* 272(5259): 221-222.

CCAC (2014). Time to Act to Reduce Short-lived Climate Pollutants, UNEP.  
The Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants (CCAC) is a voluntary partnership uniting governments, intergovernmental organisations, civil society and the private sector in the first global effort to address short-lived climate pollutants (SLCPs) as an urgent and collective challenge, in ways that protect the environment and public health, promote food and energy security, and address near term climate change. The Coalition's work is complementary to the global action to reduce carbon dioxide, in particular efforts under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

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."

GreenLabUC (2011). Co-beneficios de la Mitigación de GEI. Santiago de Chile, Reporte preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.

GreenLabUC (2012). Nuevos Elementos para la Inclusión de la Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES, Preparado por GreenLabUC, Licitación Pública 608897-143-LE11, para Ministerio del Medio Ambiente.

GreenLabUC (2016). Manual para Desarrollo de Inventarios, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente, Licitación ID 608897-500-SE16.

Ministerio de Desarrollo Social (2016). Precios Sociales Vigentes 2016. División de Evaluación Social de Inversiones - Subsecretaría de Evaluación Social.

MMA (2011). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., 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 (2013). Desarrollo de Modelo Genérico para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación 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 Ingeniería (2019). Inventario de Emisiones de contaminantes atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la Región de los Lagos, elaborado para el Ministerio del Medio Ambiente.

Villena, M., M. Villena, et al. (2007). "Análisis General de 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."





000649

## 9. Anexos

### 9.1 Asignación de reducción entre planes

Tabla 13. Asignación porcentual entre versiones de PDA, considerando medidas vigentes

Medida	Plan	2017-2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Recambio a pellets y otros	Anterior	100%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Nuevo	0%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Prohib. Chimeneas	Anterior	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Nuevo	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Prohib. Gradual calefactores (*)	Anterior	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Nuevo	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Prohib. Cocinas (*)	Anterior	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Nuevo	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VE- Reacondicionamiento térmico	Anterior	100%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%	38%
	Nuevo	0%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
VN- Norma aislación	Anterior	100%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
	Nuevo	0%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Leña Seca	Anterior	100%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
	Nuevo	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Quemas	Anterior	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Nuevo	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Límite Calderas y Hornos	Anterior	100%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
	Nuevo	0%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%

Fuente: Elaboración propia. (\*): Estas medidas no se encontraban en el PDA anterior (MP<sub>10</sub>), mientras que las otras medidas se encontraban en el PDA anterior de forma total o parcial.

Para evaluar la reducción de emisiones producto del Plan anterior (Plan de MP<sub>10</sub>), se realizó la distribución presentada en la Tabla 13, la cual indica que porcentaje de la reducción de cada medida se asigna al plan anterior y al plan nuevo (MP<sub>2,5</sub>), el cual se está evaluando en este AGIES.

Para determinar la distribución se consideró si la medida aumentaba su exigencia o no, por ejemplo, para el recambio de calefactores, el PDA de MP<sub>10</sub> vigente en la zona exigía 12.000 unidades, mientras que el PDA vigente, exige 20.000 unidades. De esta forma, la medida se atribuye un 60% al PDA anterior (12.000/20.000) y un 40% al PDA nuevo. Misma situación ocurre con el reacondicionamiento térmico de las viviendas.

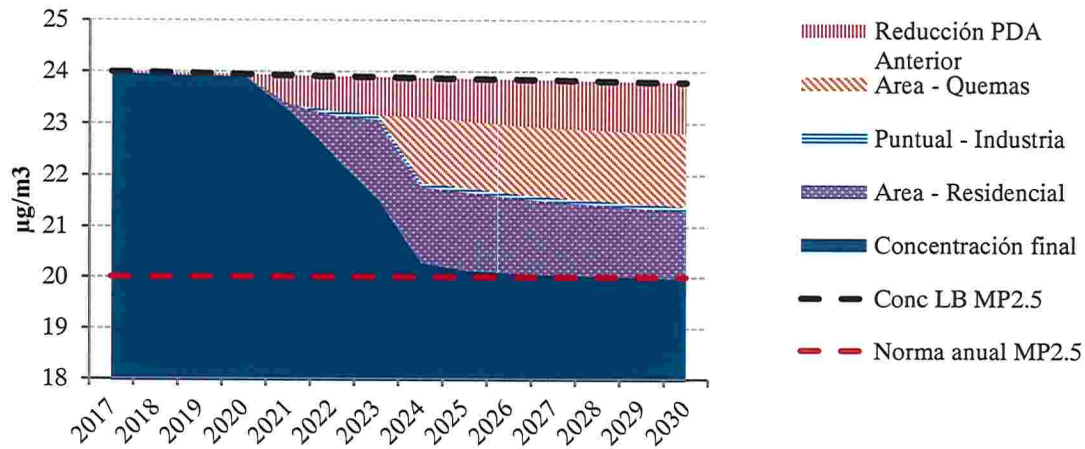
Para las otras medidas donde no es tan claro el cálculo, se discutió el supuesto con la División de Calidad del Aire, considerando la variación de la misma medida entre un plan y otro.



000650

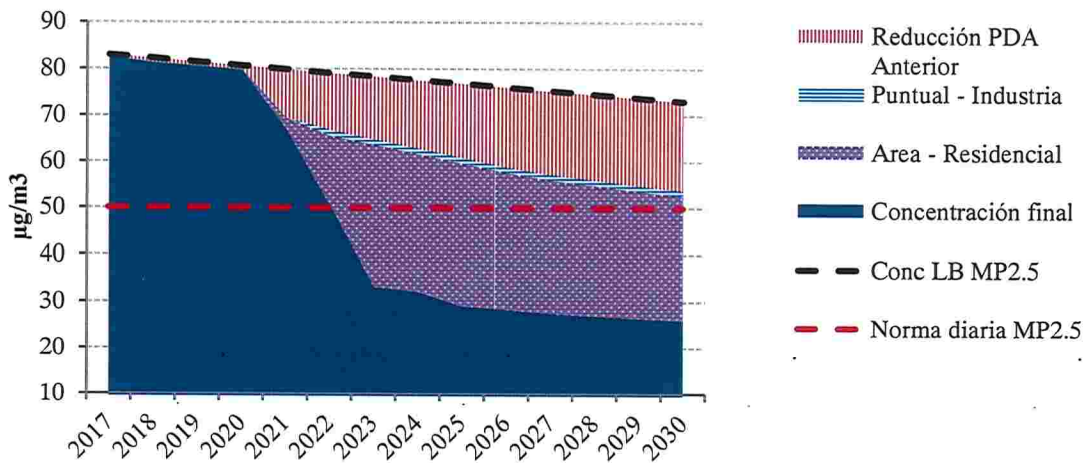
## 9.2 Concentración con medidas PPDA en el tiempo

Figura 13: Concentración final con medidas PPDA, MP<sub>2,5</sub> anual



Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Concentración final con medidas PPDA, MP<sub>2,5</sub> diaria



Fuente: Elaboración propia



000651

Figura 15: Concentración final con medidas PPDA, MP<sub>10</sub> anual

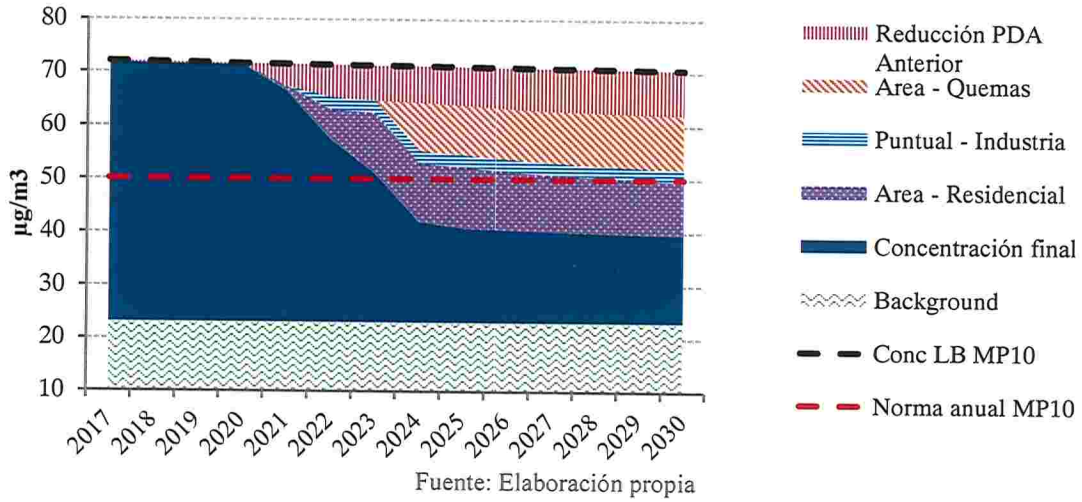
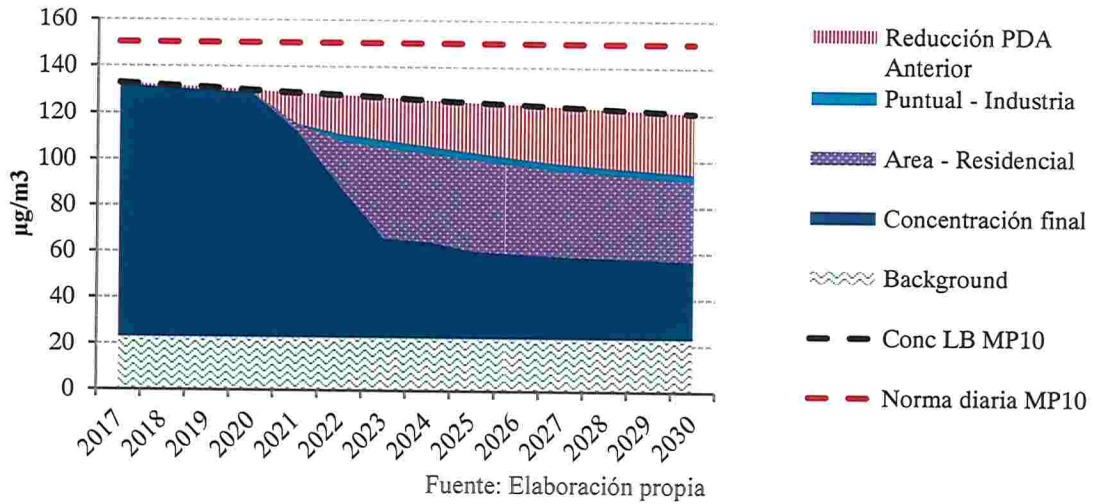


Figura 16: Concentración final con medidas PPDA, MP<sub>10</sub> diaria







000652

### 9.3 Resultados por medida

Tabla 14: Resultados principales por medida

Medida	Reducción (Δ) Año 2030		Reducción respecto al total		VP millones de dólares		B/C
	Δ Emisiones MP25 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5 [μg/m3]	% Δ Emisión	% Δ Conc.	Costos (Inv + variables)	Beneficios (Salud + ahorros)	
Recambio a pellets y otros	181	0,34	12%	12%	11	32	3,0
Prohib. Chimeneas	2	0,005	0,2%	0,2%	0,6	0,9	1,6
Prohib. Gradual calefactores	238	0,45	15%	16%	83	99	1,2
Prohib. Cocinas	218	0,41	14%	14%	54	57	1,1
VE- Reacondicionamiento térmico	19	0,04	1%	1%	33	4	0,1
VN- Norma aislación	29	0,05	2%	2%	11	5	0,4
Leña Seca	19	0,04	1%	1%	0,4	5	11,4
Quemas	756	1,43	49%	50%	3	119	37,2
Límite Calderas y Hornos	75	0,08	5%	3%	0,3	12	37,8
<b>Total</b>	<b>1.537</b>	<b>2,8</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>197</b>	<b>335</b>	<b>1,7</b>

Fuente: Elaboración propia

### 9.4 Metodología AGIES

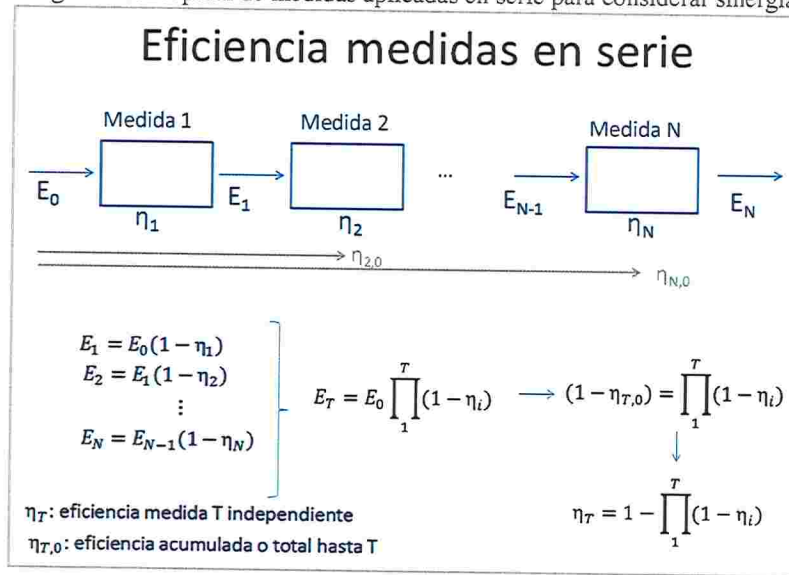
#### 9.4.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

Se consideraron los efectos combinados o sinergias que poseen las medidas del PPDA, tanto en la reducción de emisiones como en los costos variables en combustible del sector residencial, fuente emisora con múltiples medidas que la afectan. De otro modo, se estaría haciendo un doble conteo tanto en reducción de emisiones como en costos.

La Figura 17 se explica en forma esquemática cómo fue abordado este tema en la evaluación. En ella se explicita que la eficiencia final de N medidas que son aplicadas a una misma fuente emisora es la combinación de las eficiencias en su conjunto según la fórmula matemática señalada y con ello, se evita la sobre estimación de reducción de emisiones y de los costos.



Figura 17: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas,



000653

Fuente: Elaboración propia



### 9.4.2 Factores emisión concentración MP

00654

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>). Para estimar el cambio en la concentración de MP<sub>2,5</sub> con respecto a un cambio en la emisión de un determinado contaminante (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, y MP), se debe estimar el factor de emisión-concentración o FEC para cada zona geográfica. El FEC indica las toneladas necesarias de contaminante para aumentar en 1 µg/m<sup>3</sup> el promedio anual de concentración de MP.

El FEC, es proporcional a la equivalencia entre contaminantes, tal que:

$$C_{MP2,5} = \sum_i \frac{E_i}{FEC_i} + C_{MP2,5background}$$

Donde i corresponde a las emisiones directas de MP<sub>2,5</sub> y a sus precursores: NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

El cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso MP<sub>2,5</sub>; se estima como:

$$\Delta C_{MP2,5} = \sum_i \frac{\Delta E_i}{FEC_i}$$

Para el caso del Valle Central de O'Higgins, se consideró el FEC del estudio "Co-beneficios de la Mitigación de GEI" (GreenLabUC 2011), el cual determinó la relación entre contaminantes. Estos valores se corrigen considerando el inventario de emisiones y la concentración en la zona.

Los factores emisión concentraciones resultantes para el material particulado fino se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Factores emisión concentración para MP<sub>2,5</sub> anual, ton/µg/m<sup>3</sup>

Sector	MP25	SOX	NOX
Área - Residencial	530	-	-
Área - Quemadas	530	-	-
Puntual - Industria	918	6.086	1.910
Móviles - En Ruta	52	981	1.450
Móviles - Fuera de Ruta	52	981	1.450

Fuente: Elaboración propia

La interpretación del FEC calculado corresponde al número de toneladas de contaminante que se requerirían para generar 1 µg/m<sup>3</sup> de MP<sub>2,5</sub>.

En el caso del FEC para MP<sub>10</sub>, no se tienen diferencia entre sectores.





00655

Tabla 16: Factores emisión concentración para MP<sub>10</sub> anual, ton/μg/m<sup>3</sup>

Evento	MP10
Todos los sectores	76,67

Fuente: Elaboración propia

### 9.4.3 Beneficios en salud

Los efectos en salud se asocian a principalmente a la fracción fina del material particulado (MP<sub>2,5</sub>), pero también existen efectos por MP<sub>10</sub> 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. Asimismo, el ozono puede provocar problemas respiratorios, asma y reducir la función pulmonar.

Además de los efectos a la salud de las personas, existen otros beneficios de reducir la contaminación. La Tabla 17 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 17: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

Identificados	Valorizados
↓ Mortalidad prematura (MP)	Sí
↓ Morbilidad (MP)	Sí
↓ Productividad perdida (MP)	Sí
↓ Actividad restringida (MP)	Sí
↑ Visibilidad (MP)	No
↓ Corrosión materiales (SO <sub>2</sub> )	No
↑ Producción agrícola (MP, SO <sub>2</sub> )	No
↓ Efectos en ecosistemas (SO <sub>2</sub> )	No
↑ Imagen país (recomendaciones OCDE)	No
↓ Depósito de contaminantes (MP, SO <sub>2</sub> )	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:

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

000656

Dónde:

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

Al linealizar<sup>12</sup> 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:

- $\text{Beneficio}_p$ : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de  $p$ , en este caso  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$ .
- $VU_j$ : Valoración unitaria de cada efecto  $j$  evaluado [UF/caso]

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

<sup>12</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

#### 9.4.4 Cobeneficios en cambio climático

000657

Los contaminantes climáticos de corta vida son agentes que influyen en el calentamiento del clima. Los principales son carbono negro, metano, ozono troposférico e hidrofluorocarbonos (HFCs). Además de su impacto como contaminantes climáticos, varios de ellos son también peligrosos contaminantes atmosféricos con impactos en la salud humana, agricultura y ecosistemas.

Las acciones para reducir estos contaminantes climáticos de corta vida tienen la ventaja de que provocarían una respuesta climática relativamente rápida, debido a su menor tiempo de permanencia en la atmósfera, comparada con otros gases de efecto invernadero. Es por esto que mitigar estos contaminantes ayudaría en el corto plazo a reducir la tasa de calentamiento global y evitar sobrepasar la meta de incremento de temperatura de 2°C al 2050.

Los planes de descontaminación atmosférica tienen impactos no cuantificados en la reducción de estos contaminantes climáticos. De hecho, el programa de medio ambiente de las Naciones Unidas (UNEP por sus siglas en inglés), ha identificado una serie de medidas con efectos en el corto plazo para la protección del clima (CCAC 2014) y con beneficios en calidad del aire:

- La medida N°1 propuesta por UNEP es el reemplazo de cocinas a biomasa por cocinas con otros combustibles modernos.
- La medida N°2 propuesta por UNEP corresponde al reemplazo de cocinas y calefactores tradicionales por otros de “combustión limpia” a biomasa.
- La medida N°3 propuesta por UNEP corresponde al reemplazo de estufas a leña por estufas a pellet.
- La medida N°8 por UNEP corresponde a eliminar vehículos diésel de alta emisión.
- La medida N°9 prohíbe las quemaduras abiertas de desechos agrícolas.

Las medidas mencionadas están alineadas con las establecidas en los planes de descontaminación de la zona centro-sur del país, implicando por lo tanto cobeneficios en cambio climático que deben tenerse en cuenta como una ventaja adicional de los planes.

En el caso de la combustión residencial el carbono negro representa en la mayoría de los casos un 10% de las emisiones de MP<sub>2,5</sub>, en las emisiones del sector transporte la fracción va entre un 15% y 80% de las emisiones de MP<sub>2,5</sub>, en el caso de calderas la fracción va entre un 0,1 y 44% según recopilación hecha en (GreenLabUC 2016).

#### 9.4.5 Evaluación de costos

Los costos evaluados corresponden al costo incremental de las medidas respecto del escenario base, esto es, en ausencia del plan de descontaminación, pero considerando normativas previas vigentes a nivel nacional o en la zona de aplicación de las medidas. Para el presente plan se considera parte de la línea base el plan de descontaminación por MP<sub>10</sub>.





000658

Debido a las diferentes vidas útiles de las inversiones necesarias para dar cumplimiento al plan, se anualizan los costos para una adecuada comparación de estos con los beneficios asociados a salud y a ahorro de combustibles.

La tasa de descuento utilizada en la evaluación es de 6%, según se recomienda para proyectos sociales Ministerio de Desarrollo Social (2016).

Se considera la inversión anualizada de acuerdo a su vida útil y los costos de operación y mantención. Los diferentes flujos de costos asociados a las diferentes medidas son llevados a valor presente.

A su vez, el valor presente de los costos corresponde a la sumatoria del costo medio de las medidas multiplicado por la reducción de emisiones asociada para cada periodo.

$$VP_{CT} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \left( \frac{Inversión_{m,t}}{(1+r)^t} \cdot \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] + \frac{Costos_{OyM_{m,t}}}{(1+r)^t} \right) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \frac{CMe_{m,t} \cdot Red_{m,t}}{(1+r)^t}$$

Donde:

- VP<sub>CT</sub>: Valor presente de los Costos Totales realizadas un horizonte de T años, para todas las medidas [\$],
- Inversión<sub>m,t</sub>: Inversión de la medida m realizada en el año t [\$],
- Costos<sub>OyM<sub>t</sub></sub>: Costos de Operación y Mantención realizados en el año t [\$/año],
- CMe<sub>m</sub>: Costo Medio de la medida m  $\left[ \frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$  o  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p} \right]$ ,
- Red<sub>p</sub>: Reducción del contaminante p de la medida m en  $[\text{ton p}]$  o  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ p} \right]$ ,
- r: Tasa de descuento utilizada,
- n: Vida útil de la inversión [años],
- T: Horizonte de Evaluación de las medidas [años].



## 9.5 Factores de emisión sector residencial

000659

Tabla 18: Factores de emisión equipos de calefacción residencial (mg/MJ), corregidos por eficiencia de equipos

	MP10	MP2,5	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Otros	3.689	3.578	37	242	205	40.015	289.281	775	10	36.276
Chimenea	2.245	2.045	37	242	205	40.015	289.281	775	10	36.276
Salamandra	2.258	2.098	30	1.147	164	78.547	231.425	620	8	29.021
Combustión Simple	1.002	937	14	271	149	47.719	210.386	564	8	6.106
Doble Cámara Básica	770	726	12	236	137	27.268	192.854	517	7	5.597
Doble Combustión 2.5 g/h	317	292	11	202	117	16.294	165.303	443	6	4.798
Pellets	39	39	16	102	86	9.053	121.863	326	4	0
Estufa a Kerosene	10	10	118	72	0	20	89.875	13	1	0
Estufa a Gas Licuado	2	2	0	50	0	10	80.897	6	0	0
Estufa a Gas Natural	0	0	0	0	0	0	71.923	6	0	0
Estufa Eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cocina a Leña	1.667	1.556	37	391	205	96.758	289.281	775	10	36.276
Cocina a Gas Licuado	2	2	0	50	0	10	80.897	6	0	0
Cocina a Gas Natural	0	0	0	0	0	0	71.923	6	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2013)



000660

## 9.6 Valores unitarios de beneficios

Tabla 19: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2019, escenario Normal.

Tipo de efecto	Efecto detalle	Grupo etario								
		0-1	1-4	5-12	13-17	18-29	30-44	45-64	65-74	75+
<b>Mortalidad</b>	<i>Largo y corto plazo</i>	17.260	17.260	17.260	17.260	17.260	17.260	17.260	17.260	17.260
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	30	30	30	30	32	32	32		
	<i>Cardiovascular</i>					65	65	65	65	65
	<i>Respiratorias crónicas</i>					42	42	42	42	42
	<i>Neumonía</i>								46	46
	<i>Bronquitis</i>	30	30	30	30	42	42	42	42	42
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma</i>	1,5	1,5	1,5	1,5					
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>					0,97	0,97	0,97		
	<i>Días de actividad restringida</i>					0,3	0,3	0,3		
	<i>Días de actividad restringida menor</i>									

Fuente: (MMA 2011)

## 9.7 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 20 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino.

Tabla 20: Coeficientes de riesgo unitario

Tipo de efecto	Efecto detalle	Grupo etario								
		0-1	1-4	5-12	13-17	18-29	30-44	45-64	65-74	75+
<b>Mortalidad</b>	<i>Respiratoria corto plazo</i>						0,39%	0,39%	0,39%	0,39%
	<i>Cardiopulmonar largo plazo</i>						0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
	<i>Todas las causas largo plazo</i>	0,39%					0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%		
	<i>Cardiovascular</i>					0,15%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%
	<i>Respiratorias crónicas</i>					0,24%	0,24%	0,24%	0,12%	0,12%
	<i>Neumonía</i>							0%	0,4%	0,4%
	<i>Bronquitis</i>			0,77%						
	<i>Bronquitis crónica</i>					1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma</i>	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%					
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>					0,46%	0,46%	0,46%		
	<i>Días de actividad restringida</i>					0,47%	0,47%	0,48%		
	<i>Días de actividad restringida menor</i>					0,74%	0,74%	0,74%		

Fuente: (MMA 2011)



Tabla 21: Detalle coeficientes de riesgo unitario

Tipo de Efecto	Nombre	Grupo edad	Cont.	Métrica	Fuente	Original Location	Beta	Stderr
Mortalidad Prematura	Exp de Largo Plazo Todas las Causas	0-1	MP10	Annual	Woodruff et al.	Nationwide, USA	0,39%	1,22E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis	5-12	MP10	Annual	Hoek et al.	Nine Countries	0,77%	4,95E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis Crónica	18+	MP10	Annual	Combination (OMS)	California, USA and Switzerland	1,11%	3,42E-03
Mortalidad Prematura	Exp de Largo Plazo Cardiopulmonar	>30	MP2.5	Annual	Pope et al.	US Metropolitan Areas	0,86%	3,03E-03
Admisiones Hospitalarias	Congestive Heart Failure	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Ito	Detroit, MI	0,31%	1,29E-03
Admisiones Hospitalarias	Dysrhythmia	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Ito	Detroit, MI	0,12%	2,03E-03
Admisiones Hospitalarias	Ischemic Heart (less Myocardial Infarctions)	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Ito	Detroit, MI	0,14%	1,16E-03
Admisiones Hospitalarias	Chronic Lung	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Ito	Detroit, MI	0,12%	2,06E-03
Admisiones Hospitalarias	Pneumonia	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Ito	Detroit, MI	0,40%	1,66E-03
Admisiones Hospitalarias	Cardiovasculares	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,15%	3,68E-04
Admisiones Hospitalarias	Chronic Lung	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,24%	7,91E-04
Admisiones Hospitalarias	Cardiovasculares	65+	MP2.5	D24Hour Mean	Moolgavkar	Los Angeles, CA	0,16%	3,44E-04
Admisiones Hospitalarias	Asthma	0-64	MP2.5	D24Hour Mean	Sheppard	Seattle, WA	0,33%	1,05E-03
Visitas Sala Urgencia	Asthma	0-17	MP2.5	D24Hour Mean	Norris et al.	Seattle, WA	1,65%	4,14E-03
Restricción de Actividad	Días Laborales Perdidos	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Ostro	Nationwide, USA	0,46%	3,60E-04
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Ostro	Nationwide, USA	0,48%	2,90E-04
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida Menor	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Ostro and Rothschild	Nationwide, USA	0,74%	7,00E-04
Visitas Sala Urgencia	Bronquitis Aguda	0-17	MP2.5	D24Hour Mean	Dockery et al.	Six Cities USA	0,44%	2,16E-03

Fuente: Elaboración Propia.

## 9.8 Ficha del AGIES

000662

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación para el Valle Central de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	DS N°42/2017 MMA, Declara zona saturada por MP <sub>2.5</sub> . Resolución exenta N°503/2018 MMA da inicio a proceso de elaboración del PDA de O'Higgins.
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término AGIES	30 de Septiembre 2019
	Alcance geográfico	Comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua, Placilla y, parcialmente, en las comunas de Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo
	Instrumento nuevo o revisión	Nuevo
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos.
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013)
	Normativas consideradas de línea base	Norma de calefactores (DS N°39/2011, MMA)
	Nivel de evaluación de beneficios	Se valoró beneficios en salud y ahorros en combustibles
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 20
	Tasas de incidencia	(MMA 2011)
	Valor de la vida estadística	17.260 UF al año 2019, proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población
	Modelo de dispersión	FEC
	Beneficios marginales por concentración de MP <sub>2.5</sub>	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro	Año 2030: MP <sub>2.5</sub> diario: 27,7 [µg/m <sup>3</sup> ], MP <sub>2.5</sub> anual: 2,8 [µg/m <sup>3</sup> ]. MP <sub>10</sub> diario: 37,8 [µg/m <sup>3</sup> ], MP <sub>10</sub> anual: 22,5 [µg/m <sup>3</sup> ].
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2030: MP <sub>2.5</sub> : 4.009 ton/año
Años de evaluación	2021-2030 (10 años)	
Parámetros	Valor del dólar	709,81 pesos/dólar (valor al 17-09-2019)
	Valor de la UF	28.024,26 pesos/UF (valor al 17-09-2019)
Resultados	Costos estimados en MM USD	Valor presente: 197
	Beneficios estimados en MM USD	Valor presente: 335
	Valor actual neto en MM USD	Valor presente: 138
	B/C	1,7