



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

**ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO  
DE PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN DE LA REGIÓN  
METROPOLITANA**

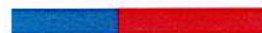
---

*Diciembre 2015*

## **Presentación**

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana (RM), en el cual se evaluaron los beneficios y costos de las medidas propuestas.

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 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 Ministerio del Medio Ambiente 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 Descontaminación Atmosférica (PPDA) de la Región Metropolitana (RM). Este tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas.

En la RM las concentraciones ambientales de material particulado respirable ( $MP_{10}$ ) y fino ( $MP_{2,5}$ ), 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  $NO_x$ ,  $SO_x$  y  $NH_3$  (precursores de MP) provenientes principalmente del sector residencial, transporte e industrial. 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) un grupo de medidas que incentivan el recambio tecnológico y un menor uso en el parque vehicular particular y comercial, (ii) la restricción del uso de artefactos a biomasa en la región, y (iii) mayores exigencias en los estándares de emisiones en el sector industrial junto con compensación de emisiones.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir tanto las normas de  $MP_{2,5}$  diaria y anual al año 2026, con importantes aportes del sector industrial, transporte y residencial (Figura A y B).
- 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 (Figura C); y reducciones en consumo de combustible principalmente para el sector transporte. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en USD 7.707 millones, para un horizonte de evaluación de 11 años<sup>1</sup> atribuibles principalmente al sector transporte (63%), Industrial (20%) y el residencial (16%) (Figura D).
- Los costos valorizados se estiman en USD 1.686 millones, para un horizonte de evaluación de 11 años, atribuibles al igual que en los beneficios, al sector transporte (84%) e industrial (15%) (Figura D). El sector residencial aporta tan solo con un 0,6%, transformándolo en un sector altamente costo-efectivo en la reducción de emisiones.
- Los beneficios netos<sup>2</sup> en valor presente a 11 años se estiman en USD 6.022 millones, con una razón beneficio-costo de 4,6 (Figura D).

Los indicadores económicos estimados permiten concluir que la implementación del PPDA de la RM es altamente rentable desde el punto de vista social, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes de la región.

<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=11 años / Tipo cambio dólar: 684 CLP / Tipo cambio UF: 25.115 CLP.

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

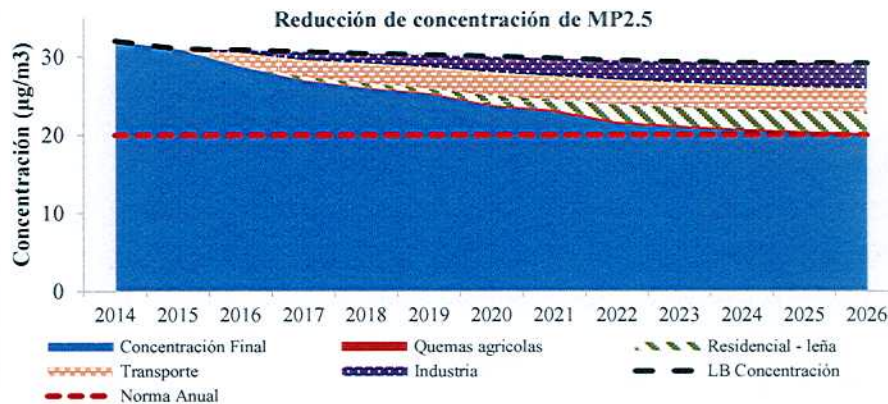


Figura A: Reducción concentración anual MP<sub>2.5</sub>.

La reducción de la concentración anual para MP<sub>2.5</sub> alcanza el objetivo propuesto por la norma de 20 µg/m<sup>3</sup> para el año 2026. El conjunto de medidas con mayor reducción corresponde a las aplicadas al sector industrial (35% de las reducciones), seguido por el sector transporte (32%) y por el sector residencial (30%). Estos tres sectores aportan con casi 9 µg/m<sup>3</sup> en la mejora de calidad del aire. Otras medidas tales como quemas agrícolas aportan en menor medida, pero igualmente necesaria para lograr la meta del PPDA.

\* Industria incorpora calderas, procesos, agroindustria, maquinaria de construcción y grupos electrógenos.

Sector	Linea Base 2026		Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector		Reducción Total
	Emisiones MP25 [Ton/año]	Conc. MP2.5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Δ Emisiones MP25 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5 [µg/m <sup>3</sup> ]	% Δ Conc.	% Δ Conc.	
Residencial - leña	1,872	3.00	1,721	2.7	91%	30%	
Residencial - otras	95	0.68	-	0.0	0%	0%	
Transporte	510	8.50	288	3.0	35%	32%	
Maquinaria construcción	1,226	4.92	722	1.7	34%	19%	
Industria	982	3.31	278	1.1	33%	12%	
Quemas agrícolas	118	0.21	118	0.2	100%	2%	
Agroindustria	0	4.45	-	0.5	10%	5%	
Evaporativas	0	0.00	-	0.0	0%	0%	
Otras	157	0.27	-	0.0	0%	0%	
Background	0	3.78	-	0.0	0%	0%	
<b>Total</b>	<b>4,959</b>	<b>29</b>	<b>3,126</b>	<b>9</b>	<b>31%</b>	<b>100%</b>	

Figura B: Reducciones en emisiones del PDA por sector

La reducción en emisiones (ton/año) se representa mediante el símbolo Δ. La reducción porcentual por sector representa la disminución en emisión base para cada sector respecto de su emisión base, expresada en forma porcentual. La reducción total corresponde al porcentaje de emisiones reducidas para cada sector respecto de la emisión total reducida. La comparación de ambos resultados indica que casi todos los sectores aportan en la reducción de emisiones del PDA.

Evento	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	1.663	[ 1.147 – 2.280 ]	11.190	[ 7.898 – 15.338 ]
Admisiones hospitalarias	1.668	[ 1.048 – 2.227 ]	11.582	[ 142.708 – 351.923 ]
Visitas Salas de Emergencia	27.639	[ 18.022 – 44.473 ]	218.650	[ 149.710 – 366.937 ]
Productividad perdida	3.607.044	[ 3.318.967 – 3.778.664 ]	28.016.022	[ 25.823.459 – 29.367.195 ]

Figura C: Casos evitados al año 2026 y totalidad el Plan (2016-2026)

Número de casos evitados en el año 2026, y para todo el periodo de implementación del plan (2016-2026), atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 90%.

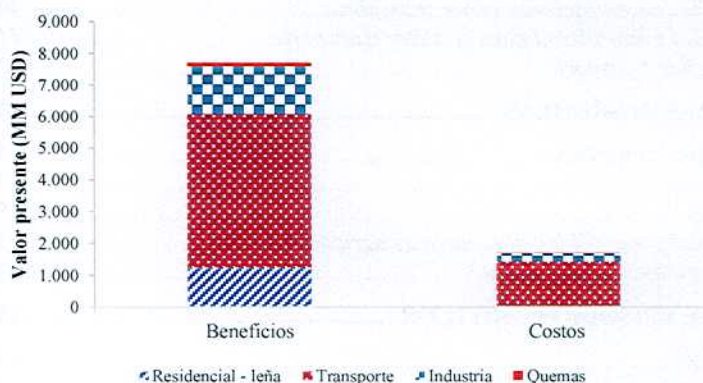


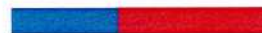
Figura D: Beneficios y Costos del Plan

Los beneficios estimados (7.707 MMUSD) del PPDA son muy superiores a los costos estimados (1.686 MMUSD), con un beneficio neto de 6.021 MMUSD y una razón beneficio-costo de 4,6.

Si bien el sector que más aporta en la mejora de calidad del aire es el industrial (Figura A), es el sector transporte el de mayor aporte en los beneficios producto de que además dichas medidas tienen un impacto importante en la reducción de consumo de combustible.

\* diferencia entre los beneficios y costos

\*\* división entre beneficios y costos



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
1.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO .....	6
1.2 INVENTARIO DE EMISIONES POR SECTOR .....	8
<b>2. METODOLOGÍA DEL AGIES</b> .....	<b>9</b>
<b>3. EVALUACIÓN SECTOR RESIDENCIAL</b> .....	<b>11</b>
3.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	11
3.1.1 <i>Aporte de emisiones y concentraciones del sector</i> .....	11
3.1.2 <i>Medidas evaluadas sector residencial y supuestos de evaluación</i> .....	13
3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL .....	14
3.3 RESULTADOS DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	15
3.3.1 <i>Reducción de emisiones y de concentraciones sector residencial</i> .....	16
3.3.2 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad del sector residencial</i> .....	17
3.3.3 <i>Indicadores económicos sector residencial</i> .....	18
3.4 ANEXOS SECTOR RESIDENCIAL .....	20
<b>4. EVALUACIÓN SECTOR INDUSTRIAL</b> .....	<b>21</b>
4.1 ANTECEDENTES SECTOR INDUSTRIAL .....	21
4.1.1 <i>Calderas, procesos y grupos electrógenos</i> .....	22
4.1.2 <i>Agroindustria</i> .....	23
4.1.3 <i>Maquinaria de construcción</i> .....	23
4.1.4 <i>Medidas evaluadas sector industrial</i> .....	24
4.2 METODOLOGÍA EVALUACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL.....	25
4.2.1 <i>Calderas, procesos y grupos electrógenos</i> .....	25
4.2.2 <i>Agroindustria</i> .....	30
4.2.3 <i>Maquinaria de construcción</i> .....	30
4.3 RESULTADOS SECTOR INDUSTRIAL .....	30
4.3.1 <i>Reducción de emisiones y de concentraciones sector industrial</i> .....	30
4.3.2 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad para el sector industrial</i> .....	32
4.3.3 <i>Indicadores económicos sector industrial</i> .....	32
<b>5. EVALUACIÓN SECTOR TRANSPORTE</b> .....	<b>34</b>
5.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR TRANSPORTE .....	34
5.1.1 <i>Aporte de emisiones y concentraciones del sector</i> .....	34
5.1.2 <i>Medidas evaluadas sector transporte</i> .....	37
5.2 METODOLOGÍA EVALUACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE.....	38
5.3 RESULTADOS SECTOR TRANSPORTE .....	40
5.3.1 <i>Reducción de emisiones y de concentraciones sector transporte</i> .....	40
5.3.2 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad para el sector transporte</i> .....	41
5.3.3 <i>Indicadores económicos sector transporte</i> .....	42
<b>6. EVALUACIÓN SECTOR QUEMAS AGRÍCOLAS</b> .....	<b>44</b>
6.1 ANTECEDENTES Y MEDIDAS QUEMAS AGRÍCOLAS.....	44
6.2 METODOLOGÍA QUEMAS AGRÍCOLAS .....	44
6.3 RESULTADOS QUEMAS AGRÍCOLAS .....	45
6.3.1 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad para quemas agrícolas</i> .....	45
6.3.2 <i>Indicadores económicos para quemas agrícolas</i> .....	46
<b>7. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE EPISODIOS CRÍTICOS</b> .....	<b>48</b>
7.1 ANTECEDENTES EPISODIOS CRÍTICOS .....	48
7.2 MEDIDAS PLAN OPERACIONAL DE EPISODIOS CRÍTICOS .....	49



<b>8. RESULTADOS AGREGADOS</b> .....	<b>51</b>
8.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES .....	51
8.2 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	51
8.2.1 <i>Cumplimiento normas de calidad</i> .....	51
8.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS.....	54
8.4 INDICADORES ECONÓMICOS .....	55
8.4.1 <i>Análisis Costo-Beneficio</i> .....	55
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	<b>57</b>
<b>10. REFERENCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>11. ANEXOS</b> .....	<b>62</b>
11.1 RESULTADOS POR MEDIDA .....	62
11.2 METODOLOGÍA AGIES .....	64
11.2.1 <i>Sinergias de medidas de reducción de emisiones</i> .....	64
11.2.2 <i>Factores emisión-concentración MP</i> .....	65
11.2.3 <i>Factores emisión-concentración Ozono</i> .....	67
11.2.4 <i>Beneficios en salud</i> .....	68
11.2.5 <i>Cobeneficios en cambio climático</i> .....	70
11.2.6 <i>Evaluación de costos</i> .....	71
11.3 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS .....	72
11.4 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO.....	72
11.5 FICHA DEL AGIES .....	74



## 1. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 67 de 2014 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada<sup>3</sup> por material particulado Fino<sup>4</sup> (MP<sub>2,5</sub>), como concentración diaria (24 horas), a la Región Metropolitana.

Anteriormente la Región fue declarada Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP<sub>10</sub>, Partículas en Suspensión y Monóxido de Carbono; y Zona Latente por Dióxido de Nitrógeno.

Esta declaración 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<sup>5</sup>. Mediante este instrumento 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.

La Región Metropolitana posee una superficie de 15.554 km<sup>2</sup>, de la cual, un 85,7% corresponde a zonas montañosas, un 11% a terrenos Agrícolas y un 3,3% a la zona urbana. La población estimada para el año 2015 es de 7.140.674 habitantes, con una población urbana de 6.892.411 al mismo año<sup>6</sup>.

### 1.1 Concentración de Material Particulado

La Figura 1 presenta los datos de concentración para MP<sub>2,5</sub> monitoreados en la estaciones de la Región Metropolitana, tanto en su métrica diaria (percentil 98) como anual (promedio anual).

Salvo la estación Talagante, el resto presenta superaciones de las normas anuales y diarias para MP<sub>2,5</sub>. En este escenario, se observa que la estación más crítica tanto para la métrica diaria como anual es la de Cerro Navia, con un nivel de superación de 126% y 64% respectivamente. El caso de MP<sub>10</sub> (Figura 2) es muy similar, donde la mayoría de las estaciones tienen superaciones de norma diaria y anual.

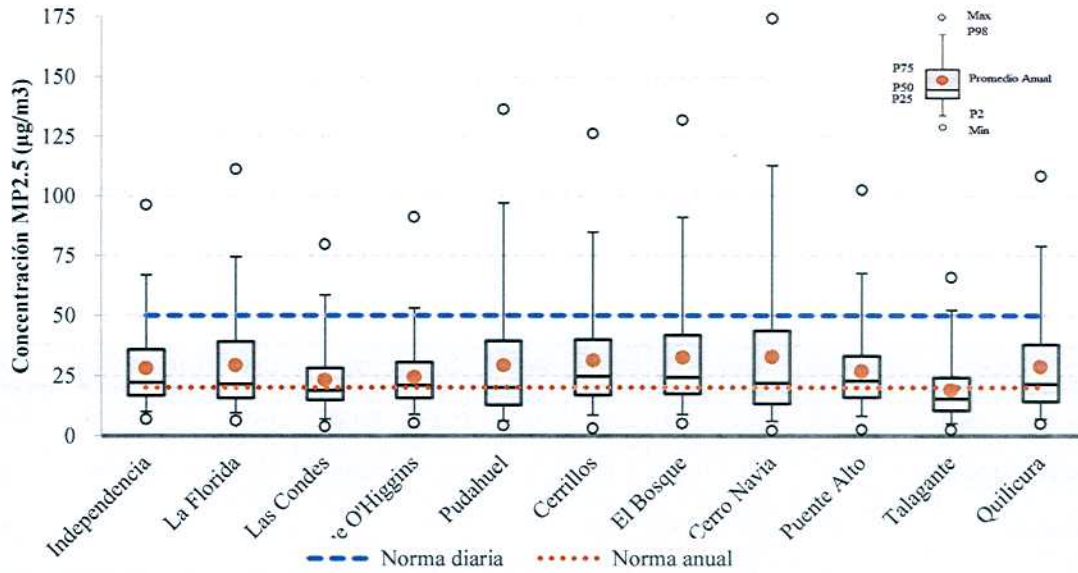
<sup>3</sup> Zona Saturada: Aquella en la que una o más normas de calidad ambiental se encuentra superada.

<sup>4</sup> La normativa para MP<sub>2,5</sub> corresponde al D.S. 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece una concentración anual máxima permitida de 20 mg/m<sup>3</sup>N y una concentración diaria de 50 mg/m<sup>3</sup>N.

<sup>5</sup> Plan de Descontaminación es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada.

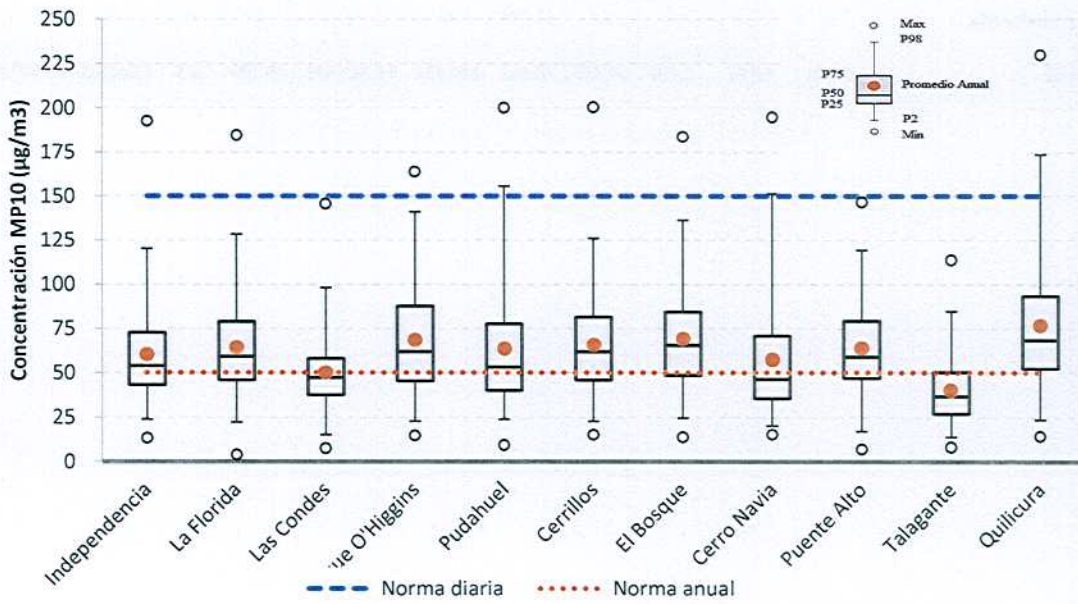
<sup>6</sup> Proyecciones Censo 2002.

Figura 1: Concentración de  $MP_{2.5}$  año 2014. Comparación con normativas diaria y anual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Concentración de  $MP_{10}$  año 2014. Comparación con normativas diaria y anual.



Fuente: Elaboración propia.



## 1.2 Inventario de emisiones por sector

La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones calculado para los distintos sectores de la zona estudiada. En relación al material particulado, los sectores con mayores aportes corresponden al residencial y transporte con un 37% y 32% respectivamente.

En relación a precursores de generación de  $MP_{2,5}$ , destaca nuevamente el sector transporte con los mayores aporte de  $NO_x$  (66% aprox.), mientras que el sector industrial se caracteriza por ser el que más aporta en emisiones de  $SO_x$  (80% aprox.).

Tabla 1: Inventario de Emisiones calculado para el modelo de costo-beneficio. Año base 2014

Sector	$MP_{10}$	$MP_{2,5}$	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	CO2eq	COV
Residencial - leña	2.294	2.233	34	216	181	37.285	258.077	685	9	277.936	10.092
Quemas agrícolas	131	118	28	81	1	731	5.901	11	0	6.245	0
Industria	911	810	1990	4921	17835	1139	0	0	0	0	0
Transporte	1.218	1.215	97	26.589	570	94.027	10.045.507	372	321	10.150.374	10.097
Maquinaria construcción	760	738	24	6.966	2	5.957	789.436	50	33	800.440	1.192
Residencial - otras	100	95	294	1.563	10	410	0	0	0	0	43.176
Agroindustria	0	0	0	0	17.775	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>5.588</b>	<b>5.466</b>	<b>2.484</b>	<b>40.380</b>	<b>18.562</b>	<b>140.924</b>	<b>11.341.491</b>	<b>89.190</b>	<b>363</b>	<b>13.679.341</b>	<b>107.839</b>

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (2014)



## 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 asociadas 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, tópicos que serán abordados a continuación<sup>7</sup>.

Las reducciones de emisiones se atribuyen a las medidas definidas en el Anteproyecto, las cuales afectan diferenciadamente a los distintos sectores involucrados. Para varias medidas aplicadas al mismo sector, se consideraron las sinergias que generan las medidas de manera secuencial<sup>8</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 11.2.1.

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<sup>9</sup> 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 3).

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> 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 incorporan los relacionados a inversión y operación asociado a la implementación de las medidas de reducción de emisiones de las fuentes emisoras.

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 como un dato más que aporta a los impactos de la implementación del PPDA.

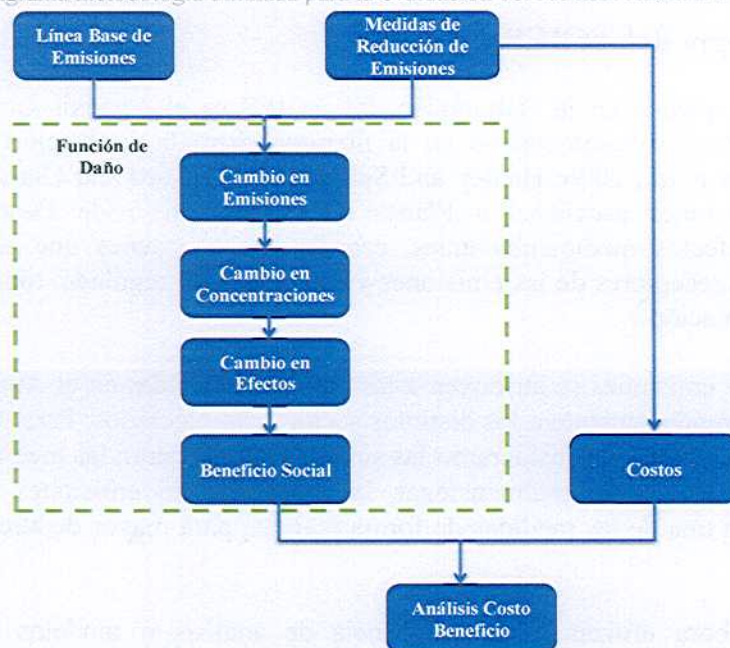
<sup>7</sup> Para mayor detalle de la metodología utilizada, referirse a la sección 7.5 del presente informe.

<sup>8</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>9</sup> Epidemiología se define como el estudio de la distribución y determinantes de estados de salud o eventos en poblaciones determinadas y la aplicación de este estudio para controlar los problemas de salud. Fuente: Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). *Epidemiology: beyond the basics*, Jones & Bartlett Publishers.



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



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

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*<sup>10</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<sup>11</sup>, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras<sup>12</sup>.

En los siguientes capítulos del informe se presentan los análisis de las medidas de reducción de emisores separados por los principales sectores de la RM.

<sup>10</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.

<sup>11</sup> En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

<sup>12</sup> D.S.38 y 39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros por la Sustentabilidad los cuales intentan incorporar los aspectos mencionados.



### 3. Evaluación sector residencial

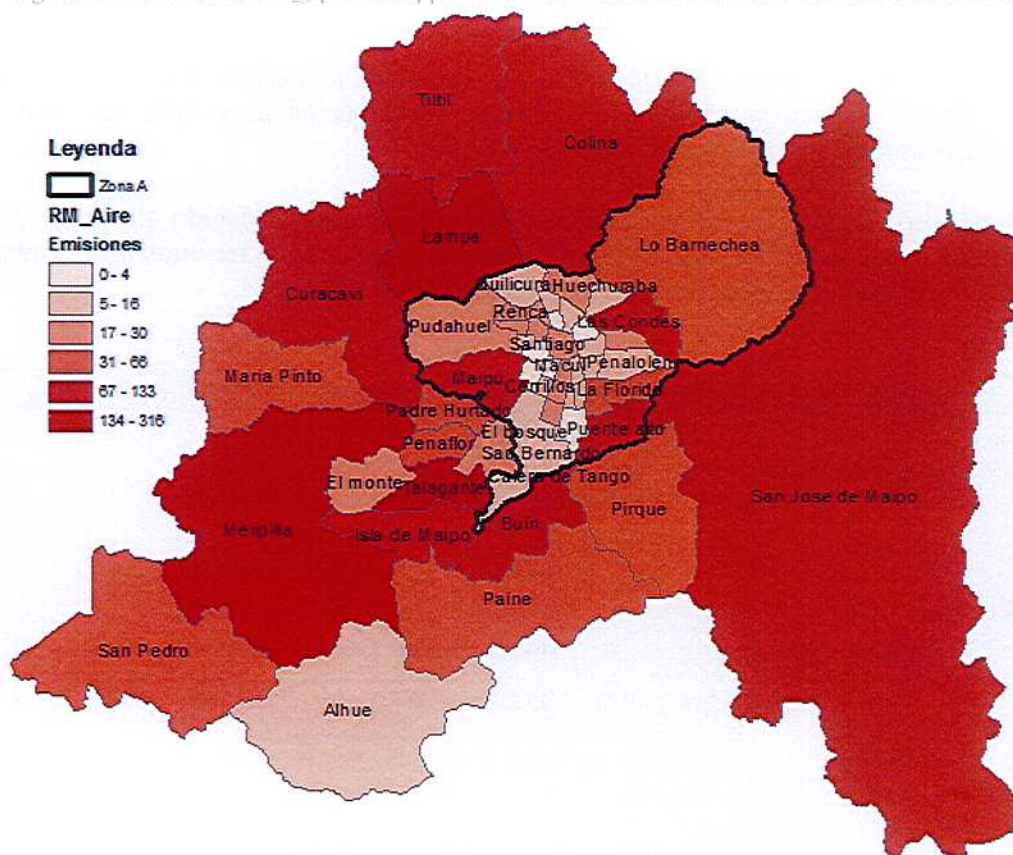
#### 3.1 Antecedentes del sector residencial

Se reportan los antecedentes del aporte en la calidad del aire y emisiones del sector residencial, así como las medidas del PPDA que son evaluadas en el AGIES junto con sus supuestos.

##### 3.1.1 Aporte de emisiones y concentraciones del sector

En la Región Metropolitana, aproximadamente un 6% de las viviendas utiliza leña o sus derivados para la calefacción y/o cocción de alimentos. De estos hogares, el 72% corresponde a sectores urbanos y un 28% a sectores rurales según CDT (2012) y la encuesta CASEN 2013.

Figura 4: Emisiones de  $MP_{2,5}$  [Ton/año] por combustión de leña en el sector residencial, año 2012.



Nota: Zona A corresponde a las 32 comunas de la provincia de Santiago y las comunas de Puente Alto y San Bernardo, Zona B corresponde a las comunas restantes de la RM.

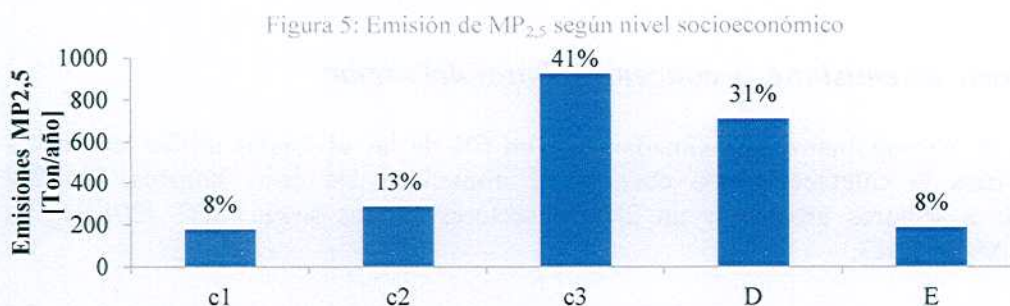
Fuente: Elaboración propia utilizando consumo de leña de CDT (2012)

Es este sector el que aporta la mayor cantidad de emisiones de  $MP_{2,5}$ , debido a la combustión de leña para calefacción, emitiendo más de 2.000 toneladas al año de material particulado fino según los inventarios de emisiones elaborados por CDT (2012), CMM



(2014) y USACH (2014). La Figura 4 representa las emisiones estimadas desglosadas a nivel comunal, donde se aprecia que los mayores emisores se encuentran fuera de la Zona A definida en el anteproyecto.

Con respecto al uso de leña según nivel socioeconómico, la Figura 5 muestra la distribución de emisiones de material particulado fino según nivel socioeconómico.



Fuente: Elaboración propia en base a CDT (2012)

La distribución de emisiones lógicamente es muy parecida a la distribución de viviendas que usan leña y al consumo de leña. Se observa participación de la leña en todos los estratos socioeconómicos, especialmente en el segmento C3.

Además del uso de leña, el sector residencial presenta emisiones debido al uso de otros combustibles, como gas y parafina, al uso de solventes y pinturas, entre otras. El inventario de emisiones residenciales por contaminante se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Inventario emisiones residenciales de la Región metropolitana, año 2012, ton/año.

	MP10	MP25	NOX	SOX	COV	CO	NH3	CO2	CH4	N2O
Combustión GLP, GN, gas de ciudad, parafina	100	95	1.563	294		410	10			
Solventes, pinturas y fugas GLP					43.176					
Combustión Leña	2.306	2.243	213	34	10.149	37.400	179	254.767	676	9
<b>Total</b>	<b>2.406</b>	<b>2.338</b>	<b>1.776</b>	<b>328</b>	<b>53.325</b>	<b>37.810</b>	<b>189</b>	<b>254.767</b>	<b>676</b>	<b>9</b>

Nota: A pesar de que la leña tiene emisiones directas de CO<sub>2</sub>, esta se considera "carbono neutral", ya que esas emisiones fueron capturadas en la etapa de crecimiento de los árboles.

Fuente: Elaboración propia en base a (USACH 2014) y a (CDI 2012).

El aporte a la concentración de MP<sub>2,5</sub> por combustión de leña alcanza el 20% de la concentración anual de MP<sub>2,5</sub><sup>13</sup> (USACH 2014), mientras que las demás emisiones del sector aportan aproximadamente un 1% de la concentración.

<sup>13</sup> El aporte a la concentración de MP<sub>2,5</sub> es de 3,4 µg/m<sup>3</sup> en estación USACH, de 3,8 µg/m<sup>3</sup> en Parque O'Higgins y de 3,7 µg/m<sup>3</sup> en La Paz/Independencia.

### 3.1.2 Medidas evaluadas sector residencial y supuestos de evaluación

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 chimenea	<b>Línea base.</b> DS811/1993, actualizado en 2010, Ministerio de Salud.	Vigencia: 1993 Cumplimiento: 80% para todo el periodo de evaluación.
Prohibición urbana no cumple norma	<b>Línea base.</b> DS811/1993, actualizado en 2010, Ministerio de Salud.	Vigencia: 2015 Cumplimiento: Crecimiento lineal, partiendo en 10% en 2015 y llegando a 90% en 2026
Prohibición leña Zona A	Prohibición de calefactores y cocinas a leña en las viviendas nuevas y existentes pertenecientes a las comunas de Puente Alto y San Bernardo y a las 32 comunas de la provincia de Santiago.	Vigencia: 2017 Cumplimiento: 50% en 2017, 70% en 2018, 80% en 2019, 85% en 2020 y 90% entre 2021 y 2025, 95% en 2026
Prohibición salamandras y otros	Prohibición de salamandras, estufas simples, braseros, chimeneas de hogar abierto y cerrado, hornos de barro y carros ambulantes que utilicen leña y derivados de la madera, y carbón vegetal en todas las comunas de la RM, <b>excepto las comunas de Alhué, María Pinto y San Pedro.</b>	Vigencia: 2017 Cumplimiento: 50% en 2020, 60% en 2021, 70% en 2022, 80% en 2023 y 90% entre 2024 y 2025, 95% en 2026
Prohibición leña Zona B	Prohíbe la utilización de calefactores y cocinas a leña en las viviendas nuevas y existentes en las comunas fuera del Gran Santiago, <b>excluyendo las comunas de Alhué, María Pinto y San Pedro.</b>	Vigencia: 2022 Cumplimiento: 50% en 2022, 60% en 2023, 70% en 2024, 80% en 2025 y 95% en 2026.

Fuente: Elaboración propia. Nota:

Los supuestos transversales para este sector son los siguientes:

- Equipos de recambio: Se asume que los equipos que reemplazarán a los prohibidos o recambiados corresponden en un 10% a pellets, 30% kerosene, 50% a gas y 10% eléctricos, proporción similar a la actual distribución de combustibles para calefacción en la región metropolitana.
- Costos equipos de calefacción:

Tecnología	Inversión [CLP/vivienda]
Pellet	600.000
Kerosene	110.000
Gas	150.000
Eléctrico	60.000

Se asume que la vida útil de estos equipos es de 10 años. Cabe destacar que, en caso de ejecutarse un programa de recambio de calefactores, los costos por equipo serían



mayores ya que las alternativas tecnológicas que el MMA promovería en sus recambios serían de estándares mayores.

- Costos de los combustibles:

Energético	Precio	Unidad
Leña	166	CLP/kg
Kerosene	600	CLP/kg
Gas Natural	575	CLP/m <sup>3</sup>
Gas Licuado	876	CLP/kg
Electricidad	95	CLP/kWh
Pellet	236	CLP/kg

- Factores de emisión en mg/MJ se detallan en la sección 3.4 de anexos del sector residencial.

Cabe destacar que en el proceso de elaboración de este AGIES no se evalúan medidas para las que no hay efectos directamente cuantificables o para las que no existe información de línea base disponible.

### 3.2 Metodología de evaluación del sector residencial

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]

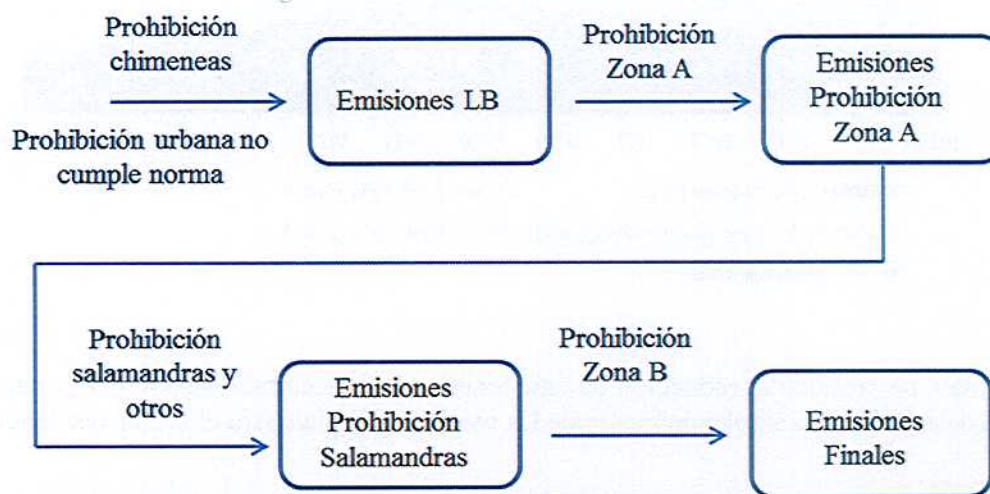
La reducción de emisiones<sup>14</sup> corresponde a las emisiones finales menos las iniciales. Las emisiones finales consideran una mejora en el factor de emisión y eficiencia de los equipos, además de un incremento en el poder calorífico del combustible utilizado. La demanda de calor de la vivienda se mantiene constante.

<sup>14</sup> O emisiones evitadas dado que son las emisiones que no se emitirán en el escenario con Plan.

Cabe destacar que las emisiones residenciales de leña han sido reguladas con anterioridad. El plan actualmente vigente establece un programa de sello voluntario para calefactores comercializados en la región, una norma de emisión para calefactores nuevos, medidas de gestión, de información al consumidor y estudios para programas de apoyo. Adicionalmente, el DS811/1993<sup>15</sup>, actualizado en 2010, del Ministerio de Salud, establece la prohibición de chimeneas de hogar abierto en toda la región y de los calefactores que no cumplan norma de emisión en las áreas urbanas. Estas regulaciones son parte de la línea base de la evaluación.

En este sector, la estimación de la reducción de emisiones debe considerar que las medidas presentan interacciones, por lo que no pueden ser evaluadas independientemente sino que en forma secuencial. La Figura 6 muestra la metodología descrita que se implementa con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones en el sector.

Figura 6: Interacción medidas sector residencial.



Fuente: Elaboración Propia.

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. Los costos de fiscalización no se desagregarán a nivel de medidas específicas, ya que los diferentes servicios informan sólo costos agregados.

La metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y  $O_3$  se detalla en el capítulo 11.2.4 de anexos.

### 3.3 Resultados del sector residencial

En esta sección se presentan los resultados de reducción de emisiones y de concentraciones de las medidas evaluadas del sector residencial. También se calculan los costos de

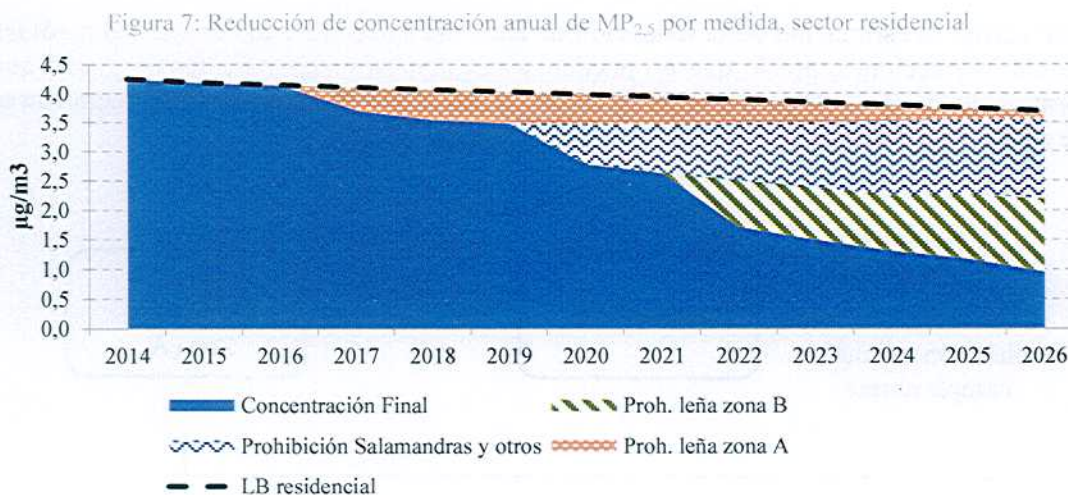
<sup>15</sup> Disponible en <http://bcn.cl/1ozlz>



implementación, ahorros en combustible y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{2,5}$ .

### 3.3.1 Reducción de emisiones y de concentraciones sector residencial

En la Figura 7 se muestra la reducción de concentración de  $MP_{2,5}$ , el contaminante más relevante del sector residencial, para cada año y medida evaluada.



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presenta la reducción de emisiones y de concentraciones de  $MP_{2,5}$  para el año 2026 derivadas de la implementación de las medidas del plan para el sector residencial.

Tabla 4: Reducción de emisiones y concentraciones de  $MP_{2,5}$  con respecto a la línea base, año 2026.

Medida	Reducción ( $\Delta$ ) Año 2026		Reducción Sector	
	$\Delta$ Emisiones [Ton/año]	$\Delta$ Conc. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	% $\Delta$ Emisión	% $\Delta$ Conc.
Proh. leña zona A	82	0,13	4,8%	4,8%
Proh. leña zona B	780	1,24	45,3%	45,5%
Prohibición Salamandras y otros	859	1,36	49,9%	49,8%
<b>Total</b>	<b>1.721</b>	<b>2,73</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 7 y en la Tabla 4 que:

- Las medidas más relevantes en este sector corresponden a la prohibición de salamandras y otros equipos en toda la región y la prohibición del uso de leña en la Zona B. Entre ambas, alcanzan más del 95% de la reducción de emisión y concentración del material particulado fino.



- La medida de prohibición en la zona A tendría un menor impacto al año 2026 debido a que el cumplimiento de la medida de línea base para estas comunas se asume en 90% para ese año.
- Para el año 2026 se estima que la reducción total de concentración de MP<sub>2,5</sub> del sector sería de 2,73 µg/m<sup>3</sup>, y el aporte a la concentración total del sector sería de 1 µg/m<sup>3</sup>.

En la Tabla 5 se presenta la reducción de emisiones por contaminante de las medidas evaluadas, al año 2026.

Tabla 5: Reducción de emisiones por medidas para cada contaminante, año 2026 (ton/año).

	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	COV
Proh. leña zona A	84	82	-1	6	7	1.597	6.410	28	0	288
Proh. leña zona B	800	780	-6	55	67	16.327	59.593	249	3	2.835
Prohibición Salamandras y otros	886	859	-3	47	54	7.060	51.722	202	3	5.559
<b>Total</b>	<b>1.769</b>	<b>1.721</b>	<b>-10</b>	<b>108</b>	<b>128</b>	<b>24.983</b>	<b>117.725</b>	<b>478</b>	<b>6</b>	<b>8.683</b>
<b>% Reducción respecto a sector</b>	<b>87%</b>	<b>87%</b>	<b>-3%</b>	<b>6%</b>	<b>78%</b>	<b>85%</b>	<b>48%</b>	<b>82%</b>	<b>79%</b>	<b>17%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2 Casos evitados de mortalidad y morbilidad del sector residencial

La disminución en la concentración de MP<sub>2,5</sub> evita casos de mortalidad y morbilidad en la población que pueden ser cuantificados según la metodología descrita en la sección 11.2.4. La Tabla 6 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2016 a 2026.

Tabla 6: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Cont.	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	58	[ 38 - 79 ]	302	[ 203 - 410 ]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	465	[ 322 - 637 ]	2.466	[ 1744 - 3378 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	14	[ 8 - 19 ]	81	[ 46 - 113 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	14	[ 12 - 18 ]	84	[ 69 - 109 ]
	MP2.5	Cardiovascular	195	[ 168 - 222 ]	1.064	[ 924 - 1208 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	28	[ -2 - 49 ]	155	[ -6 - 267 ]
	MP2.5	Neumonía	136	[ 73 - 189 ]	715	[ 385 - 993 ]
	MP10	Bronquitis	86	[ 10 - 161 ]	507	[ 59 - 954 ]
	MP10	Bronquitis crónica	112	[ 90 - 135 ]	610	[ 490 - 733 ]

Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	8.269	[ 5.392 – 13.306 ]	49.783	[ 32.497 – 80.113 ]
Productividad perdida	MP2.5	Dias laborales	77.708	[ 74.640 – 83.926 ]	462.566	[ 444129 - 498917 ]
	MP2.5	Dias de actividad restringida	346.711	[ 322.544 – 361.280 ]	2.062.333	[ 1.918.685 – 2.147.300 ]
	MP2.5	Dias de actividad restringida menor	654.807	[ 595.849 – 685.370 ]	3.888.550	[ 3.544.875 – 4.074.654 ]

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Indicadores económicos sector residencial

La Tabla 7 presenta el valor presente de los beneficios y costos asociados a la implementación de las medidas del sector residencial, así como la distribución de estos entre el Estado, salud privada, emisores y población en general.

Tabla 7: Valor presente de costos y beneficios del sector residencial, MMUSD\*.

Medida	VP Inversión	Ahorros costos operación	VP Beneficio Salud		
	Emisor	Emisor	Estado	Poblacion	Salud Privada
Proh. leña zona A	4	1	4	269	1
Proh. leña zona B	3	2	4	363	2
Prohibición Salamandras y otros	4	6	7	577	3
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>1.209</b>	<b>6</b>
<b>Distribución</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>1,2%</b>	<b>98%</b>	<b>0,5%</b>
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>1.229</b>		

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF<sup>16</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.4 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026. Ahorros costo de operación corresponde a ahorros en combustible.

Fuente: Elaboración propia.

Para este sector, los beneficios valorizados en salud superan ampliamente a los costos, debido principalmente a la población expuesta a la contaminación en la Región Metropolitana de 7 millones de habitantes. El beneficio social neto en el periodo de evaluación supera los US\$ 1.200 millones de dólares, mientras que los costos netos alcanzan US\$ 2 millones.

<sup>16</sup> MMA (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.



Con respecto a los costos de inversión, el 100% es absorbido por los emisores, los que a su vez percibirán ahorros por combustible, debido a la mayor eficiencia de los equipos y al cambio a un combustible con mayor poder calorífico.

La población de la Región Metropolitana es la que recibiría el 98% de los beneficios en salud, de los que a su vez alrededor de un 97% corresponde a reducción de mortalidad.

Cabe destacar que este sector implica también cobeneficios al reducir contaminantes climáticos de corta vida (ver sección 11.2.5 de anexos) que no han sido cuantificados.



### 3.4 Anexos sector residencial

Tabla 8: Factores de emisión equipos de calefacción residencial (mg/MJ), corregidos por eficiencia de equipos

	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	COV
Otros	2.992	2.902	36	234	198	22.765	280.000	750	10	20.638
Chimenea	2.992	2.902	36	234	198	22.765	280.000	750	10	20.638
Salamandra	2.394	2.322	29	187	159	18.212	224.000	600	8	16.510
Combustión Simple	2.827	2.753	26	170	144	39.916	203.636	545	7	3.474
Doble Cámara Básica	1.406	1.372	24	156	132	36.590	186.667	500	7	3.184
Doble Combustión 2.5 g/h	644	644	21	134	113	11.886	160.000	429	6	2.729
Pellets	42	42	17	108	92	9.619	129.479	347	5	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	2.992	2.902	36	234	198	22.765	280.000	750	10	20.638
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 (2013a)

Tabla 9: Reducción de emisiones de MP<sub>2,5</sub> [Ton/año] por medida y año.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Prohibición resto RM	258	331	342	325	302	259	215	170	124	77
Prohibición Salamandras y otros	0	0	0	0	0	502	556	594	686	780
Prohibición Gran Santiago	0	0	0	433	521	613	706	801	808	815
<b>Total</b>	258	331	342	758	822	1.373	1.477	1.565	1.618	1.672

Fuente: Elaboración propia



## 4. Evaluación sector industrial

A continuación se reportan los antecedentes del aporte en la calidad del aire y emisiones del sector industrial, así como las medidas del PPDA que son evaluadas en el AGIES junto con sus supuestos.

### 4.1 Antecedentes sector industrial

Las emisiones en toneladas/año del sector industrial distribuidas según el tipo de fuente se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Inventario emisiones del sector industrial de la Región Metropolitana, año 2014, ton/año.

Fuente	MP	MP10	MP2,5	NOX	SOX	COV	CO	NH3	CO2
Calderas Industriales	191	191	170	1.033	418	-	239	-	-
Calderas Calefacción	91	91	81	492	199	-	114	-	-
Procesos Industriales	563	563	502	3.051	1.234	-	706	-	-
Hornos Panaderos	9	9	8	49	20	-	11	-	-
Grupos Electrógenos	54	54	48	295	119	-	68	-	-
Agroindustria	-	-	-	-	-	-	-	17.835	-
Maquinaria construcción	760	760	738	6.966	24	-	5957	2	789.436
<b>Total</b>	<b>1.668</b>	<b>1.668</b>	<b>1.547</b>	<b>11.886</b>	<b>2.014</b>	<b>0</b>	<b>7095</b>	<b>17.837</b>	<b>789.436</b>

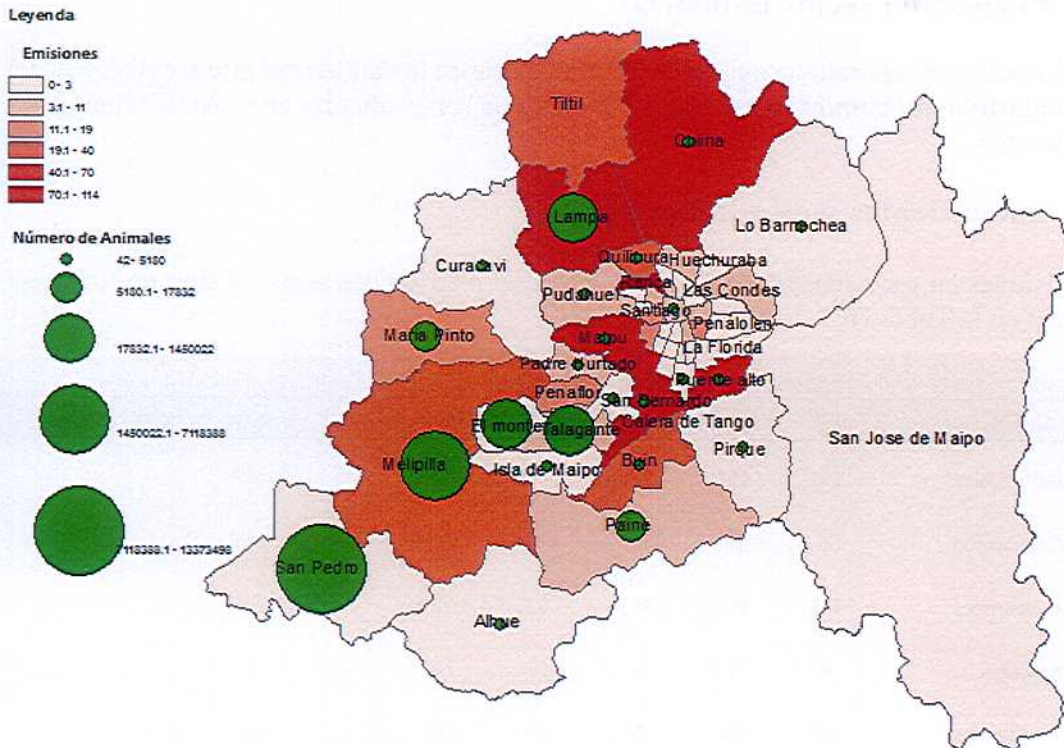
Fuente: Elaboración propia en base a (USACH 2014), declaración SEREMI de Salud, (Geasur 2014), (POCH Ambiental 2015).

La Figura 8 presenta la distribución de las emisiones de MP<sub>2,5</sub> del sector industrial y la distribución de las cabezas<sup>17</sup> de animales a través de las comunas de la Región Metropolitana.

<sup>17</sup> Corresponde al número de cabezas de Bovinos productoras de leche y carne, Cerdos y planteles de Aves productoras de huevos y carne.



Figura 8: Distribución de emisiones y cabezas de animales en la Región Metropolitana



Fuente: Elaboración propia en base a en base a declaración SEREMI de Salud, (POCH Ambiental 2015).

#### 4.1.1 Calderas, procesos y grupos electrógenos

El sector industrial de la Región Metropolitana está compuesto por distintos tipos de fuentes los que a su vez abarcan diversas potencias y utilizan distintos combustibles para su funcionamiento. De las 13.176 fuentes existentes en la región<sup>18</sup>, un 6% de ellas corresponden a calderas Industriales, un 50% a calderas de calefacción, un 13% a procesos industriales, un 19% corresponde a grupos electrógenos y un 12% a hornos panaderos.

Por su parte de las 908 ton/año de MP emitidas por el sector industrial, un 21% corresponden a calderas Industriales, un 10% a calderas de calefacción, un 62% corresponde a Procesos Industriales, un 6% pertenece a grupos electrógenos y finalmente solo un 1% corresponde a hornos panaderos<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Información declarada según RES 15.027/1994, para el año 2014, Ministerio de Salud.

<sup>19</sup> Información obtenida a través de la declaración de emisiones Ministerio de Salud, Región Metropolitana año 2014.



#### **4.1.2 Agroindustria**

El sector agroindustrial es el principal emisor de amoníaco o  $\text{NH}_3$ , debido a la crianza de animales para la producción de alimentos y al uso de fertilizantes para cultivos. Este gas es un precursor del material particulado, por lo que es necesario reducir sus emisiones para contribuir a la reducción de concentración de  $\text{MP}_{10}$  y de  $\text{MP}_{2,5}$ .

Para caracterizar este sector emisor se contrató el estudio POCH Ambiental (2015), el que consideró como fuentes de información a las siguientes instituciones: Federación de Productores de Leche (FEDELECHE), Federación de Productores de Carne (FEDECARNE), Asociación de Productores de Cerdo (ASPROCER), Asociación de Productores de Aves (APA), Asociación de Productores de Huevo (CHILEHUEVOS), Servicio Agrícola y Ganadero RM, Instituto Nacional de Estadística (INE) y Ministerio de Agricultura (ODEPA).

Con la información recolectada se caracteriza las distintas empresas con instalaciones en la RM de acuerdo al número y tipo de animales, tamaño económico, comuna en que se ubica, entre otros.

Para mayor información del sector agroindustrial, ver POCH Ambiental (2015).

#### **4.1.3 Maquinaria de construcción**

Este sector aporta con aproximadamente 760 toneladas de MP para el año 2014, lo que equivale a un 85% de las emisiones que generan en su conjunto calderas, procesos y grupos electrógenos.

El anteproyecto de plan contempla regulaciones para maquinarias de construcción empleada en proyectos de inversión pública. Esta medida afectará exclusivamente a proyectos ejecutados por organismos del Estado.



#### 4.1.4 Medidas evaluadas sector industrial

En la Tabla 11 se presentan las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del sector industrial.

Tabla 11: Resumen de medidas evaluadas sector industrial

Sub sector	Nombre corto medida	Descripción	Supuestos evaluación
Calderas y Procesos	Límite de emisión MP.	<b>Línea base.</b> Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud.	Costos medio por tonelada reducida para MP <sub>2,5</sub> de 220 USD/Ton
Calderas y Procesos	Límite de emisión SOx.	<b>Línea base.</b> Emisiones calculadas según Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud	Costo medio por tonelada reducida para SOx de 2,898 USD/Ton
Calderas y Procesos	Límite de emisión NOx.	<b>Línea base.</b> Emisiones calculadas según Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud	Costo medio por tonelada reducida para NOx de 1,618 USD/Ton
Calderas y Procesos	Meta de reducción de grandes emisores.	<b>Línea base.</b> Grandes Emisores establecidos según Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud	Costos medio por tonelada reducida para MP <sub>2,5</sub> de 220 USD/Ton. Considera central eléctrica N. Renca.
Calderas y Procesos	Compensaciones de emisiones en el marco del SEIA.	<b>Línea base.</b> Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del Ministerio de Salud.	Compensación de 150% para calderas nuevas que emitan por sobre 1 tonelada.
Grupos Electrógenos	Límites de Emisión	<b>Línea Base:</b> Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del MINSAL.	Costos por Nox y MP según rangos de potencia.
Agroindustria	Sistema de manejo de purín	Implementar sistema de manejo de purín con una eficiencia mayor a 90% de remoción de amoníaco en planteles de cría de porcinos. Se evalúa para planteles existentes.	Vigencia: 2019 POCH Ambiental (2015)
Agroindustria	Cubierta filtro pozo porcinos	Implementar cubiertas con filtro activado en pozo de homogenización, cría de porcinos. Evaluada para planteles existentes.	Vigencia: 2017 POCH Ambiental (2015)
Agroindustria	Gestión del guano	Implementar mejores prácticas operacionales en transporte, acopio y aplicación del guano. Retirar guano del plantel cada 30 días. Evaluada para planteles existentes.	Vigencia: 2017 POCH Ambiental (2015)
Maquinaria de Construcción	Uso de filtro para maquinaria de construcción	Uso de filtro de partículas cerrado para el 100% de la maquinaria fuera de ruta de construcción con potencia superior a 56kw e inferior a 560kW. Para contratos del Estado.	Vigencia: 2020 Cumplimiento: 100%.
Maquinaria de Construcción	Norma de emisión para maquinaria fuera de ruta	límites máximos de emisión de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), hidrocarburos no metánicos (HCNM), óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (MP)	Vigencia: 2017 Cumplimiento: 100%.

Fuente: Elaboración propia.

Además, los supuestos transversales para este sector son los siguientes:

- La central termoeléctrica Nueva Renca no fue considerada dentro de la evaluación de medida de límites de emisión de MP, NOx y SOx, ya que es considerada una caldera termoeléctrica la cual está regulada por la Norma de Emisión para Centrales



- Termoeléctricas el D.S 11 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente Sin embargo, es considerada para la medida de Metas de reducción de grandes emisores.
- Se considera que la emisión de MP para fuentes que funcionen con Gas (Gas Natural, Gas Licuado y Biogás) es cero.
  - La emisión para MP<sub>2,5</sub> se ha considerado en un 96% de la reducción de MP, según la fracción entregada por el inventario de emisiones (USACH 2014).
  - El límite de emisión de CO es considerado como línea base, debido a que se establece el mismo límite en el D.S 66 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que actualiza el PPDA de la RM.
  - La emisión de NOx para fuentes nuevas a gas será considerada cero, debido a que la mejora en tecnologías del uso de combustible genera emisiones muy bajas para este contaminante.
  - La compensación solo se efectuará para MP, debido a que los datos de SOx y NOx han sido estimados mediante factores de emisión SOx y NOx<sup>20</sup>.
  - Un “Gran emisor” es cuando i) una sola caldera sobrepasa la emisión en toneladas año de 2,5 para MP y/o 20 para NOx y/o 10 para SOx, o ii) cuando la suma de la emisión de todas sus fuentes para una misma razón social, supera la emisión en toneladas año de 2,5 para MP y/o 20 para NOx y/o 10 para SOx.
  - La proyección de horas de funcionamiento, concentración de contaminantes, caudal de gases de salida y potencias de motor para nuevos grupos electrógenos, en forma general, se estima un promedio por rango de potencia y tipo de combustible según los equipos que fueron fabricados entre los años 2009 y 2013.
  - De acuerdo a Gamma (2005) y Calfucura (2006), los costos de operación y mantención para grupos electrógenos (Filtro de partículas/ filtro de partículas catalizado (DPF) y Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR)) son despreciables, por lo que no se consideraron.
  - Los supuestos para el caso de emisiones agroindustriales se detallan en POCH Ambiental (2015).
  - Los supuestos para el caso de emisiones del sector Maquinaria de ruta se detallan en (Geasur 2014).

## 4.2 Metodología evaluación del sector Industrial

A continuación se describe la metodología según sub sectores industriales. La metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de MP<sub>10</sub>, MP<sub>2,5</sub> y O<sub>3</sub> para todos los sectores se detalla en la sección 11.2.4 de anexos.

### 4.2.1 Calderas, procesos y grupos electrógenos.

Las emisiones para el sub sector de calderas, procesos y grupos electrógenos se obtuvieron en base a información entregada por la SEREMI de Salud de la Región Metropolitana, las cuales corresponden a las declaraciones exigidas por la resolución 15.027 de 1994 del Ministerio de Salud, para fuentes estacionarias dentro de la Región Metropolitana.

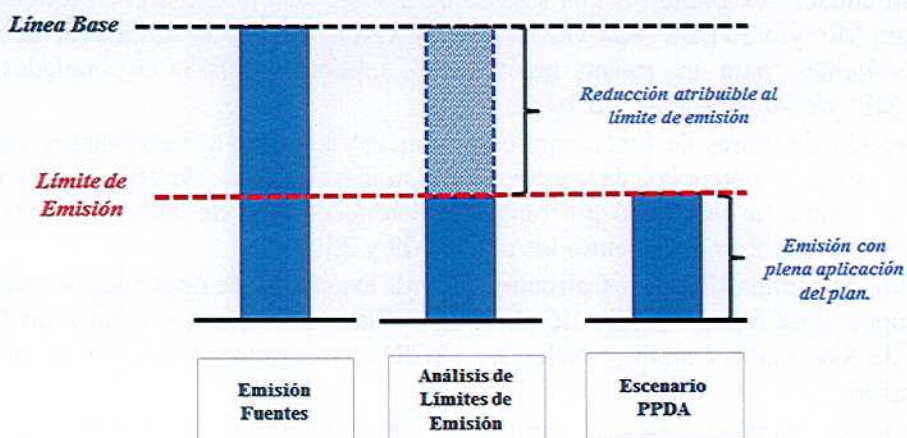
<sup>20</sup> Estos datos se encuentran en revisión.

Esta información contiene las mediciones a las emisiones, las cuales son declaradas para MP y CO y estimadas según el método 19 de la EPA y factores de emisión EPA<sup>21</sup> para NOx y SOx. Calderas de calefacción y calderas industriales poseen factores de emisión propios de cada fuente para los procesos y grupos electrógenos. Las fuentes presentes en esta base de datos serán las consideradas como el parque de calderas existente.

a) Evaluación de Límites de emisión MP, NOx y SOx, para calderas y procesos.

La evaluación de las medidas de límite de emisión MP, NOx y SOx considera la reducción de emisiones corresponde a las emisiones de línea base declaradas para MP y estimadas para SOx y NOx menos el límite de emisión propuesto para cada contaminante, tal como lo representa la Figura 9.

Figura 9: Cálculo de reducción de emisiones para el sector industrial.



Fuente: Elaboración Propia.

Se asumirá que esta medida será la primera en aplicarse esto debido a la sinergia existente entre las medidas propuestas en el plan, por consiguiente una vez la medida de límites de emisión este en pleno funcionamiento se procederá a calcular la medida de metas de reducción para grandes emisores.

b) Metas de reducción para grandes emisores (calderas y procesos)

La medida de Metas de reducción para grandes emisores, tiene una estrecha relación con la medida de límites de emisión para MP, NOx y SOx, puesto que si un mayor emisor debe reducir emisiones por el cumplimiento de límites de emisión para sus fuentes, esta reducción será considerada como parte de la meta a reducir.

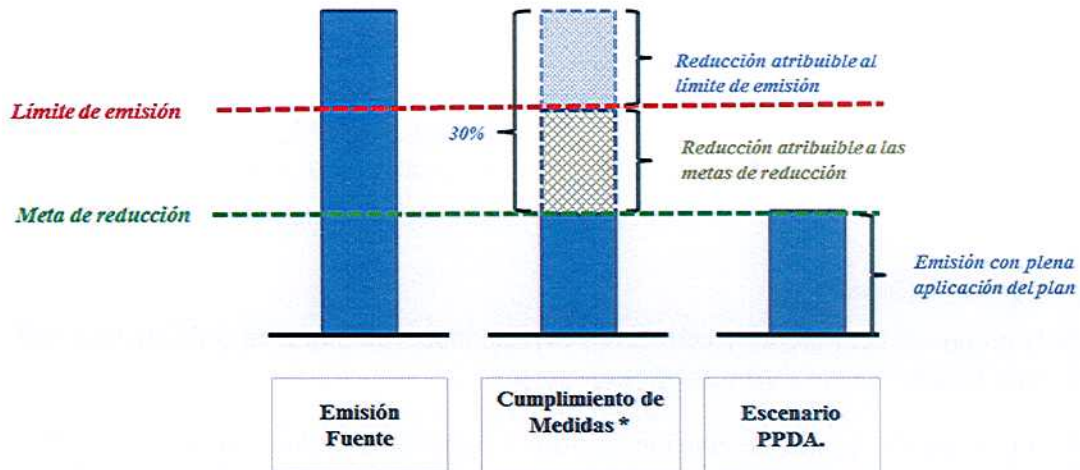
Por consiguiente la medida corresponderá a la resta entre la emisión de línea base de un gran emisor menos el 30% de sus emisiones de línea base, dentro de las cuales podrán

<sup>21</sup> <http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/> AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources. Revisados con fecha 20-10-2015

aportar las reducciones ya realizadas por el cumplimiento de la medida de límites de emisión para MP, NOx y SOx.

La Figura 10 y la Figura 11 presentan dos escenarios de ocurrencia para la evaluación de la medida de meta de reducción de grandes emisores.

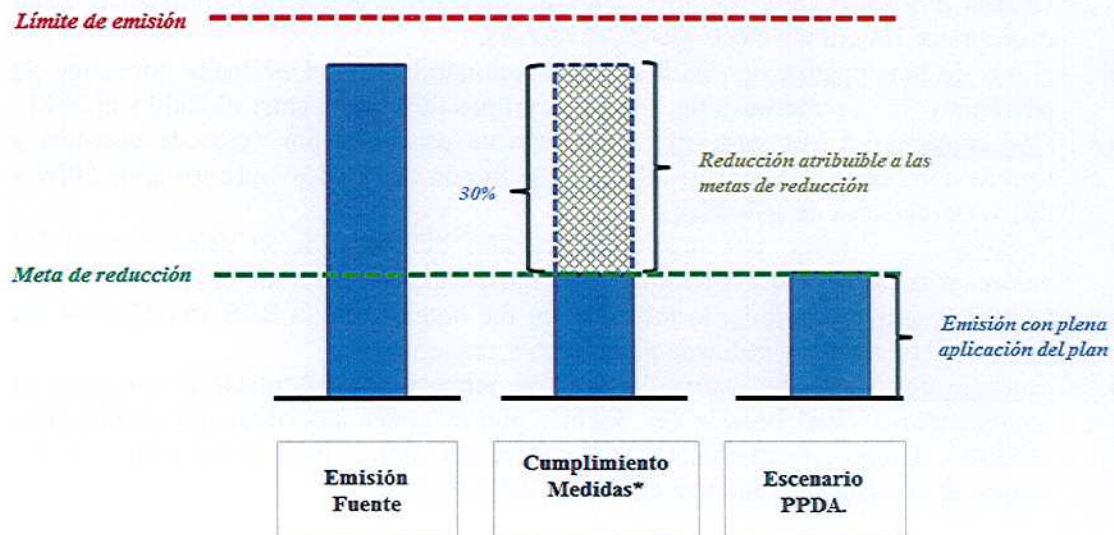
Figura 10: Cálculo de la reducción de emisiones para grandes emisores que deban cumplir la medida de metas de reducción, en alguna de sus fuentes unitarias.



\* Límites de emisión y metas de reducción para MP y MP<sub>2,5</sub>.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 11: Cálculo de la reducción de emisiones para grandes emisores que no deban cumplir la medida de límite de emisión para una fuente unitaria, pero deban reducir el total de sus emisiones.



\* Metas de reducción para MP.

Fuente: Elaboración Propia.



c) Evaluación del Sistema de compensaciones en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Para el cálculo de las compensaciones de emisiones en el marco del SEIA, se utilizó el parque existente de calderas<sup>22</sup> como base para la estimación de nuevas fuentes, para esto, se asumirá que las nuevas fuentes poseerán iguales características (potencia, uso de combustible, y emisiones) que las calderas existentes. Adicionalmente se asumirá un crecimiento de emisiones de un 0,05% anual.

El sistema en el que las empresas compensen, se registrará según el artículo 98 del D.S 66 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia para todo el período de vigencia del plan.

d) Grupos electrógenos.

La medida propuesta para grupos electrógenos corresponde a un límite de emisión para MP y NOx, para fuentes nuevas y para fuentes existentes.

Para el cálculo de los límites de emisión se utilizó como base de información de la RES 15.027/1994 del Ministerio de Salud, la cual solo contiene emisiones medidas de MP, por lo que se tuvo que estimar mediante factores de emisión la emisión para SOx.

La proyección de las emisiones se calculó teniendo en consideración:

- i. Parque: Entrada de grupos electrogenos de 95 equipos al año, de acuerdo a la entrada promedio entre los años 2009 a 2013, los cuales se distribuyen de igual manera que las grupos electrogenos existentes.
- ii. Horas de funcionamiento: las horas de funcionamiento son estimada por rango de potencia y tipo de combustible, según los grupos fabricados entre el 2009 y el 2013.
- iii. Concentración de contaminante: Se estima un promedio por rango de potencia y tipo de combustible según los equipos que fueron fabricados entre los años 2009 y 2013, en unidades de (g/kWh).
- iv. Factores de emisión: por medio de revisión bibliográfica se seleccionaron los valores más adecuados a la realidad nacional a utilizar por combustible.
- v. Caudal de gases de salida: la información fue obtenida de la RES 15.027/1994 del Ministerio de Salud, y utilizada para fuentes existentes.
- vi. Potencia del motor: Se estimó la potencia térmica, al multiplicar el consumo de combustible a nivel horario (ej. kg/hr), por el poder calorífico del combustible utilizado. Luego se estima la potencia neta del motor, bajo el supuesto que los grupos electrógenos tienen una eficiencia del 30%.

<sup>22</sup> Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del Ministerio de Salud.

Una vez obtenidos todos los valores anteriormente descritos, se estiman las emisiones según las fórmulas descritas a continuación, para grupos electrógenos existentes (1) y para grupos electrógenos nuevos (2):

$$(1) \quad Em \left( \frac{\text{ton}}{\text{Año}} \right) = HF \left( \frac{\text{Hrs}}{\text{Año}} \right) * CC \left( \frac{\text{mg}}{\text{m}^3\text{N}} \right) * CGS \left( \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{hr}} \right) * 1000 \left( \frac{\text{kW}}{\text{MW}} \right) * \frac{1}{1.000.000} \left( \frac{\text{ton}}{\text{g}} \right)$$

$$(2) \quad Em \left( \frac{\text{ton}}{\text{Año}} \right) = P(\text{MW}) * HF \left( \frac{\text{Hrs}}{\text{Año}} \right) * FE \left( \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right) * 1000 \left( \frac{\text{kW}}{\text{MW}} \right) * \frac{1}{1.000.000} \left( \frac{\text{ton}}{\text{g}} \right)$$

Dónde:

*Em* = Emisión

*CGS* = Caudal de gases de Salida

*CC* = Concentración Contaminantes

*P* = Potencia

*HF* = Horas de Funcionamiento

*FE* = Factor de Emisión

El cálculo de reducción de emisión en este sector, sigue el mismo criterio que el cumplimiento de los límites de emisión para calderas y procesos descrito anteriormente en el punto a) de este apartado, en la Figura 9. Figura 9: Cálculo de reducción de emisiones para el sector industrial. Esto quiere decir si un grupo electrógeno supera el límite de emisión, deberá reducir su emisión al menos hasta el límite.

#### e) Evaluación de costos

La estimación de los costos asociados a la reducción de la emisión para MP, SOx y NOx y a las metas de reducción de grandes emisores, se realizó mediante la aplicación de un costo medio por tonelada reducida, el cual considera las tecnologías más costo-efectivas para cada contaminante. De esta manera las toneladas reducidas para cada contaminante son multiplicadas por su costo de reducción obteniéndose los costos totales, asociados a cada medida<sup>23</sup>.

Para Grupos electrógenos se consideran costos por rangos de potencia (kW), según (GAMMA Ingenieros S.A. 2005; Calfucura 2006; Bradley 2010) en la Tabla 12.

Tabla 12 : Costos Anualizados para equipos nuevos.

Combustible	Rango de Potencia (kW)	CDPF	SCR	Total	Total Anualizado
		USD	USD	USD	UF/año
Diésel	19<=P<37		15,000	15,000	43
	37<=P<56		15,000	15,000	43
	56<=P<130	23,246	15,000	38,246	130
	130<=P<560	32,992	25,625	58,617	197

<sup>23</sup> Las medidas consideradas son: límite de emisión para MP, límite de emisión para SOx y límite de emisión para NOx.



560<=P<1000	46,824	35,000	81,824	275
P>=1000	57,018	44,375	101,393	340

NOTA: Sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR), Filtro de Partículas/Filtro de Partículas Catalizado (CDPF)

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.2 Agroindustria

Para la crianza de animales, la metodología seguida por POCH Ambiental (2015) corresponde a la propuesta por la *Environmental Protection Agency* de Estados Unidos (US EPA 2004), mientras que para fertilizantes la metodología corresponde a Klimont and Brink (2004).

El estudio POCH Ambiental (2015) describe en detalle la metodología para el cálculo de emisiones y costos de este sector.

#### 4.2.3 Maquinaria de construcción

La maquinaria fuera de ruta corresponde a cualquier máquina móvil o equipo industrial portátil, apta para desplazarse sobre el suelo, sea o no de carretera y que funciona en base a motores de combustión interna, no destinada al transporte de pasajeros o carga. La maquinaria de construcción corresponde específicamente a excavadoras, motoniveladoras, bulldozers, grúas horquillas, manipuladores, minicargadores, pavimentadoras, Grúas telescópicas y tiendetubos.

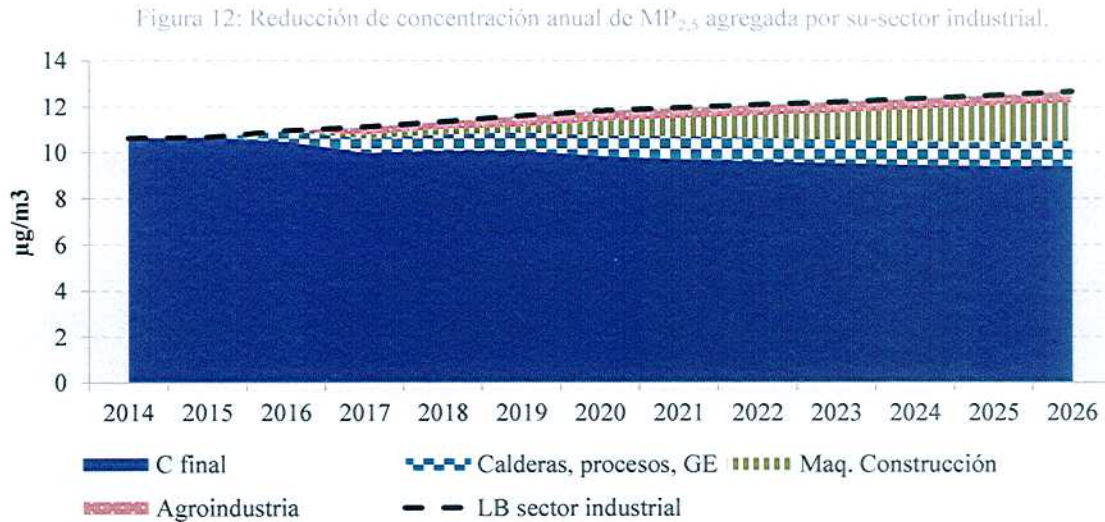
La metodología para el cálculo de emisiones y de costos para este sector se describe en el estudio (Geasur 2014).

### 4.3 Resultados sector Industrial

En esta sección se presentan los resultados de reducción de emisiones y de concentraciones de las medidas evaluadas del sector industrial. También se calculan los costos de implementación y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{2.5}$ .

#### 4.3.1 Reducción de emisiones y de concentraciones sector industrial.

En la Figura 12 se muestra la reducción de concentración de  $MP_{2.5}$  para cada año y para cada medida evaluada, dentro del sector industrial.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13 se presenta la reducción de emisiones y de concentraciones de MP<sub>2,5</sub> para el año 2026, el cual considera plena implementación del plan, para las medidas del sector industrial.

Tabla 13: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> con respecto a la línea base, año 2026.

Medida	Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	
	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [µg/m <sup>3</sup> ]	% Δ Emisión	% Δ Conc.
Compensación industria	11	0,017529024	1,1%	0,5%
Límite emisión industria	74	0,516281851	7,4%	16,0%
Meta emisión grandes FF	167	0,364217311	16,7%	11,3%
Grupos electrógenos	26	0,181064407	2,6%	5,6%
Sist. manejo purín porcinos*	0	0,148421028	0,0%	4,6%
Cubierta pozo y filtro porcinos*	0	0,034215439	0,0%	1,1%
Gestión guano aves*	0	0,275341814	0,0%	8,5%
Filtros maq. Construcción	141	0,218400849	14,1%	6,8%
Norma maq. Constr	581	1,473710357	58,1%	45,6%
<b>Total</b>	<b>999</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

(\*) Medidas reducen NH<sub>3</sub>.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 12 y en la Tabla 13 que las medidas más relevantes en este sector corresponden a la norma de maquinaria de construcción, la meta de grandes emisores y los filtros a maquinarias de construcción, las que en su conjunto reducen el 91% de las emisiones y las concentraciones del sector.

Para el año 2026 se estima que la reducción total de concentración de MP<sub>2,5</sub> del sector sería de 3,39 µg/m<sup>3</sup>.



### 4.3.2 Casos evitados de mortalidad y morbilidad para el sector industrial.

La disminución en la concentración de MP<sub>2.5</sub> evita casos de mortalidad y morbilidad en la población que pueden ser cuantificados según la metodología descrita en la sección 11.2.4 de anexos. La Tabla 14 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2016 a 2026.

Tabla 14: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	4	[ 3 - 6 ]	17	[ 11 - 23 ]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	550	[ 381 - 753 ]	3.394	[ 2407 - 4647 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	7	[ 4 - 10 ]	59	[ 34 - 84 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	17	[ 14 - 22 ]	118	[ 96 - 152 ]
	MP2.5	Cardiovascular	231	[ 199 - 262 ]	1.478	[ 1281 - 1672 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	33	[ -2 - 58 ]	216	[ -7 - 369 ]
	MP2.5	Neumonía	161	[ 86 - 224 ]	983	[ 527 - 1364 ]
	MP10	Bronquitis	46	[ 5 - 87 ]	377	[ 44 - 711 ]
	MP10	Bronquitis crónica	61	[ 49 - 73 ]	440	[ 355 - 529 ]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	9.784	[ 6379 - 15743 ]	70.601	[ 46079 - 113627 ]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	91.938	[ 88309 - 99294 ]	653.575	[ 627428 - 704589 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida	410.201	[ 381609 - 427438 ]	2.913.430	[ 2710654 - 3032660 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	774.717	[ 704963 - 810877 ]	5.489.230	[ 5008321 - 5755234 ]

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.3 Indicadores económicos sector industrial

La Tabla 15 presenta el valor presente de los beneficios y costos asociados a la implementación de las medidas del sector industrial, así como la distribución de estos entre el Estado, salud privada, emisores y población en general.



Tabla 15: Valor presente de costos y beneficios del sector Industrial, MMUSD.

Medida	VP Inversión	Costos variables	VP Beneficio Salud		
	Emisor	Emisor	Estado	Poblacion	Salud Privada
Compensación industria	0	0	0	7	0
Límite emisión industria	0	40	5	358	2
Meta emisión grandes FF	0	5	3	193	1
Grupos electrógenos	24	0	1	79	0
Sist. manejo purín porcinos	1	12	1	77	0
Cubierta pozo y filtro porcinos	2	0	0	22	0
Gestión guano aves	0	22	2	177	1
Filtros maq. Construcción	155	0	2	165	1
Norma maq. Constr	0	0	6	430	2
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>80</b>	<b>21</b>	<b>1.508</b>	<b>8</b>
<b>Distribución</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>1,3%</b>	<b>98%</b>	<b>0,5%</b>
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>80</b>	<b>1.536</b>		

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF<sup>24</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.4 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026.

Fuente: Elaboración propia.

Para este sector, los beneficios valorizados en salud superan ampliamente los costos, debido principalmente a la población expuesta a la contaminación en la Región Metropolitana de 7 millones de habitantes. El beneficio social neto en el periodo de evaluación supera los US\$ 1.536 millones de dólares, mientras que los costos netos alcanzan US\$ 261 millones. Los costos de inversión, un 100% es absorbido por los emisores.

La población de la Región Metropolitana es la que recibiría el 98% de los beneficios en salud, de los que a su vez alrededor de un 97% corresponde a reducción de mortalidad.

<sup>24</sup> MMA (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.



## 5. Evaluación sector transporte

### 5.1 Antecedentes del sector transporte

A continuación se reportan los antecedentes del aporte en la calidad del aire y emisiones del sector transporte, así como las medidas del PPDA que son evaluadas en el AGIES junto con sus supuestos.

#### 5.1.1 Aporte de emisiones y concentraciones del sector

En la Región Metropolitana, el sector transporte es uno de los mayores emisores de MP<sub>2,5</sub>, junto con el sector residencial, emitiendo más de 1.000 toneladas al año de este contaminante. De estas emisiones la mayor cantidad proviene de vehículos livianos a gasolina y diésel, lo que se ve reflejado en el inventario de emisiones para el año 2012. Las emisiones por contaminante se presentan en la Tabla 16.

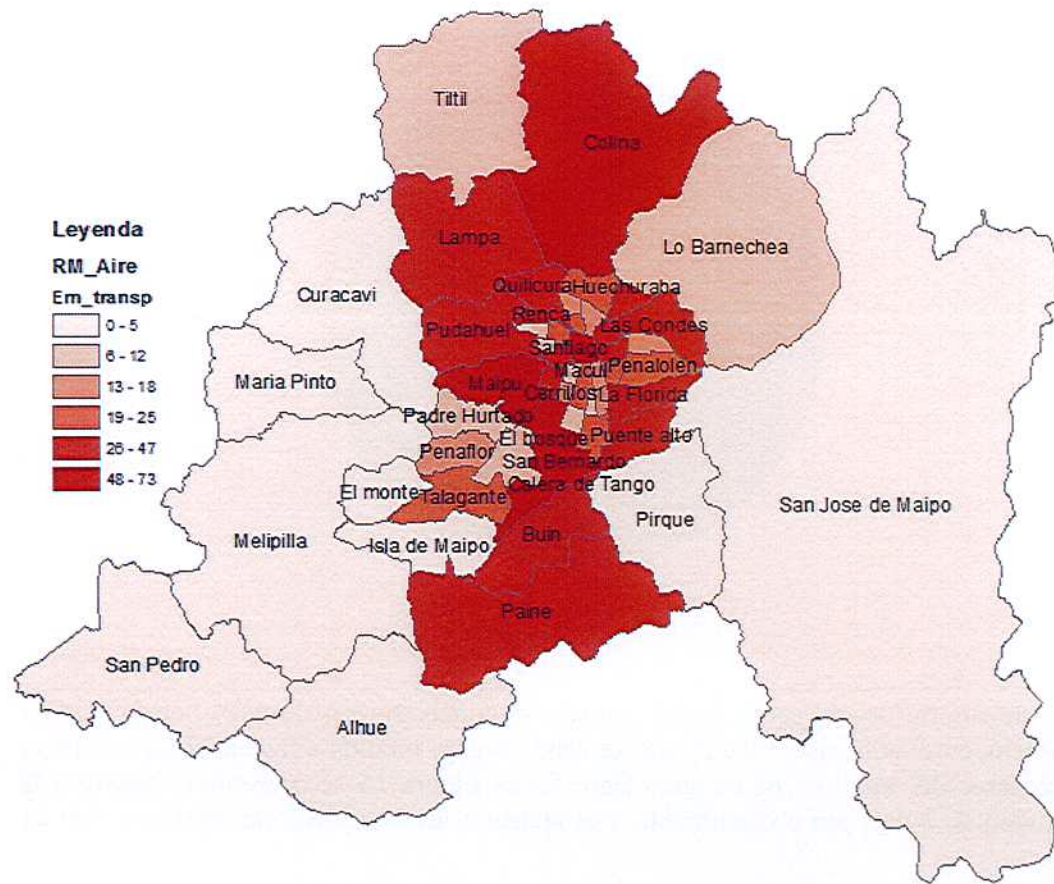
Tabla 16: Inventario emisiones de transporte de la Región metropolitana, año 2012, ton/año.

Tipo	MP25	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Vehículos livianos - gasolina	536	105	9.077	1.499	81.922	4.717.071	247	1.135	7.756
Vehículos livianos - diésel	353	48	5.449	35	5.969	1.571.311	22	121	636
Buses - diésel	136	25	7.216	2	1.753	698.871	87	24	381
Camiones - diésel	366	25	6.829	4	1.353	637.310	95	40	2.692
Motos - gasolina	0	1	119	1	6.129	33.579	92	1	1.769
<b>Total</b>	<b>1.391</b>	<b>203</b>	<b>28.689</b>	<b>1.541</b>	<b>97.126</b>	<b>7.658.143</b>	<b>543</b>	<b>1.320</b>	<b>13.234</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (GEASUR 2015).

De acuerdo al inventario, camiones y buses aportan 366 ton y 136 ton de MP<sub>2,5</sub> respectivamente, representando en conjunto un 36% de las emisiones de MP<sub>2,5</sub> del sector.

Las emisiones de este sector varían por comuna dependiendo del nivel de actividad, la velocidad y la composición tecnológica de los vehículos que circulan en cada una de ellas. La Figura 13 presenta la forma en que se distribuyen las emisiones de MP<sub>2,5</sub> por comuna para el año 2015.

Figura 13: Emisiones de  $MP_{10}$  por comuna para el sector transporte, año 2015.

Fuente: Elaboración Propia en base a (GEASUR 2015).

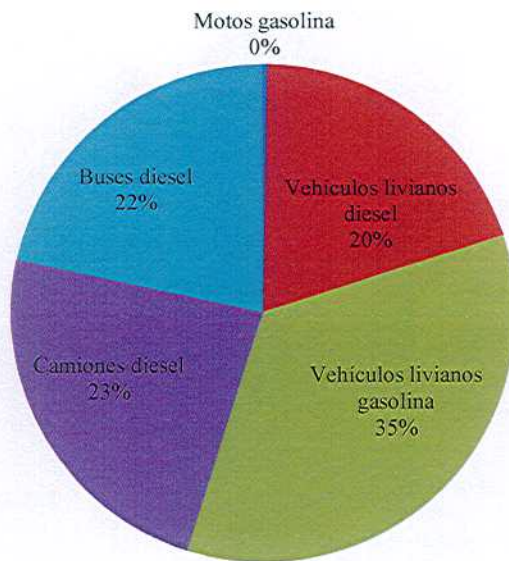
En la Figura 13 se observa que los mayores niveles de emisión se registran en las comunas ubicadas en la zona central de la región Metropolitana, destacando Santiago, Maipú, San Bernardo y Pudahuel entre otras.

Con respecto a las emisiones de otros contaminantes destacan las de  $NO_x$ , contaminante secundario que es incluso más relevante en la concentración de material particulado que las emisiones directas de  $MP_{2.5}$ . Esto explica que el aporte a la concentración de material particulado de los vehículos diésel tenga un alto impacto, aun cuando su parque alcanza alrededor del 20% del parque total, como se observa en la Figura 14.

V-114



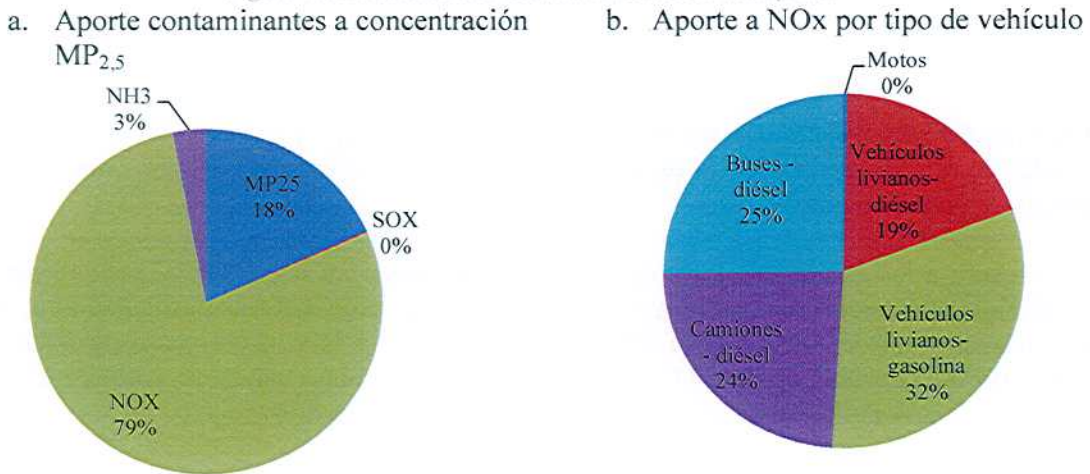
Figura 14: Aporte a la concentración de MP<sub>2.5</sub> según tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

El sector transporte aporta cerca de 10 µg/m<sup>3</sup> a la concentración de MP<sub>2.5</sub> de la Región Metropolitana en el año base. Este aporte se debe en gran medida a las emisiones de NO<sub>x</sub> como precursor del material particulado fino. En la Figura 15 se presenta el aporte a la concentración de MP<sub>2.5</sub> por contaminante y el aporte a las emisiones de NO<sub>x</sub> por tipo de vehículo.

Figura 15: Contaminantes secundarios en sector transporte.



Fuente: Elaboración propia



### 5.1.2 Medidas evaluadas sector transporte

En la Tabla 17 se muestran las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del sector transporte.

Tabla 17: Resumen de medidas evaluadas sector transporte

Nombre medida	corto	Descripción	Supuestos evaluación
Límite de emisión buses nuevos (EURO VI)		Buses nuevos de locomoción colectiva urbana (provincia de Santiago y comunas de San Bernardo y Puente Alto) deberán cumplir con niveles de emisión asimilables a normativa Euro VI.	Vigencia: desde 2017 Cumplimiento: 100%.
Zona de baja emisión		Los vehículos pesados de carga tendrán restricciones a la circulación en vías ubicadas al interior del Anillo Américo Vespucio con excepción de las autopistas.	Vigencia: 2018 Cumplimiento: 100%. Antigüedad >12 años
Actualización de límites ASM	de	Modificación de la norma de emisión de NO, HC y CO para el control de NOx.	Vigencia: 2017 Cumplimiento: 100%.
Ciclo vías		Construcción de 300 km de ciclo vías 65% multipropósito y 35% vías de alto estándar.	Vigencia: 2016 Cumplimiento: 100%.
Restricción Permanente		Restricción permanente entre el 1º de mayo y 31 de agosto a vehículos anteriores al año 2012. *	Vigencia: 2016 Cumplimiento: 100%.
Corredores		Establecimiento de metas de cumplimiento del Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público.	Vigencia: 2017 Cumplimiento: 100%
Apagado de motor		Se prohíbe la operación innecesaria del motor de un vehículo cuando este detenido por un periodo mayor a 5 minutos.	Vigencia: 2016 Cumplimiento: 90%

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Esta medida se encuentra en el capítulo de episodios críticos de contaminación, sin embargo, por su carácter permanente se incluye en este capítulo.

Además, los supuestos transversales para este sector son los siguientes:

- Precio de camiones: Se consideran precios diferenciados por tipo de camión (liviano, mediano o pesado) y por tipo de norma (desde sin norma – hasta Euro V).
- Precio de buses: Se distinguen por tipo de combustible, norma, largo y tipo de bus.

Para los buses usados se ha considerado un valor residual de cero, ya que no hay mercado de buses usados del Transantiago.

- Mantenimiento vehículos pesados: Se supone mantenimiento anual. En este caso el costo de mantenimiento del filtro de partículas depende de la clasificación CCF8 (simple), tipo de combustible, y norma, en pesos CLP/km.
- Costo de filtro de partículas: Se considera el precio del filtro y el costo de instalación.
- Mantenimiento de filtro de partículas (maquinaria de construcción): Se establece un costo por rango de potencia tanto para mantenimiento como para limpieza. Se supone que las mantenciones se realizan cada 1.000 horas.



- Precio de vehículos livianos: Se distinguen por tipo de vehículos, combustible y norma.
- Costo en infraestructura corredores (PMTS): Se consideró como monto promedio de inversión MM\$6.358 por km.
- Costos de los combustibles: Para los costos operacionales se consideró el consumo de combustible reportado por COPERT según los factores de emisión COPERT IV 2013 (EMEP/EEA 2013). Se utiliza un costo en CLP/km de acuerdo a CCF8, tipo de combustible y norma. Para maquinaria fuera de ruta se consideró la estimación de consumo de combustible reportado por CORINAIR 2013 según los factores de emisión. El costo en consumo por hora depende del rango de potencia, norma y si tiene o no filtro (costo expresado en CLP/hr).
- Costos de ciclo vías: Se considera un costo de MM CLP 130/Km lineal para vías multipropósito y MM CLP 200/Km lineal para vías de alto estándar.
- Apagado de motor: La medida supone que el motor funciona en ralentí un 1% del tiempo, equivalente a 15 minutos en promedio. Sólo se consideran vehículos comerciales. Se evalúan costos asociados a campaña de difusión de 100.000 USD/año y ahorro de combustible.
- Ciclo vías: considera también ahorros de traslado en transporte público que percibirían los usuarios. Considera que al final del periodo de evaluación el 0,6% de los viajes en medios de transporte compartidos pasarían a utilizar las ciclo vías.
- Mayores detalles sobre los supuestos de modelación se pueden revisar en el estudio GEASUR (2015).

## 5.2 Metodología evaluación del sector transporte

La estimación de emisiones para el sector transporte se realiza de acuerdo al siguiente modelo simplificado:

$$E_{i,j,k} = \sum NA_i * CT_{i,j,k} * FE(v)_{i,j,k} * FA_{i,j,k}$$

Donde:

$E_{i,j,k}$  : Emisiones según tipo de vehículo  $i$  ( $i$  = vehículos particulares, vehículos comerciales de uso de empresas, camiones livianos, etc.), de combustible  $j$  ( $j$  = Diésel, gasolina, híbrido, etc.) y nivel de emisiones  $k$  ( $k$  = Euro I, Euro II, etc.)

$NA_i$ : Nivel de Actividad total del tipo de vehículo i.

$CT_{i,j,k}$ : Composición tecnológica según el tipo de vehículo i, de combustible j y de emisiones k.

$FE(v)_{i,j,k}$ : Factor de emisión de escape del motor, en función de la velocidad media v, para el tipo de vehículo i, de combustible j y de emisiones k.

$FA_{i,j,k}$ : Factor de ajuste por año fabricación según el tipo de vehículo i, de combustible j y de emisiones k.

El nivel de actividad corresponde al obtenido en las simulaciones Modem, proyectado para cada uno de los años del periodo de evaluación, el cual es distribuido según la composición tecnológica de la flota en cada una de las categorías vehiculares CCF8 de MODEM.

Dado que en la operación real los vehículos presentan deterioro en sus emisiones y condiciones específicas de mantenimiento que difieren de las condiciones de emisión establecidos en COPERT, el modelo propuesto considera un factor de ajuste a los Factores de Emisión, según los resultados del estudio GEASUR (2015).

Se utilizan las modelaciones MODEM como herramienta que entrega las variables básicas como nivel de actividad por tecnología (CCF8) y comuna, y velocidades medias por tecnología, sumado a las modelaciones de transporte de Estraus disponibles para los escenarios de evaluación de las medidas. En la Figura 16 se presentan los pasos para el cálculo de emisiones.

Figura 16: Enfoque general para cálculo de emisiones



Fuente: GEASUR (2015)

Con respecto a los costos, estos consideran los costos de inversión anualizados y los diferenciales en costos de operación, esto es el costo o ahorro neto derivado del cambio de tecnología y/o combustible a utilizar para transporte. Los costos de fiscalización no se desagregarán a nivel de medidas específicas, ya que los diferentes servicios informan sólo costos agregados.

La metodología para estimar los beneficios por reducciones de gases de efecto invernadero corresponde a la propuesta por el Ministerio de Desarrollo Social (MDS 2015) para el precio social del carbono en función de su valor de mercado. Para reducción de congestión, accidentes y ruido se utilizó una metodología simplificada que contempla el valor subjetivo del tiempo propuesto por MDS (2015). El detalle de la estimación de estos cobeneficios se puede revisar en el informe final de GEASUR (2015).



Finalmente, la metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{2,5}$  se detalla en el capítulo 11.2.4 anexos.

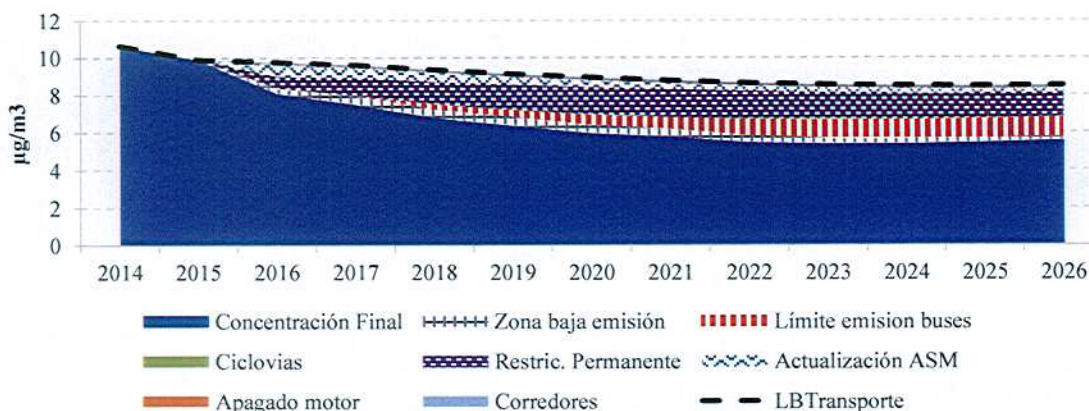
### 5.3 Resultados sector transporte

En esta sección se presentan los resultados de reducción de emisiones y de concentraciones de las medidas evaluadas para el sector transporte. También se calculan los beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{2,5}$  y los costos de inversión, operación y ahorros en combustible.

#### 5.3.1 Reducción de emisiones y de concentraciones sector transporte

En la Figura 17 se muestra la reducción de concentración de  $MP_{2,5}$ , para cada año y medida evaluada. En ella se observa que las medidas que presentan mayor aporte a la reducción de concentraciones corresponden a restricción permanente y límite de emisión buses.

Figura 17: Reducción de concentración de  $MP_{2,5}$  por medida, sector transporte



Fuente: Elaboración propia en base a GEASUR (2015)

En la Tabla 18 se presenta la reducción de emisiones y de concentraciones de  $MP_{2,5}$  para el año 2026 derivadas de la implementación de las medidas del plan para el sector transporte.

Tabla 18: Reducción de emisiones y concentraciones de  $MP_{2,5}$  con respecto a la línea base, año 2026.

Medida	Reducción ( $\Delta$ ) Año 2026		Reducción Sector	
	$\Delta$ Emisiones [Ton/año]	$\Delta$ Conc. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	% $\Delta$ Emisión	% $\Delta$ Conc.
Límite emisión buses	21	1,02	7,3%	34,7%
Restric. Permanente	213	1,28	74,0%	43,5%
Actualización ASM	0	0,20	0,0%	6,8%
Zona baja emisión	35	0,20	12,1%	6,9%
Corredores	5	0,17	1,8%	5,7%



Ciclovías	12	0,04	4,0%	1,4%
Apagado motor	2	0,03	0,7%	1,0%
<b>Total</b>	<b>288</b>	<b>2,95</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (GEASUR 2015)

Se observa en la Figura 17 y en la Tabla 18 que las medidas más relevantes en este sector corresponden a restricción permanente y límite de emisión buses. Estas medidas suman un 78% de la reducción de concentración del material particulado fino del sector.

Para el año 2026 se estima que la reducción total de concentración de  $MP_{2,5}$  del sector sería de  $2,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respecto de la línea base proyectada para ese mismo año.

En la Tabla 19 se presenta la reducción de emisiones por contaminante de las medidas evaluadas, al año 2026 con respecto a las emisiones de línea base.

Tabla 19: Reducción de emisiones por medidas para cada contaminante, año 2026, ton/año.

	MP25	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV	CO2eq
Límite emisión buses	21	0	3.062	0	711	777	0	-2	0	46
Restric. Permanente	213	9	2.864	119	51.197	964.356	41	47	2.465	979.243
Actualización ASM	0	0	619	0	10.060	0	0	0	352	0
Zona baja emisión	35	0	468	-2	-106	4.088	11	-5	42	3.021
Corredores	5	2	490	3	656	213.600	2	1	46	214.019
Ciclovías	12	1	69	1	0	70.518	0	0	0	70.518
Apagado motor	2	0	82	1	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>288</b>	<b>12</b>	<b>7.653</b>	<b>122</b>	<b>62.518</b>	<b>1.253.339</b>	<b>54</b>	<b>41</b>	<b>2.904</b>	<b>1.266.846</b>
<b>% Reducción respecto a sector</b>	<b>56%</b>	<b>7%</b>	<b>33%</b>	<b>36%</b>	<b>117%</b>	<b>7%</b>	<b>27%</b>	<b>24%</b>	<b>67%</b>	<b>7%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (GEASUR 2015).

### 5.3.2 Casos evitados de mortalidad y morbilidad para el sector transporte.

La disminución en la concentración de  $MP_{2,5}$  evita casos de mortalidad y morbilidad en la población que pueden ser cuantificados según la metodología descrita en la sección 11.2.4 de anexos. La Tabla 20 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2016 a 2026.

De los casos evitados destacan los asociados a mortalidad por exposición  $MP_{10}$  y a  $MP_{2,5}$ , los que durante todo el periodo de evaluación alcanzarían 4.642 casos.



Tabla 20: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	19	[ 13 - 26 ]	229	[ 156 - 313 ]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	503	[ 348 - 689 ]	4.339	[ 3.096 - 5.944 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	7	[ 4 - 10 ]	74	[ 40 - 105 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	15	[ 13 - 20 ]	154	[ 127 - 202 ]
	MP2.5	Cardiovascular	211	[ 182 - 240 ]	1.905	[ 1.653 - 2.156 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	30	[ -2 - 53 ]	277	[ -7 - 475 ]
	MP2.5	Neumonía	147	[ 79 - 204 ]	1.252	[ 671 - 1739 ]
	MP10	Bronquitis	46	[ 5 - 87 ]	468	[ 56 - 880 ]
	MP10	Bronquitis crónica	60	[ 48 - 73 ]	538	[ 433 - 647 ]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	8.944	[ 5.832 - 14.392 ]	93.639	[ 61.111 - 150.732 ]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	84.047	[ 80.729 - 90.772 ]	863.113	[ 828.432 - 929.949 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida	374.993	[ 348.855 - 390.750 ]	3.846.653	[ 3579178 - 4002857 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	708.222	[ 644.454 - 741.278 ]	7.241.388	[ 6.613.407 - 7.597.271 ]

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Indicadores económicos sector transporte

La Tabla 21 presenta el valor presente de los beneficios asociados a la implementación de las medidas del sector transporte, así como la distribución de estos entre el Estado, salud privada, emisores y población en general.

Para este sector, se obtienen beneficios en salud de MMUSD 2.109, de los cuales la población de la Región Metropolitana es la que recibiría el 98%. De estos, casi un 98% corresponde a reducción de mortalidad.



Tabla 21: Valor presente de inversión, ahorros y beneficios del sector transporte, MMUSD.

Medida	VP Inversión	Ahorros netos	VP Beneficio Salud		
	Emisor	Emisor	Estado	Poblacion	Salud Privada
Limite emision buses	88	0	6	429	2
Ciclovias	61	175	0	24	0
Restric. Permanente	434	2.225	13	466	5
Actualización ASM	365	0	4	286	1
Apagado motor	0	85	0	20	0
Corredores	350	227	1	90	0
Zona baja emision	116	11	4	256	1
<b>Total</b>	<b>1.413</b>	<b>2.723</b>	<b>28</b>	<b>2.071</b>	<b>11</b>
<b>Distribución</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>1,3%</b>	<b>98%</b>	<b>0,5%</b>
<b>Total</b>	<b>1.413</b>	<b>2.723</b>	<b>2.109</b>		

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF<sup>25</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.4 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026.

Fuente: Elaboración propia.

Además de los beneficios en salud, un menor consumo de combustible, y en el caso de las ciclo vías ahorros de pasajes, las medidas asociadas al sector transporte reportan otro tipo de beneficios tales como menor congestión vehicular, reducción del número de accidentes, disminución del ruido, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mayor visibilidad. Algunos de estos beneficios fueron valorizados arrojando los siguientes resultados:

Tabla 22: Cobeneficios de las medidas de transporte en valor presente MMUSD

Medida	Congestión	Accidentes	CO2	Ruido
Zona baja emision	140	-10		
Límite de emision buses				
Restricción permanente	600	1160	20	10
Actualización ASM				
Corredores	440	490		10
Ciclo vías	220	250		10

Fuente: Elaboración propia en base a (GEASUR 2015).

Por último, cabe destacar que este sector implica también cobeneficios al reducir contaminantes climáticos de corta vida (ver sección 11.2.4 de anexos) que no han sido cuantificados.

<sup>25</sup> Ibid.



## 6. Evaluación sector quemas agrícolas

### 6.1 Antecedentes y medidas quemas agrícolas

Las quemas agrícolas aportan alrededor de un 2% de las emisiones de MP<sub>2,5</sub>. La medida evaluada se describe en la Tabla 23.

Tabla 23: Medida quemas agrícolas

Nombre medida	Descripción	Supuestos evaluación
Regulación quemas	Se prohíbe el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal.	<p>Vigencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2017, periodo 15 de marzo al 30 de septiembre</li> <li>- 2019, periodo 1 de marzo al 31 de octubre</li> <li>- 2021, prohibición permanente</li> </ul> <p>Cumplimiento: 90% entre 2014 y 2020, 95% entre 2021 y 2024, 100% desde 2025.</p> <p>Línea base: considera que no se realizan quemas durante enero y entre abril y agosto.</p>

Fuente: Elaboración propia

### 6.2 Metodología quemas agrícolas

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

$$Emisiones = \sum_j \sum_i N^{\circ}Hectáreas_{i,j} * FC_i * FE_i$$

Donde:

*Emisiones*: Emisiones de quemas agrícolas [kg/año]

*N°Hectáreas<sub>i</sub>*: Número de hectáreas quemadas del cultivo *i* el mes *j* [Ha/mes]

*FC<sub>i</sub>*: Factor de carga, cantidad de toneladas de cultivo *i* por unidad de superficie [Ton/Ha]

*FE<sub>i</sub>*: 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 (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas de CONAF<sup>26</sup>. El factor de carga y factores de emisión provienen de la recopilación hecha por (MMA 2013a).

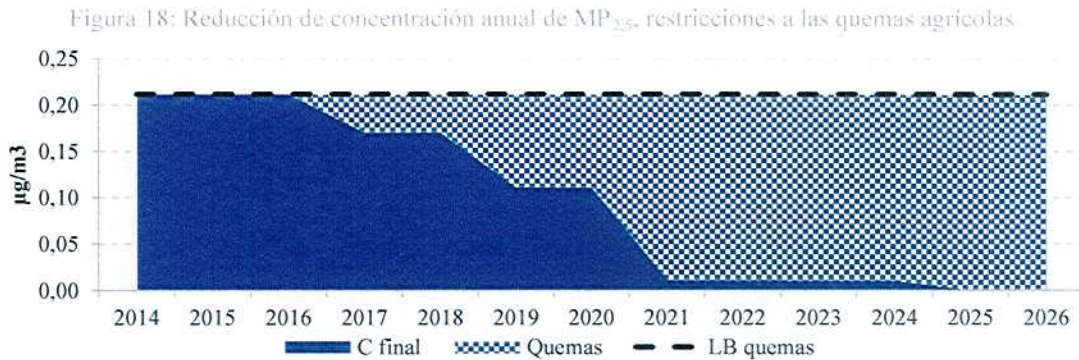
Para el cálculo de reducción de emisiones se considera el número de hectáreas totales que se dejarán de quemar, de acuerdo a las restricciones definidas en el anteproyecto, a las que se asigna el costo unitario según el estudio Villena, Villena et al. (2007), actualizado de acuerdo al Índice de Precios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

<sup>26</sup> <http://saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=17539376715682de64a49eb>



### 6.3 Resultados quemas agrícolas

La Figura 18 muestra la reducción de concentración asociada a las restricciones graduales a las quemas agrícolas.



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 24 muestra la reducción de emisiones por contaminante para las restricciones a las quemas agrícolas para el año 2026. Dado que la medida implica una prohibición total, la reducción de emisiones alcanza un 100% al final del periodo de evaluación, al igual que el aporte a la concentración de material particulado del sector.

Tabla 24: Reducción en concentración de  $MP_{2,5}$  con respecto a la línea base.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>LB quemas</b>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<b>Reducción Medida</b>	0	0	0	0,04	0,04	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21
<b>Concentración Final</b>	0,22	0,22	0,22	0,18	0,18	0,12	0,12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.3.1 Casos evitados de mortalidad y morbilidad para quemas agrícolas

La disminución en la concentración de  $MP_{2,5}$  evita casos de mortalidad y morbilidad en la población que pueden ser cuantificados según la metodología descrita en la sección 11.2.4 de anexos. La Tabla 25 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2016 a 2026.



Tabla 25: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	0	[ 0 - 0 ]	0	[ 0 - 0 ]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	36	[ 25 - 49 ]	226	[ 160 - 309 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	1	[ 0 - 1 ]	6	[ 0 - 6 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	1	[ 1 - 1 ]	8	[ 6 - 8 ]
	MP2.5	Cardiovascular	15	[ 13 - 17 ]	98	[ 85 - 112 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	2	[ 0 - 4 ]	14	[ 0 - 24 ]
	MP2.5	Neumonía	11	[ 6 - 15 ]	65	[ 36 - 91 ]
	MP10	Bronquitis	4	[ 0 - 7 ]	26	[ 0 - 46 ]
	MP10	Bronquitis crónica	5	[ 4 - 6 ]	32	[ 24 - 38 ]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	641	[ 418 - 1.032 ]	4.626	[ 3.021 - 7.448 ]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	6.027	[ 5.789 - 6.509 ]	42.938	[ 41.225 - 46.304 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida	26.889	[ 2.5015 - 28.019 ]	191.423	[ 178.089 - 199.286 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	50.783	[ 46.210 - 53.153 ]	360.825	[ 329.036 - 378.174 ]

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2 Indicadores económicos para quemas agrícolas

Los beneficios y costos asociados a la implementación de medidas para el sector de quemas agrícolas en la Tabla 26, se observa que la distribución de los beneficios se genera casi en su totalidad (98,16%) en la población. Adicionalmente se puede deducir que los beneficios (101 MMUSD) superan ampliamente a los costos (0,6 MMUSD).

Respecto de los costos estos son absorbidos en un 100% por los emisores, y se cuantifican como un cambio tecnológico en los tratamientos post-cosecha desde el fuego a tecnologías de incorporación de la materia orgánica al suelo.

El beneficio neto de esta medida corresponde a 100 MM USD lo que genera que sea una medida altamente rentable.



Tabla 26: Valor presente de inversión, ahorros y beneficios del sector quemas agrícolas, MMUSD.

Medida	Costos variables	VP Beneficio Salud		
	Emisor	Estado	Poblacion	Salud Privada
Quemas	0,6	1	99	1
<b>Distribución</b>	<b>100%</b>	<b>1,33%</b>	<b>98,16%</b>	<b>0,51%</b>
<b>Total</b>	<b>0,6</b>	<b>101</b>		

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF<sup>27</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.4 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, cabe destacar que este sector implica también cobeneficios, como por ejemplo la reducción de contaminantes climáticos de corta vida, los cuales no han sido cuantificados ni valorizados, mayor detalle de estos cobeneficios se encuentran en la sección 11.2.5 de anexos.

<sup>27</sup> MMA (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. Evaluación de medidas de episodios críticos

### 7.1 Antecedentes episodios críticos

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  se establecen en el DS20 del año 2013 y en el DS12 del año 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, respectivamente. Los niveles establecidos para los episodios se detallan en la Tabla 27.

Tabla 27: Rangos de concentración de 24 horas [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] para episodios críticos

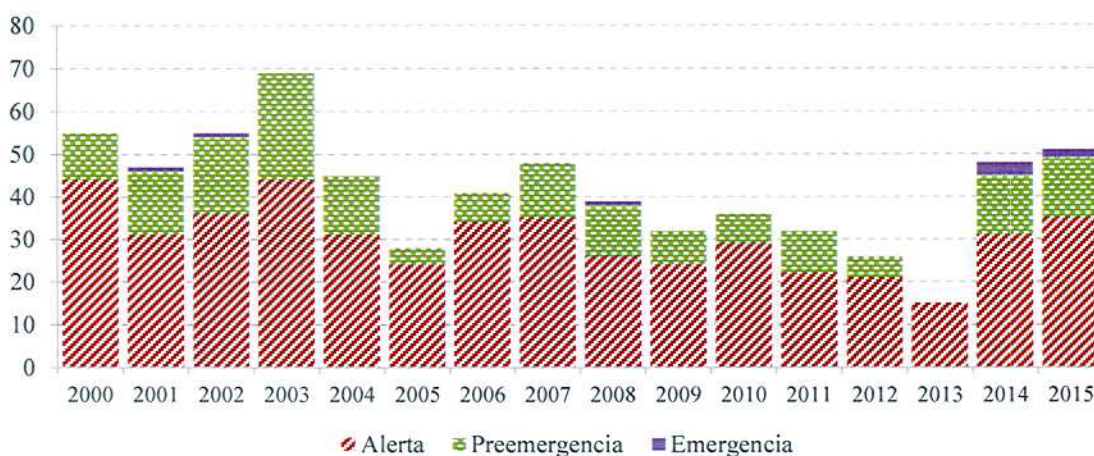
Nivel	$MP_{10}$	$MP_{2,5}$
Alerta	195-239	80-109
Preemergencia	240-329	110-169
Emergencia	330 o superior	170 o superior

Fuente: DS20 del año 2013 y DS12 del año 2011, MMA

Cabe mencionar que la normativa establece que las metodologías de pronóstico y las medidas de gestión durante estos episodios deben ser definidas en los respectivos planes de descontaminación o prevención.

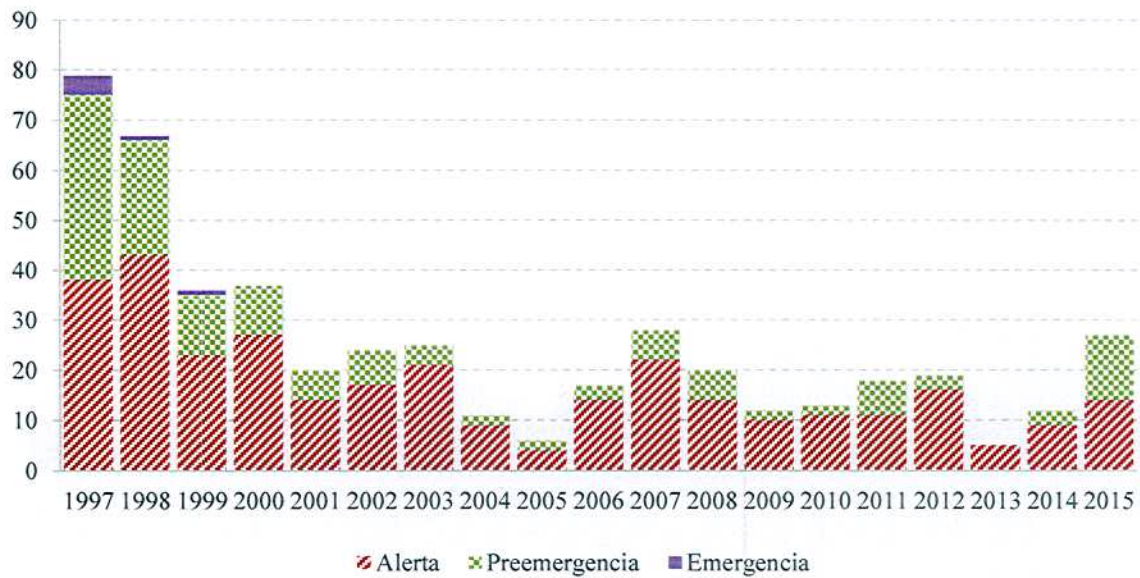
La Figura 19 muestra el número de episodios críticos para  $MP_{2,5}$  para el periodo 2000 a 2015, mientras que la Figura 20 presenta el número de episodios para  $MP_{10}$  del periodo 1997 a 2015.

Figura 19: Número de días de episodios críticos constatados para  $MP_{2,5}$ , periodo 2000 a 2015.



Fuente: Elaboración Propia



Figura 20: Número de días de episodios críticos constatados para MP<sub>10</sub>, periodo 2000 a 2015.

Fuente: Elaboración Propia

## 7.2 Medidas plan operacional de episodios críticos

El plan operacional para la gestión de episodios críticos se extiende entre el 1° de Abril y el 31 de Agosto de cada año.

Tabla 28: Resumen de medidas evaluadas GEC

Nombre corto medida	Descripción	Supuestos evaluación
Prohibición leña RM	Alerta, pre-emergencia y emergencia: No podrán funcionar los calefactores de uso residencial que utilicen combustibles sólidos, tales como leña y otros dendroenergéticos.	Vigencia: 2017
Restricción vehicular Alerta	Establece restricción para vehículos sin sello verde durante sábados, domingos y festivos.	Vigencia: 2016
Restricción vehicular Pre-emergencia	Establece restricción para vehículos sin sello verde durante sábados, domingos y festivos. Aumenta la cantidad de dígitos con restricción respecto a la restricción permanente. Incluye vehículos con sello verde anteriores a 2011.	Vigencia: 2016
Restricción vehicular Emergencia	Establece restricción para vehículos sin sello verde durante sábados, domingos y festivos. Aumenta la cantidad de dígitos con restricción respecto a la restricción de Pre-Emergencia. Incluye vehículos con sello verde anteriores a 2011.	Vigencia: 2016
Paralización industria	Establece en Emergencia la paralización de los "Grandes establecimientos", emitan más de 20 toneladas al año de MP2,5 equivalente.	Vigencia 2016

Fuente: Elaboración Propia

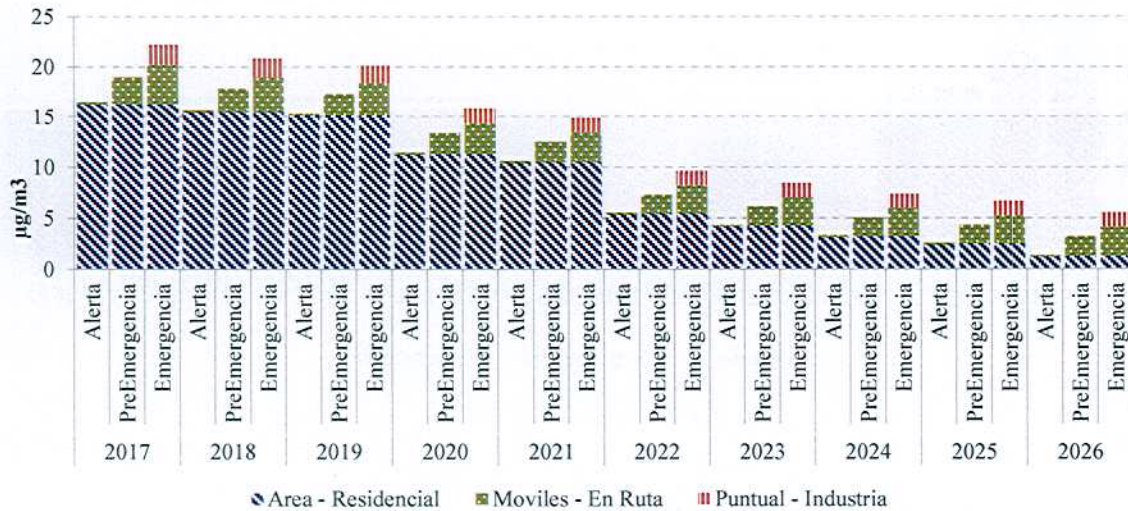
Nota: La medida de restricción vehicular permanente para el periodo de Gestión de Episodios Críticos se encuentra evaluada en el capítulo del sector transporte. Las medidas de restricción vehicular utilizaron evaluación realizada por SECTRA.



Cabe mencionar que las medidas asociadas a los episodios críticos sólo se contabilizan en las reducciones de emisiones y concentraciones para el cumplimiento de la normativa diaria de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> y no en los resultados agregados del plan.

La Figura 21 muestra la reducción de concentración por tipo de episodio y año para MP<sub>2,5</sub>. En el caso del MP<sub>10</sub>, la reducción de concentración es levemente superior a la de MP<sub>2,5</sub>.

Figura 21: Reducción de concentración de MP<sub>2,5</sub> para medidas de GEC, por episodio.



Fuentes: Elaboración Propia.

Se observa que el impacto de las medidas para el sector residencial va decreciendo en el tiempo, a medida que entran en vigencia y aumenta el cumplimiento de las medidas estructurales del sector.

## 8. 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 11.1, anexos.

Para el caso de las reducciones en concentraciones que generan las medidas de este plan, se presentarán los resultados de MP<sub>2,5</sub> con la finalidad de mostrar el cumplimiento del plan dentro del plazo establecido. Sin embargo el análisis de los resultados de costos y beneficios se realizará para MP<sub>2,5</sub>.

### 8.1 Reducción de Emisiones y de Concentraciones

En la Tabla 29 se presentan las emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> de línea base asociadas a los sectores residencial, quemas, industria y transporte, así como las reducciones para el año 2026 derivadas de la implementación de las medidas del plan para dichos sectores.

Tabla 29: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> con respecto a la línea base, año 2025.

Sector	Sub-Sector	Línea Base 2026		Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Secto Reducción Tot.	
		Emisiones MP25 [Ton/año]	Conc. MP2.5 [µg/m3]	Δ Emisiones MP25 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5 [µg/m3]	% Δ Conc.	% Δ Conc.
Residencial	Residencial - leña	1,872	3.00	1,721	2.7	91%	30%
	Residencial - otras	95	0.68	-	0.0	0%	0%
Transporte	Transporte	510	8.50	288	3.0	35%	32%
Industria	Maquinaria construcción	1,226	4.92	722	1.7	34%	19%
	Industria	982	3.31	278	1.1	33%	12%
	Agroindustria	0	4.45	-	0.5	10%	5%
Quemas	Quemas agrícolas	118	0.21	118	0.2	100%	2%
	Evaporativas	0	0.00	-	0.0		0%
Otros	Otras	157	0.27	-	0.0		0%
	Background	0	3.78	-	0.0		0%
<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>4,959</b>	<b>29</b>	<b>3,126</b>	<b>9</b>		<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 8.2 Efectos en Calidad del Aire

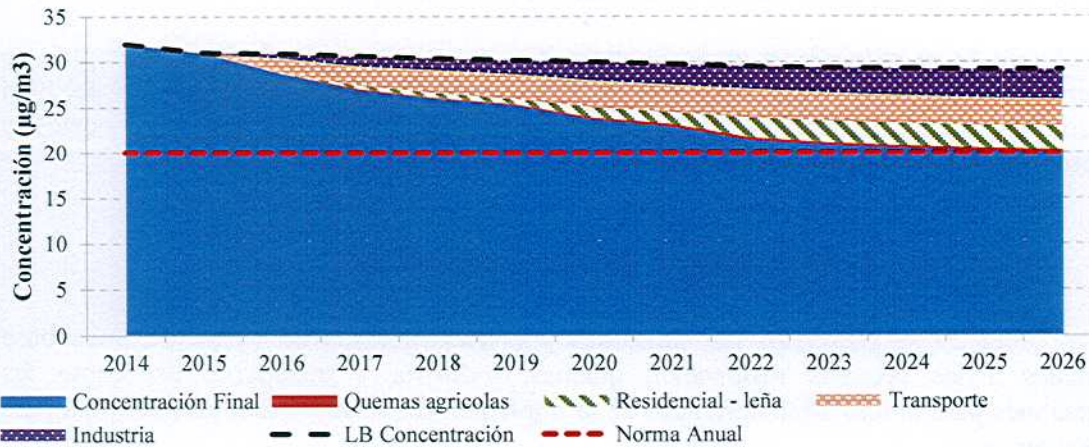
#### 8.2.1 Cumplimiento normas de calidad

La implementación de las medidas se estima a partir del año 2016 y hasta el 2026, considerando años calendario (1 de enero a 31 de diciembre).



La Figura 22 muestra la evolución de la concentración atmosférica de  $MP_{2,5}$  en su métrica anual, para la línea base (línea puntuada) y con proyecto (área azul), mostrando las reducciones asociadas a las distintos sectores. Se aprecia que la mayor parte de las mejoras en calidad del aire se deben al sector residencial y en segundo lugar al sector transporte, alcanzándose el cumplimiento de la norma anual al final del período de evaluación.

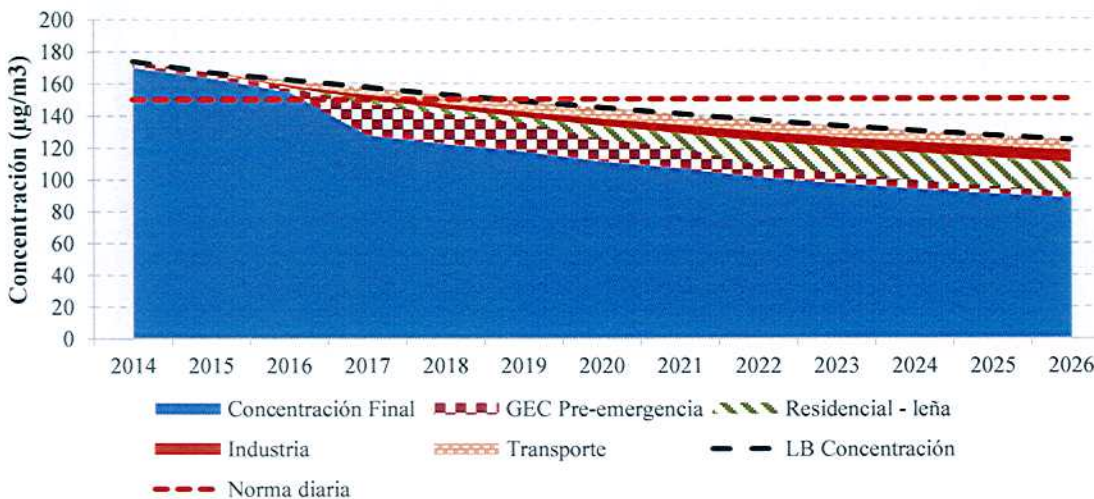
Figura 22: Evolución de concentración anual de  $MP_{2,5}$  para línea base y reducción por medidas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Fuente: Elaboración propia

La Figura 23 muestra la evolución del percentil 98 de  $MP_{2,5}$ , incluyendo la reducción de las medidas de transporte y residenciales de episodios de pre-emergencia<sup>28</sup>. Se observa que la norma de calidad diaria se cumpliría al año 2026.

Figura 23: Evolución de concentración diaria de  $MP_{2,5}$  para línea base y aporte por medidas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



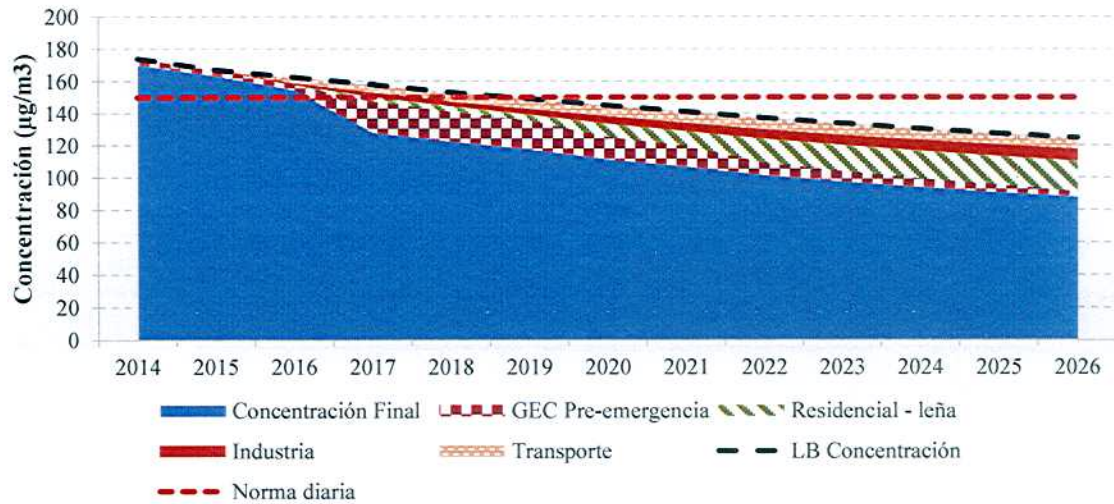
Fuente: Elaboración propia

<sup>28</sup> Medidas incluidas: restricción y prohibición de calefactores de uso residencial que utilicen combustibles sólidos, tales como leña y otros dendroenergéticos.



La Figura 24 muestra la evolución del percentil 98 de la concentración de MP<sub>10</sub>. Esta norma en el caso de la RM resulta ser más laxa que la de material particulado fino, por lo que se cumple con mayor holgura y en un plazo menor.

Figura 24: Evolución de concentración diaria de MP10 para línea base y aporte por medidas (µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: Elaboración propia



### 8.3 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 2026 y para el periodo 2016-2026, debido a la menor concentración esperada de MP<sub>2.5</sub>. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 11.3 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 2.040 para el año 2026, con un total de 11.190 casos evitados entre los años 2016 y 2026.

Tabla 30: Número de casos evitados al año 2026 y durante la vigencia del plan (casos/año)

Evento	Cont.	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	81	[ 54 - 111 ]	547	[ 368 - 747 ]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	1.553	[ 1077 - 2128 ]	10.426	[ 7406 - 14279 ]
	MP10	Todas las causas largo plazo	29	[ 16 - 41 ]	217	[ 124 - 312 ]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	47	[ 39 - 61 ]	363	[ 299 - 472 ]
	MP2.5	Cardiovascular	653	[ 561 - 740 ]	4.544	[ 3941 - 5149 ]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	94	[ -7 - 165 ]	665	[ -19 - 1139 ]
	MP2.5	Neumonía	455	[ 244 - 632 ]	3.017	[ 1617 - 4186 ]
	MP10	Bronquitis	182	[ 21 - 342 ]	1.378	[ 161 - 2595 ]
	MP10	Bronquitis crónica	237	[ 190 - 287 ]	1.615	[ 1302 - 1945 ]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	27.639	[ 18022 - 44473 ]	218.650	[ 142708 - 351923 ]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	259.720	[ 249467 - 280500 ]	2.022.190	[ 1941211 - 2179760 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida	1.158.794	[ 1078023 - 1207486 ]	9.013.836	[ 8386609 - 9382102 ]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	2.188.530	[ 1991477 - 2290678 ]	16.979.996	[ 15495639 - 17805333 ]

Fuente: Elaboración propia

## 8.4 Indicadores Económicos

### 8.4.1 Análisis Costo-Beneficio

La Tabla 31 muestra los beneficios y costos por sector, junto con la razón beneficio costo. Se observa que transporte es el sector que aporta los mayores beneficios, no sólo por reducción de la contaminación, si no que por los ahorros en combustible derivados de las medidas, con lo que alcanza el 53% de los beneficios. Es a su vez el sector con los mayores costos, los que dan cuenta del 78% de los costos del plan.

Tabla 31. Valor presente por grupos de medidas de beneficios, costos, beneficio neto y razón B/C (MMUSD)

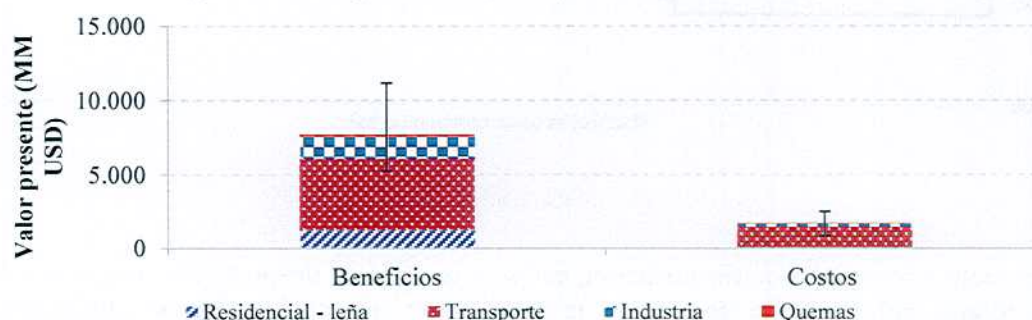
	Beneficios	Costos	B/C	Beneficios	Costos
Residencial - leña	1.238	11	115,2	16,1%	0,64%
Transporte	4.832	1.413	3,4	62,7%	83,84%
Industria	1.536	261	5,9	19,9%	15,49%
Quemas	101	1	168,2	1,3%	0,04%
<b>Total</b>	<b>7.707</b>	<b>1.686</b>	<b>4,6</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF<sup>29</sup>. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.4 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026.

Fuente: Elaboración propia.

El sector residencial es el segundo sector en términos de beneficios, los que alcanzan el 25% del total, mientras que los costos son relativamente bajos, alcanzando menos del 1% de los costos totales.

Figura 25: Costos y beneficios, valor presente en millones de dólares



Notas: (i) Industria incorpora calderas, procesos, agroindustria, maquinaria de construcción y grupos electrógenos. (ii) Las barras de error representan el percentil 5 y 95 de los beneficios en salud, para los costos o ahorros variables (agregados a los beneficios) se estima una desviación del 30%, mientras que para los costos de inversión se estima una desviación del 50%.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>29</sup> MMA (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.

VTA

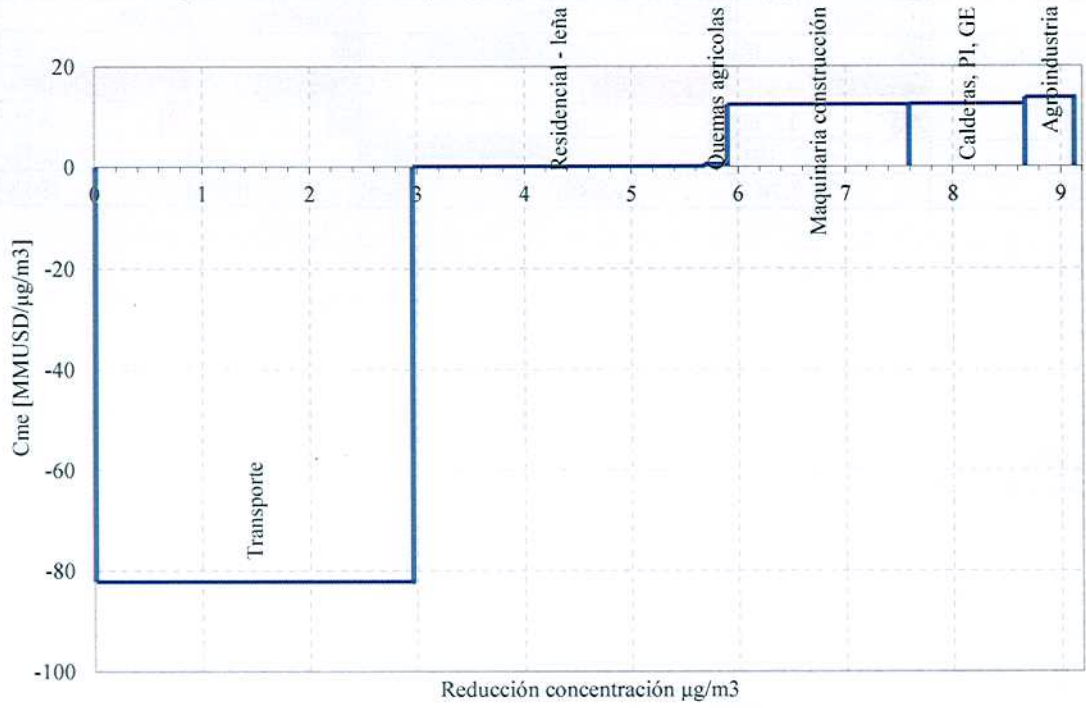
325



La Figura 25 muestra también la distribución de costos y beneficios por sector del plan, en la que gráficamente se observa que los beneficios exceden considerablemente a los costos.

Por otro lado, la Figura 26 muestra el costo medio por unidad de concentración por grupo de medidas y el aporte de estos a la reducción de concentración para el año 2026. El costo medio considera los costos de inversión menos posibles ahorros, pero no los beneficios en salud. Se observa que el costo medio del sector transporte es negativo debido a los importantes ahorros en combustible asociados a las medidas.

Figura 26: Costos medios por grupo de medidas, MMUSD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{MP}_{2.5}$



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los costos de fiscalización, estos se consideran despreciables respecto a los costos totales del plan. De acuerdo a la declaración de servicios<sup>30</sup> que implementan programas de fiscalización para el plan de RM, los costos anuales alcanzan 130 millones de pesos anuales, los que llevados a valor presente alcanzan 1,5 millones de dólares, muy bajos comparados con los costos totales del plan.

<sup>30</sup> CONAF, Salud, SEC.



## 9. Conclusiones

El Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) de la Región Metropolitana (RM) es una propuesta coherente y consistente para avanzar en la descontaminación de la Región Metropolitana. 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 2026.

Actualmente en la RM las concentraciones ambientales de material particulado respirable ( $MP_{10}$ ) y fino ( $MP_{2,5}$ ), superan las normas de calidad primaria diaria y anual en el caso del material particulado. Ello genera importantes costos sociales, económicos y ambientales, donde destaca el impacto sustantivo sobre la salud de las personas.

Las condiciones atmosféricas de la cuenca significan que las fuentes emisoras tienen un impacto significativo con las concentraciones de contaminantes en la región. Más específicamente, de acuerdo a los estudios del Ministerio, el origen de esta situación se debe a una gran variedad de fuentes de diferente índole que aportan tanto MP primario,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{NH}_3$  (precursores de MP) provenientes principalmente de los sectores transporte, industrial y residencial respectivamente. Más específicamente, los sectores con mayores aportes en las concentraciones de material particulado son el sector transporte e industrial que aportan un 33% cada uno.

En relación a la emisión de precursores de generación de  $MP_{2,5}$ , destaca nuevamente el sector transporte con los mayores aportes de  $\text{NO}_x$  (66% aprox.), mientras que el sector industrial se caracteriza por ser el que más aporta en emisiones de  $\text{SO}_x$  (80% aprox.).

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) un grupo de medidas que incentivan el recambio tecnológico y un menor uso en el parque vehicular particular y comercial, (ii) mayores exigencias en los estándares de emisiones en el sector industrial junto con compensación de emisiones, y (iii) la restricción del uso de artefactos a biomasa en la región.

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:

1. Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir las normas anual y diaria de  $MP_{2,5}$  al año 2026, con importantes aportes del sector transporte, residencial e industrial.
2. El conjunto de medidas con mayor reducción de concentración anual de  $MP_{2,5}$  corresponde a las aplicadas al sector industrial (35% de las reducciones), seguido por el



sector transporte (32%) y por el sector residencial (30%). Estos tres sectores aportan con cerca de  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la mejora de calidad del aire. Otras medidas tales como quemas agrícolas aportan en menor medida, pero igualmente son necesarias para lograr la meta del PPDA.

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 consumo de combustible principalmente para el sector transporte. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
4. Los beneficios valorizados se estiman en **USD 7.707 millones**, para un horizonte de evaluación de 11 años atribuibles principalmente al sector transporte (63%).
5. Los costos valorizados se estiman en **USD 1.686 millones**, para un horizonte de evaluación de 11 años atribuibles, al igual que en los beneficios, al sector transporte (84%) e industrial (15.5%). El sector residencial aporta con menos de un 1%, transformándolo en un sector altamente costo-efectivo en la reducción de emisiones.
6. Los beneficios netos en valor presente a 11 años se estiman en **USD 6.022 millones**, con **una razón beneficio-costo de 4,6**.

Lo anterior permite concluir que la implementación del PPDA de la RM es altamente rentable desde el punto de vista social, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes de la región y consecuente con los objetivos de Gobierno en materia de reducción de la contaminación atmosférica.



## 10. 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.

Bradley, N. (2010). Alternative Control Techniques Document: Stationary Diesel Engines.

Calfucura, E. (2006). Análisis Técnico – Económico del Anteproyecto de Norma de Emisión de Material Particulado y Gases para Grupos Electrógenos en la Región Metropolitana. Informe elaborado para CONAMA Región Metropolitana.

CCAC (2014). Time to Act to Reduce Short-lived Climate Pollutants, UNEP.

CDT (2012). Propuesta de Medidas para el Uso Eficiente de la Leña en la Región Metropolitana de Santiago, Preparado para el Gobierno Metropolitano de Santiago.

CMM (2014). Propuesta de Regulaciones para la Reducción del MP2,5, sus Precursores y Contaminantes que Afecten al Cambio Climático, para las Distintas Fuentes Estacionarias de la Región Metropolitana, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente.

Downey, N., C. Emery, et al. (2015). "Emission reductions and urban ozone responses under more stringent US standards." *Atmospheric Environment* **101**: 209-216.

Elshorbany, Y. F., J. Kleffmann, et al. (2009). "Summer photochemical ozone formation in Santiago, Chile." *Atmospheric Environment* **43**(40): 6398-6407.

EMEP/EEA (2013). Air pollutant emission inventory guidebook 2013. **Technical guidance to prepare national emission inventories.**

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."

FUDE (2015). Calidad del Aire en la Macro Zona Central de Chile: Aporte Interregional a las Concentraciones de MP2,5 en la Región Metropolitana, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente.

GAMMA Ingenieros S.A. (2005). Generación de antecedentes técnicos de emisión de grupos electrógenos diesel, caracterización del sector y propuesta normativa. Informe elaborado para CONAMA Región Metropolitana.



Geasur (2014). Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país, ID Licitación 608897-54-LE14.

GEASUR (2015). "Generación de antecedentes para la evaluación técnica-económica a la aplicación de medidas de control para fuentes móviles en PPDA Región Metropolitana."

Klimont, Z. and C. Brink (2004). Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe, International Institute for Applied Systems Analysis.

MDS (2015). Precios Sociales Vigentes 2015, Ministerio de Desarrollo Social. Gobierno de Chile.

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

MMA (2011a). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., Ministerio del Medio Ambiente.

MMA (2011b). 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). 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.

MMA (2013a). 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 (2013b). 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.

POCH Ambiental (2015). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente, licitación ID 608897-48-LE15.

Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). Epidemiology: beyond the basics, Jones & Bartlett Publishers.

US EPA (2004). National Emission Inventory - Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations.



US EPA (2008). Final Ozone NAAQS Regulatory Impact Analysis.

USACH (2014). Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana, Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente, ID Licitación 608897-59-LP13.

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."



## 11. Anexos

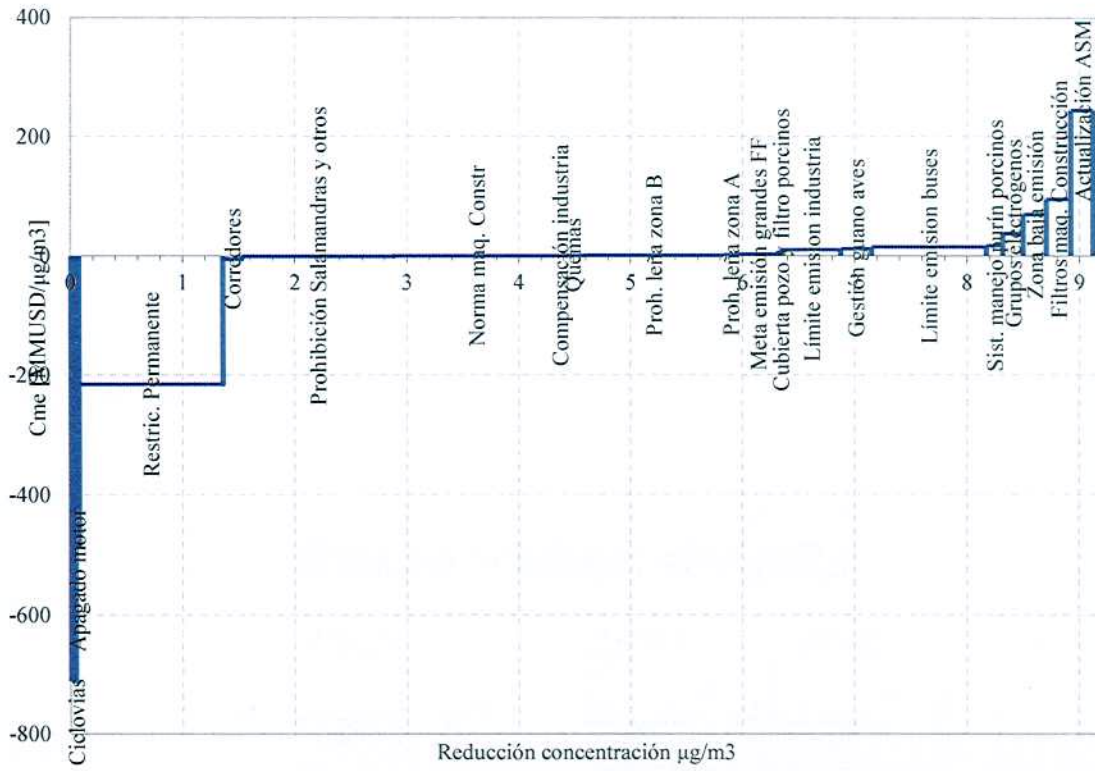
### 11.1 Resultados por medida

Tabla 32: Resultados principales por medida

	Reducción MP2.5 (Δ) Año 2026		Reducción respecto al total		Costos VP MMUSD	Beneficios VP MMUSD	B/C
	Δ Em. [Ton/año ]	Δ Conc. [μg/m3]	% Δ Emisión	% Δ Conc.			
Proh. leña zona B	780	1,24	25,0%	13,6%	3,63	371,14	102,22
Prohibición Salamandras y otros	859	1,36	27,5%	14,9%	3,67	592,02	161,45
Proh. leña zona A	82	0,13	2,6%	1,4%	3,78	275,24	72,73
Límite emisión buses	21	1,02	0,7%	11,2%	87,79	437,09	4,98
Restric. Permanente	213	1,28	6,8%	14,1%	433,68	3207,80	7,40
Actualización ASM	0	0,20	0,0%	2,2%	364,57	291,65	0,80
Zona baja emisión	35	0,20	1,1%	2,2%	116,07	271,92	2,34
Corredores	5	0,17	0,2%	1,8%	350,43	319,46	0,91
Cicloviás	12	0,04	0,4%	0,4%	60,65	199,39	3,29
Apagado motor	2	0,03	0,1%	0,3%	0,75	105,74	141,72
Compensación industria	11	0,02	0,4%	0,2%	0,01	7,00	731,28
Límite emisión industria	74	0,52	2,4%	5,7%	40,13	364,78	9,09
Meta emisión grandes FF	167	0,36	5,3%	4,0%	5,46	196,86	36,05
Grupos electrógenos	26	0,18	0,8%	2,0%	23,57	80,86	3,43
Filtros maq. Construcción	141	0,22	4,5%	2,4%	154,76	167,72	1,08
Norma maq. Constr	581	1,47	18,6%	16,2%	0,24	437,73	1821,60
Sist. manejo purín porcinos	0	0,15	0,0%	1,6%	12,96	78,71	6,07
Cubierta pozo y filtro porcinos	0	0,03	0,0%	0,4%	2,12	22,41	10,57
Gestión guano aves	0	0,28	0,0%	3,0%	22,18	180,33	8,13
Quemas	118	0,21	3,8%	2,3%	0,60	100,71	168,16
<b>Total</b>	<b>3126,0</b>	<b>9,1</b>	<b>100%</b>	<b>1,0</b>	<b>1687,0</b>	<b>7708,6</b>	<b>4,57</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Gráfico de costo medio por medida en millones de dólares por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , año 2026



Fuente: Elaboración propia.

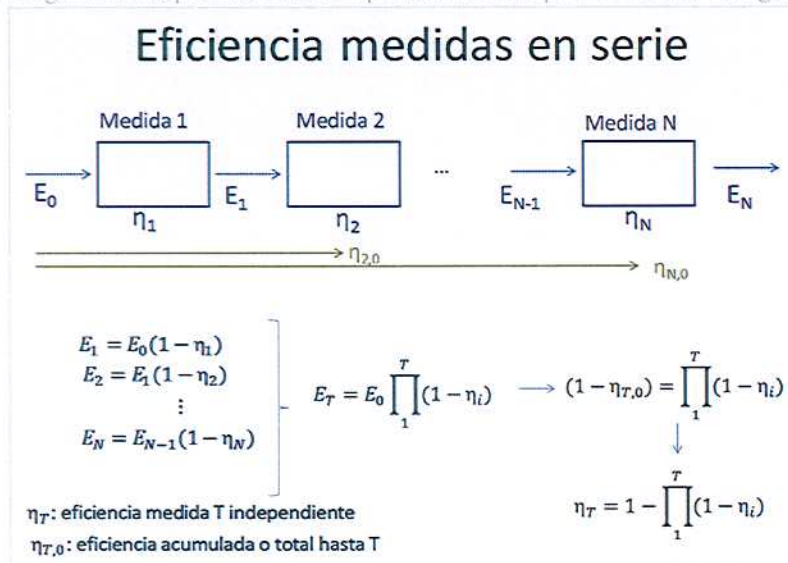
## 11.2 Metodología AGIES

### 11.2.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

Se consideraron los efectos combinados o sinergias que poseen las medidas del PDA, 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 28 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 28: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas,



Fuente: Elaboración propia





### 11.2.2 Factores emisión-concentración MP

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>, NH<sub>3</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 cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso MP<sub>2,5</sub>; se estima como:

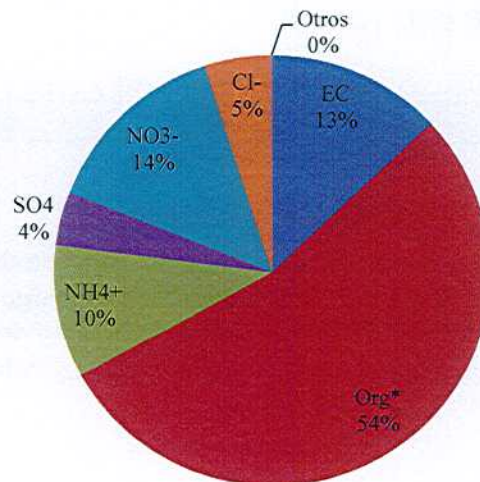
$$\Delta C_{MP2,5} = \sum_i \frac{\Delta E_i}{FEC_i}$$

Donde el subíndice i corresponde a MP<sub>2,5</sub> (primario), NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> y SO<sub>x</sub> (precursores de MP<sub>2,5</sub> secundario).

La metodología para estimar los factores emisión-concentración o FEC considera la caracterización química del material particulado, el inventario de emisiones y la concentración de *background*.

La caracterización química del material particulado utilizada se muestra en la Figura 29, mientras que el inventario de emisiones se presenta en la sección 1.2.

Figura 29: Caracterización química del MP<sub>2,5</sub> año 2011, estación Parque O'Higgins.



Fuente: Elaboración Propia en base a CMM (2014).

Con respecto a la concentración de *Background*, se asume que está representada por el percentil 2 de los datos diarios de concentración. Se utilizan los datos del año 2014 de la estación de monitoreo en condición más crítica, esto es, Cerro Navia (Tabla 33). Adicionalmente, se asume que dicha concentración se reducirá gradualmente debido a la



implementación del Plan de Descontaminación del Valle Central de la VI Región<sup>31</sup> y un futuro plan en la V Región, hasta llegar a una reducción de 37% al año 2026<sup>32</sup>.

Tabla 33: Concentración de MP<sub>2,5</sub> año 2014, estación Cerro Navía.

	Concentración MP <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Estación Cerro Navía
Percentil 2 ( <i>background</i> )	6
Percentil 25	13
Mediana	21
Percentil 75	43
Percentil 98 (Norma diaria)	112
Max	174
Min	2
Media (Promedio anual)	32

Fuente: Elaboración Propia

El FEC debe ser tal que las emisiones de contaminantes *i* y la composición química del MP<sub>2,5</sub> repliquen la concentración medida para el año base:

$$FEC_i = \frac{\text{Contribución contaminante}_i}{\sum_i \text{Emisiones}_i * \text{Contribución contaminante}_i} * (C_{MP2,5} - C_{background})$$

Donde *i* corresponde a las emisiones directas de MP<sub>2,5</sub> y a sus precursores: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> y SO<sub>x</sub>.

Con esto, se obtienen los FEC de la Tabla 34:

Tabla 34: Factores emisión concentración para MP<sub>2,5</sub> anual, ton/ µg/m<sup>3</sup>

MP25	SOX	NOX	NH3
646	10.814	3.090	4.326

Fuente: Elaboración propia

Estos FEC se utilizan para estimar la reducción de concentración y el cumplimiento normativo en la estación de monitoreo más crítica, sin embargo, para el cálculo de los beneficios es relevante la reducción de concentración promedio en la Región, la que es un 15% menor que en Cerro Navía para la norma anual de MP<sub>2,5</sub>. Esto se tiene en cuenta para el cálculo de los beneficios.

<sup>31</sup> Se estima que un 20% de las emisiones de las regiones V y VI llegan a la RM, por lo que tienen un impacto en la concentración basal o de *background* en la misma. Ver estudio FUDE (2015). Calidad del Aire en la Macro Zona Central de Chile: Aporte Interregional a las Concentraciones de MP<sub>2,5</sub> en la Región Metropolitana, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente.

<sup>32</sup> El AGIES del PDA del Valle Central de la VI región estima una reducción de 11,36 µg/m<sup>3</sup> de concentración anual de MP<sub>2,5</sub> equivalente a un 37% de la concentración al inicio del plan.



### 11.2.3 Factores emisión-concentración Ozono

En general no existe una metodología simplificada para la modelación de ozono, ya que la concentración de este contaminante responde a la interacción entre dos contaminantes precursores, compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NOx), que se combinan en la presencia de luz solar. La concentración ambiental de ozono depende además, de variables meteorológicas como temperatura, radiación solar, velocidad del viento y otros, y está limitada por la presencia tanto de COVs como NOx. Se ha estudiado en los EE.UU. que la presencia de ozono no es producto solamente de las emisiones que suceden a nivel local, sino que también está influenciada por el transporte más allá del país (US EPA 2008).

Son diversas las fuentes de emisiones de estos dos contaminantes, y al observar los inventarios de emisiones para la región metropolitana, se aprecia que las principales fuentes de COVs serían las fuentes estacionarias (y principalmente las residenciales), mientras que para NOx las principales fuentes serían móviles. El comportamiento de la concentración ambiental de ozono no es igual al reducir de manera equivalente ambos precursores. De acuerdo al *National Research Council* de los EE.UU. (2008), una reducción en la emisión de NOx puede llevar a una reducción en la concentración de ozono en lugares cercanos a la emisión (cerca de caminos o chimeneas), sin embargo se podría producir un aumento viento abajo (*downwind*). Por otro lado, la relación entre ozono y COVs es más simple, donde en general emisiones más altas de COVs están asociadas a concentraciones ambientales de ozono más elevadas, especialmente en zonas urbanas.

En Chile Elshorbany, Kleffmann et al. (2009) estudiaron la formación fotoquímica del ozono en la época de verano en Santiago. Los autores concluyen que la formación de ozono durante el verano es altamente sensible a la emisión de COVs. Estiman que una reducción del 50% de las concentraciones de COVs puede llegar a generar una reducción de 36% de los valores máximos de ozono, mientras que una reducción del 50% de NOx podría generar un aumento de los valores máximos de ozono de hasta 66%. **De esta manera concluyen que en la zona urbana de Santiago, probablemente la reducción de la emisión de COVs es la estrategia más apropiada para lograr una reducción de ozono.** Sin embargo, destacan que estos resultados son válidos a nivel local y que para realizar conclusiones sobre el impacto regional sería necesario utilizar un modelo de trayectoria fotoquímico. Otros autores han llegado a conclusiones similares. De acuerdo a Rubio et al. (2011), aún con una reducción de emisiones de NOx cercano al 29% durante los fines de semana, la concentración ambiental de ozono se mantendría relativamente estable entre días de semana y fines de semana. Esto último fortalecería la hipótesis que **para lograr reducciones importantes de la concentración ambiental de ozono es necesario enfocar los esfuerzos en reducir emisiones de COVs.**

Tomando en cuenta los documentos y los datos recopilados, se propone la construcción de un factor de emisión-concentración que relacione concentración de ozono con emisiones anuales de COVs. Para construir dicho factor se realizan los siguientes supuestos:



- 1) En zonas urbanas (RM), se asocia más fuertemente emisiones altas de COVs con concentraciones ambientales altas de ozono (Downey, Emery et al. 2015) (US EPA 2008).
- 2) Se supone una relación lineal entre emisiones anuales de COVs y el percentil 99 de los máximos de 8h para el mismo año.
- 3) Considerando las relaciones entre distintas métricas de ozono, se asume una relación proporcional entre una métrica específica (p99 de los máximos de 8h) y otras métricas de concentración de ozono.

De acuerdo a lo anterior, se procede a estimar el factor de emisión concentración para

Tabla 35: Factor de Emisión Concentración de Ozono en la RM

Métrica	unidad	FEC
p99 Max 1h	ppb/ton	0.0337%

Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que la reducción de concentración y por lo tanto el FEC deben estar en la misma métrica que la función de daño seleccionada, en este caso la métrica corresponde al máximo de una hora.

### 11.2.4 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> y Ozono (O<sub>3</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 36 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 36: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

Identificados	Valorizados
↓ Mortalidad prematura (MP, O <sub>3</sub> )	Sí
↓ Morbilidad (MP, O <sub>3</sub> )	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:

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

Dónde:

- $\Delta \text{Efecto}_{pj}$ : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>],
- $\beta_{pj}$ : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>],
- $\Delta C_{pi}$ : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m<sup>3</sup>],
- $P_{ijp}$ : 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>33</sup> la expresión anterior se 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:

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

<sup>33</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.



Dónde:

Beneficio<sub>p</sub>: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP<sub>10</sub>, MP<sub>2,5</sub> y O<sub>3</sub>.

VU<sub>j</sub>: 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 2011a).

### 11.2.5 Cobeneficios en cambio climático

Los contaminantes climáticos de corta vida son agentes que influyen en el calentamiento del clima. Los principales son *black-carbon*, 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 atmosfera, 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 ingles), 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 quemas abiertas de desechos agrícolas.

Las medidas mencionadas están alineadas con las establecidas en los planes de descontaminación de la zona sur del país y también con la actual propuesta de medidas para la Región Metropolitana, implicando por lo tanto cobeneficios en cambio climático que deben tenerse en cuenta como una ventaja adicional de los planes.

### 11.2.6 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>.

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 (MIDEPLAN 2011),

Se considera la inversión anualizada de acuerdo a su vida útil y los costos de operación y mantenimiento, 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 Mantenimiento 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].



### 11.3 Valores unitarios de beneficios

Tabla 37: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2015, 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+
Mortalidad	<i>Largo y corto plazo</i>	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	26	26	26	26	29	29	29	0	0
	<i>Cardiovascular</i>	0	0	0	0	58	58	58	58	58
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0	0	0	0	37	37	37	38	38
	<i>Neumonía</i>	0	0	0	0	0	0	0	41	41
	<i>Bronquitis</i>	26	26	26	26	37	37	37	38	38
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	0	0	0	0	0,9	0,9	0,9	0	0
	<i>Días de actividad restringida</i>	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (MMA 2011b)

### 11.4 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 38 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino,

Tabla 38: 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+
Mortalidad	<i>Respiratoria corto plazo</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0,39%	0,39%	0,39%	0,39%
	<i>Cardiopulmonar largo plazo</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
	<i>Todas las causas largo plazo</i>	0,39%	0%	0%	0%	0%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0%	0%
	<i>Cardiovascular</i>	0%	0%	0%	0%	0,15%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0%	0%	0%	0%	0,24%	0,24%	0,24%	0,12%	0,12%
	<i>Neumonía</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,4%	0,4%
	<i>Bronquitis</i>	0%	0%	0,77%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	<i>Bronquitis crónica</i>	0%	0%	0%	0%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0%	0%	0%	0%	0%
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	0%	0%	0%	0%	0,46%	0,46%	0,46%	0%	0%
	<i>Días de actividad restringida</i>	0%	0%	0%	0%	0,47%	0,47%	0,48%	0%	0%
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0%	0%	0%	0%	0,74%	0,74%	0,74%	0%	0%



Fuente: (MMA 2011b)

Tabla 39: 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 a.	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. Aguda Respiratorias	30+	O3	D1Hour Max	Jerrett et al.	86 urban areas	0,39%	1,32E-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	Dias Laborales Perdidos	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Ostro	Nationwide, USA	0,46%	3,60E-04
Restricción de Actividad	Dias con Actividad Restringida	18-64	MP2.5	D24Hour Mean	Ostro	Nationwide, USA	0,48%	2,90E-04
Restricción de Actividad	Dias 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.



## 11.5 Ficha del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social de la Región Metropolitana de Santiago
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	D.S. N°131/1996, D.S. N°16/1998, D.S. N°59/2003, D.S. N°66/2009 MinSegPres, D.S. N°12/2011 Ministerio del Medio Ambiente.
	Tipo de regulación	Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Diciembre 2015.
	Alcance geográfico	Región Metropolitana de Santiago
	Instrumento nuevo o revisión	Actualización
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos.
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013b)
	Normativas consideradas de línea base	Plan vigente RM
	Nivel de evaluación de beneficios	Sólo se valoró beneficios en salud y ahorros en combustibles.
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 38
	Tasas de incidencia	(MMA 2011b)
	Valor de la vida estadística	15.351 UF 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 <sub>2,5</sub>	(MMA 2011b)
	Reducción de concentraciones por parámetro (Diario)	Año 2026: MP <sub>2,5</sub> : 9,1 [µg/m <sup>3</sup> ].
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2026: MP <sub>2,5</sub> : 3.126 ton/año
Años de evaluación	2016-2026	
Parámetros	Valor del dólar	684.1 pesos/dólar
	Valor de la UF	25.115 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	1.686
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	7.707
	Valor actual neto en MM USD	6.021