



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**ACTUALIZACIÓN PARA PROYECTO DEFINITIVO DEL ANÁLISIS GENERAL DEL
IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y
DESCONTAMINACIÓN DE LA REGIÓN METROPOLITANA**

14 de Septiembre de 2016

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como planes de descontaminación y prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación (D.S. N° 39/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un 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.

El presente informe corresponde a la **actualización para proyecto definitivo** del Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del 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. Los cambios en las medidas evaluadas se indican en el cuerpo del informe.

Los resultados presentados corresponden a las medidas definidas a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, como Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático y/o durante la revisión por parte de la Contraloría General de la República.



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 $MP_{2,5}$ anual y diaria al año 2025 y 2024 respectivamente, con importantes aportes del sector transporte, residencial e industrial (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 7.977 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años¹ atribuibles principalmente al sector transporte (61%) (Figura D).
- Los costos valorizados se estiman en USD 1.013 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años, atribuibles al igual que en los beneficios, al sector transporte (92%) e industrial (7%) (Figura D). El sector residencial aporta tan solo con un 1,3%, transformándolo en un sector altamente costo-efectivo en la reducción de emisiones.
- Los beneficios netos² en valor presente a 10 años se estiman en USD 6.965 millones, con una razón beneficio-costo de 8 (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.

¹ Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 684 CLP / Tipo cambio UF: 25.115 CLP.

² Los beneficios netos corresponden a los beneficios menos los costos.

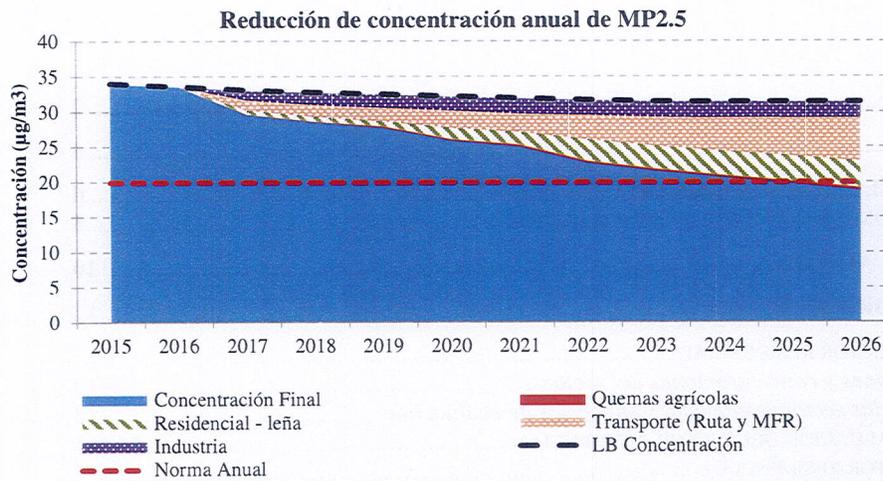


Figura A: Reducción concentración anual MP_{2.5}.

La reducción de la concentración anual para MP_{2.5} alcanza el objetivo propuesto por la norma de 20 µg/m³ para el año 2025. El conjunto de medidas con mayor reducción corresponde a las aplicadas al sector transporte (49%) seguido por el sector residencial (30%). Estos dos sectores aportan con 10 µg/m³ en la mejora de calidad del aire el año 2026. Otras medidas tales como quemadas 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	Sub-Sector	Línea Base 2026		Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	Reducción Total
		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	4,02	1.812	3,8	95%	30%
	Residencial - otras	95	0,79	-	0,0	0%	0%
Transporte	Transporte	467	6,47	103	3,0	47%	24%
	Maquinaria fuera de	1.630	6,47	827	3,1	48%	25%
Industria	Industria	982	4,83	274	2,0	41%	16%
	Agroindustria	0	4,43	-	0,3	7%	3%
Quemadas	Quemadas agrícolas	118	0,28	118	0,3	100%	2%
	Evaporativas	0	0,00	-	0,0		0%
Otros	Otras	157	0,36	-	0,0		0%
	Background	0	3,78	-	0,0		0%
Total	Total	5.322	31	3.133	12,5		100%

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 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 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	2.237	[1.544 – 3.066]	12.413	[8741 - 17006]
Admisiones hospitalarias	2.205	[1.397 – 2.929]	12.578	[7988 - 16738]
Visitas Salas de Emergencia	37.930	[24.732 – 61.033]	241.404	[157564 - 388508]
Productividad perdida	4.950.160	[4.554.814 – 5.185.685]	31.027.976	[28.589.249 – 32.519.349]

Figura C: Casos evitados al año 2026 y totalidad el Plan (2017-2026)

Número de casos evitados en el año 2026, y para todo el período de implementación del plan (2017-2026), atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 90%.

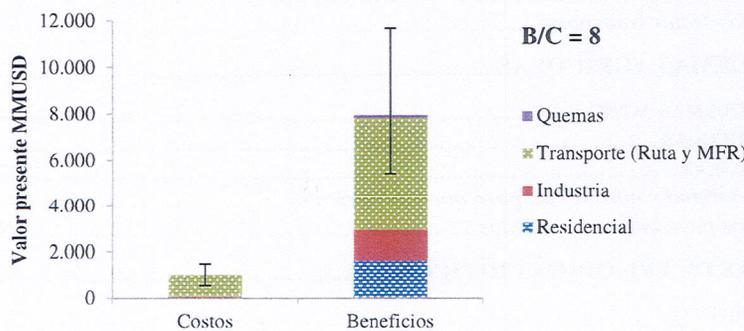


Figura D: Beneficios y Costos del Plan

Los beneficios estimados (7.977 MMUSD) del PPDA son muy superiores a los costos estimados (1.013 MMUSD), con un beneficio neto de 6.965 MMUSD y una razón beneficio-costo de 8.

El sector transporte es el de mayor aporte en los beneficios producto de que dichas medidas tienen un impacto importante en la reducción de consumo de combustible.

* diferencia entre los beneficios y costos

** división entre beneficios y costos

VTA



ÍNDICE

RESUMEN	2
1. ANTECEDENTES	6
1.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	6
1.2 INVENTARIO DE EMISIONES Y CONCENTRACIÓN POR SECTOR.....	8
2. METODOLOGÍA DEL AGIES	10
3. EVALUACIÓN SECTOR RESIDENCIAL	12
3.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	12
3.1.1 <i>Aporte de emisiones y concentraciones del sector</i>	12
3.1.2 <i>Medidas evaluadas sector residencial y supuestos de evaluación</i>	14
3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL SECTOR RESIDENCIAL	15
3.3 RESULTADOS DEL SECTOR RESIDENCIAL.....	17
3.3.1 <i>Reducción de emisiones y de concentraciones sector residencial</i>	17
3.3.2 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad del sector residencial</i>	19
3.3.3 <i>Indicadores económicos sector residencial</i>	20
4. EVALUACIÓN SECTOR INDUSTRIAL	21
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>Medidas evaluadas sector industrial</i>	23
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
4.3 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>	31
4.3.3 <i>Indicadores económicos sector industrial</i>	32
5. EVALUACIÓN SECTOR FUENTES MÓVILES Y CAMBIO MODAL	34
5.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR TRANSPORTE	34
5.1.1 <i>Aporte de emisiones y concentraciones del sector transporte en ruta</i>	34
5.1.2 <i>Antecedentes maquinaria fuera de ruta</i>	37
5.1.3 <i>Medidas evaluadas sector transporte</i>	38
5.2 METODOLOGÍA EVALUACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE.....	40
5.3 RESULTADOS SECTOR TRANSPORTE	42
5.3.1 <i>Reducción de emisiones y de concentraciones sector transporte</i>	42
5.3.2 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad para el sector transporte</i>	44
5.3.3 <i>Indicadores económicos sector transporte</i>	45
6. EVALUACIÓN SECTOR QUEMAS AGRÍCOLAS	47
6.1 ANTECEDENTES Y MEDIDAS QUEMAS AGRÍCOLAS.....	47
6.2 METODOLOGÍA QUEMAS AGRÍCOLAS	47
6.3 RESULTADOS QUEMAS AGRÍCOLAS	48
6.3.1 <i>Casos evitados de mortalidad y morbilidad para quemas agrícolas</i>	48
6.3.2 <i>Indicadores económicos para quemas agrícolas</i>	49
7. EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE EPISODIOS CRÍTICOS	51
7.1 ANTECEDENTES EPISODIOS CRÍTICOS	51
7.2 MEDIDAS PLAN OPERACIONAL DE EPISODIOS CRÍTICOS.....	52
8. RESULTADOS AGREGADOS	54



- 8.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES 54
- 8.2 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE..... 55
 - 8.2.1 Cumplimiento normas de calidad..... 55
- 8.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS..... 57
- 8.4 INDICADORES ECONÓMICOS 58
 - 8.4.1 Análisis Costo-Beneficio..... 58
- 9. CONCLUSIONES..... 61**
- 10. REFERENCIAS 63**
- 11. ANEXOS..... 66**
 - 11.1 RESULTADOS POR MEDIDA 66
 - 11.2 METODOLOGÍA AGIES 68
 - 11.2.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones..... 68
 - 11.2.2 Equivalencia entre contaminantes..... 69
 - 11.2.3 Factores emisión concentración MP..... 72
 - 11.2.4 Factores emisión-concentración Ozono 73
 - 11.2.5 Beneficios en salud..... 75
 - 11.2.6 Cobeneficios en cambio climático 77
 - 11.2.7 Evaluación de costos 77
 - 11.3 FACTORES DE EMISIÓN SECTOR RESIDENCIAL 79
 - 11.4 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS 80
 - 11.5 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO..... 80
 - 11.6 FICHA DEL AGIES 82

1. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 67 de 2014 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada³ por material particulado Fino⁴ (MP_{2,5}), como concentración diaria (24 horas), a la Región Metropolitana.

Anteriormente la Región fue declarada Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP₁₀, 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 Atmosférico⁵. 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 km², 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 año⁶.

1.1 Concentración de Material Particulado

La Figura 1 y Figura 2 presentan los datos de concentración para MP_{2,5} y MP₁₀ monitoreados el año 2015 en la estaciones de la Región Metropolitana, tanto en su métrica diaria (percentil 98) como anual (promedio anual).

En el caso del MP_{2,5} se observan superaciones de las normas anuales y diarias en todas las estaciones de monitoreo, siendo el caso de MP₁₀ (Figura 2) es muy similar, donde la mayoría de las estaciones tienen superaciones de norma diaria y anual.

Las concentraciones de referencia para el análisis de cumplimiento de normativo sin embargo considera en promedio trianual de la estación más crítica, según señala el proyecto definitivo del PDA.

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

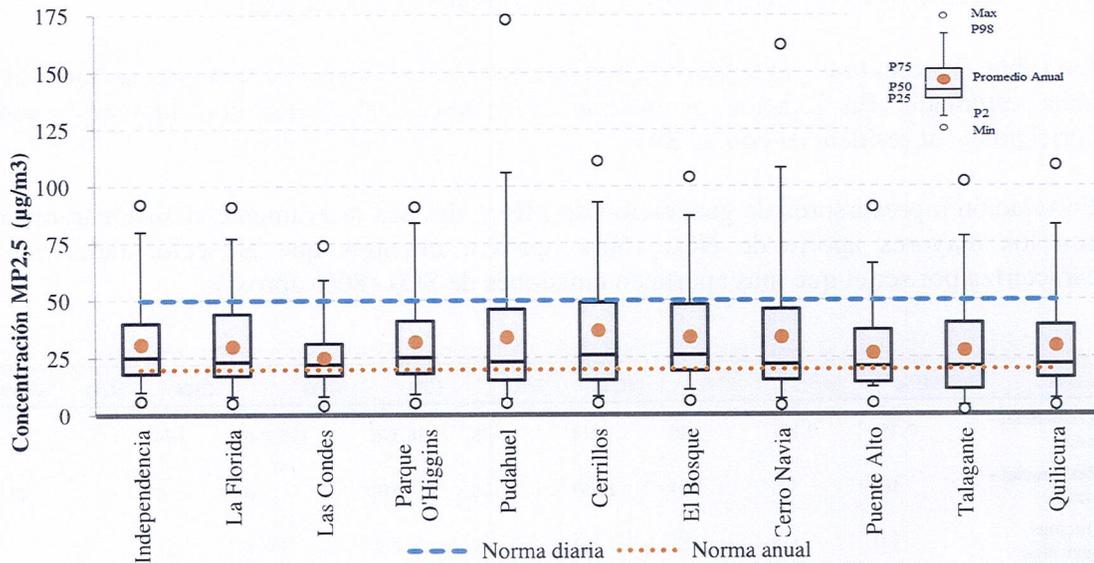
⁴ La normativa para MP_{2,5} corresponde al D.S. 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece una concentración anual máxima permitida de 20 mg/m³N y una concentración diaria de 50 mg/m³N.

⁵ 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.

⁶ Proyecciones Censo 2002.

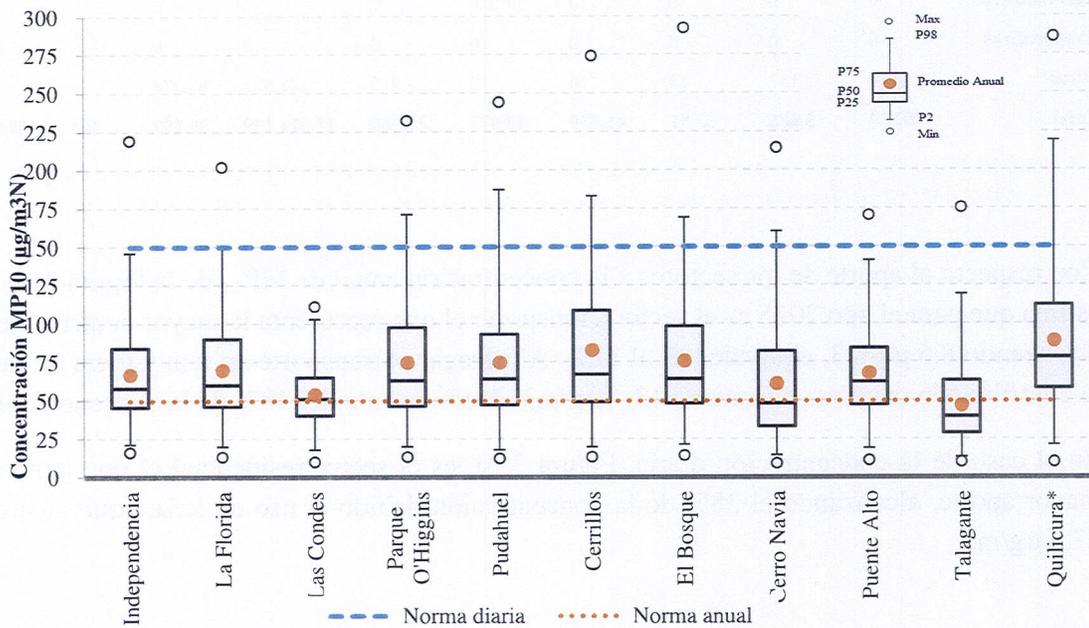


Figura 1: Concentración de $MP_{2,5}$ año 2015. Comparación con normativas diaria y anual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Concentración de MP_{10} año 2015. Comparación con normativas diaria y anual.



Fuente: Elaboración propia. (*) Valores provisionales para estación Quilicura.

VTA



1.2 Inventario de emisiones y concentración por sector

La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones calculado para los distintos sectores de la zona estudiada. En relación al material particulado, el sector con mayores aportes corresponde al residencial con un 39%.

En relación a precursores de generación de $MP_{2.5}$, destaca nuevamente el sector transporte con los mayores aporte de NO_x (60% 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 [ton/año]. Año 2015

Sector	MP ₁₀	MP _{2,5}	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Residencial - leña	2.251	2.191	36	214	178	36.376	256.750	674	9	9.977
Residencial - otras	100	95	294	1.563	10	410	0	0	0	43.176
Quemas agrícolas	131	118	28	81	1	731	5.901	11	0	0
Industria	911	874	1.994	4.895	0	598	0	0	0	23
Transporte	1.109	1.109	91	24.954	548	93.566	9.654.421	376	307	10.495
Maquinaria fuera de ruta	1.178	1.143	35	9.781	3	8.964	1.151.596	68	48	1.677
Agroindustria	0	0	0	0	17.210	0	0	0	0	0
Evaporativas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.424
Otras*	174	157	13	70	23	1.915	242.571	88.071	0	15.029
Total	5.854	5.686	2.491	41.559	17.973	142.560	11.311.239	89.199	363	108.801

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (2014), CMM (2014), GEASUR (2015b), POCH Ambiental (2015). (*) Otras: Incendios forestales, emisiones biogénicas, rellenos sanitarios y tratamiento de aguas.

Con respecto al aporte de los sectores a la concentración anual de $MP_{2.5}$ de la Figura 3 a), se estima que para el año 2015 es el sector Transporte el que representa la mayor contribución, alcanzando $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalentes al 31%. Al agregar el transporte en ruta y fuera de ruta, la contribución conjunta alcanzaría $13,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dando cuenta del 48% de la concentración.

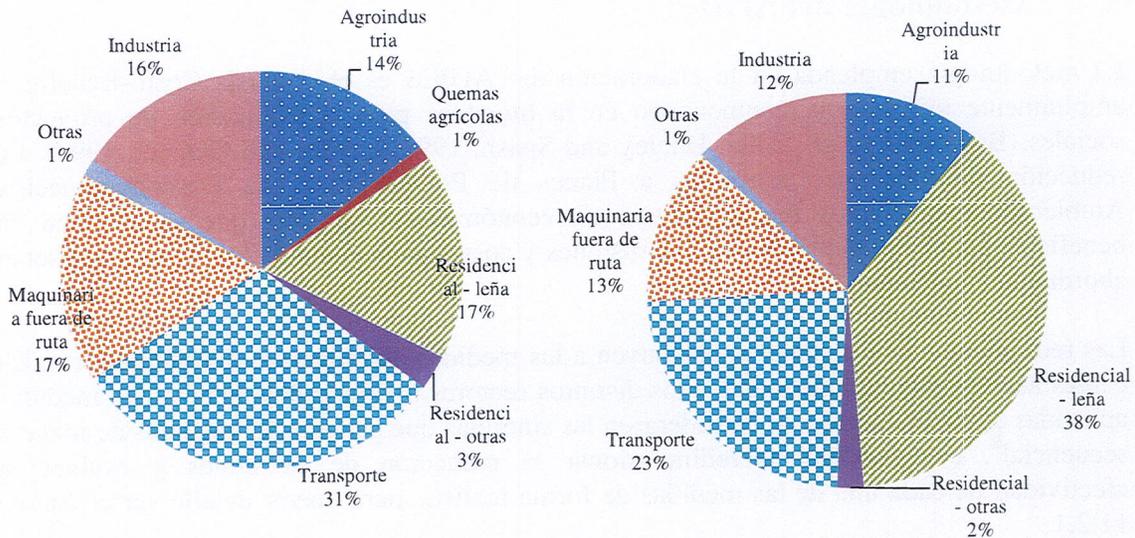
En el caso de la concentración diaria, Figura 3 b), es el sector residencial el que tiene un mayor aporte, alcanzando el 38% de la concentración debido al uso de leña, equivalente a $27,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figura 3: Aporte a la concentración de MP_{2,5} según sector del inventario. año 2015.

a) Concentración **anual** de MP_{2,5}

b) Concentración **diaria** de MP_{2,5}



Nota: Gráfico excluye concentración de *background*. Concentración representada de 28,1 µg/m³ en el caso anual y de 71,9 en el caso diario, sobre las que se calculan los porcentajes.

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 continuación⁷.

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 secuencial⁸, 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 epidemiológicos⁹ 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 4).

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_{2.5} producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida. 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.

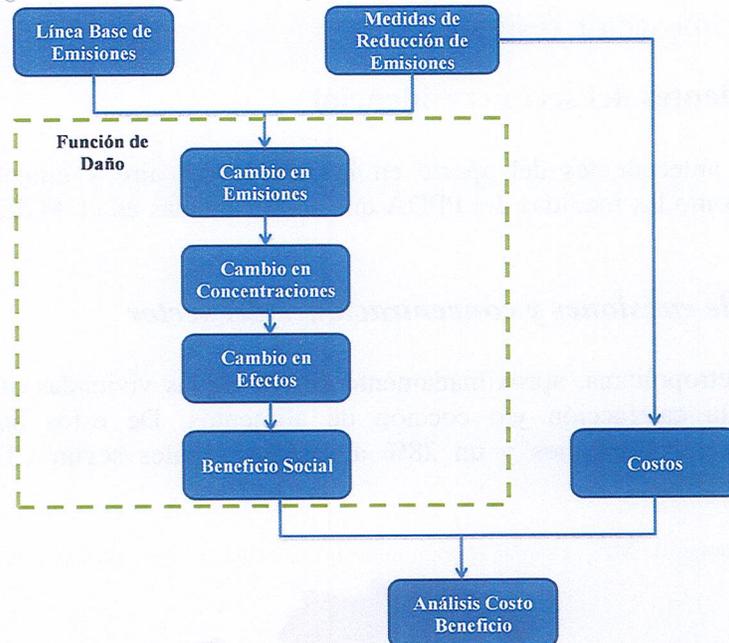
Se incorpora un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar diferenciadamente los sectores que perciben los beneficios y costos de la regulación como un dato más que aporta a los impactos de la implementación del PPDA.

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

⁸ 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 $1 - (1-0,7) \cdot (1-0,8) = 0,94$.

⁹ 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 4. 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*¹⁰. 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 expuesta¹¹, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras¹².

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.

¹⁰ 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.

¹¹ En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP₁₀ y MP_{2,5}, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

¹² 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

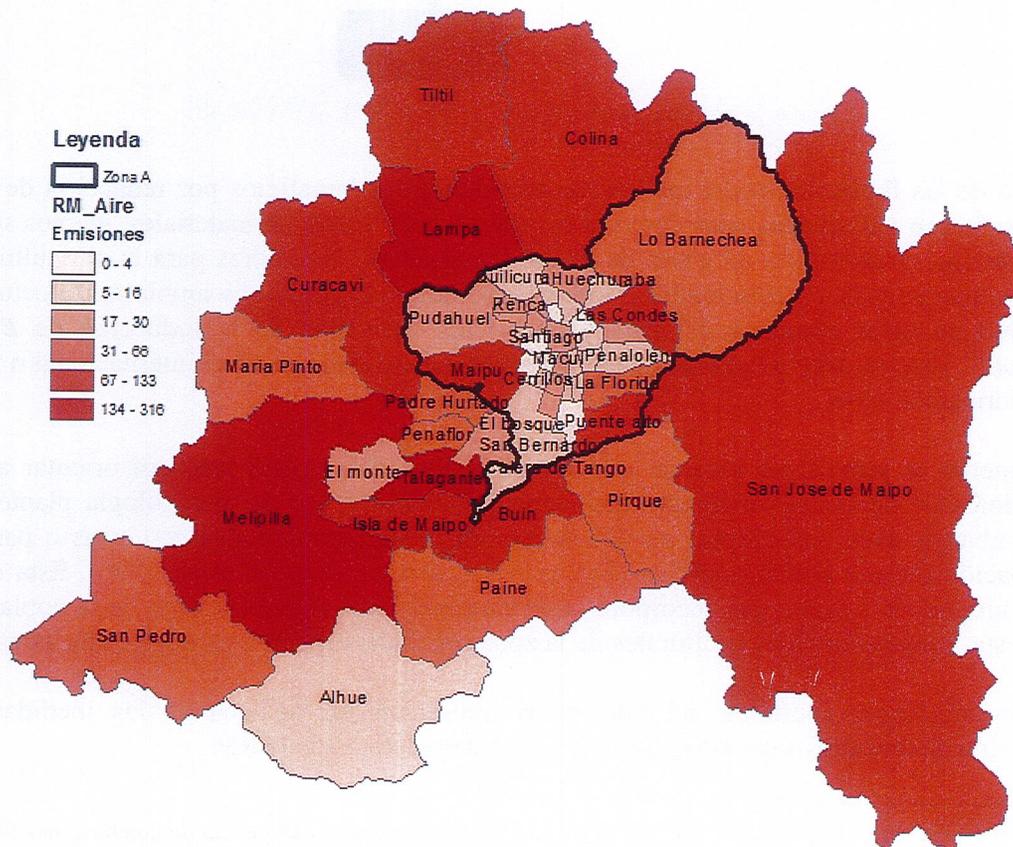
3.1 Antecedentes del sector residencial

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



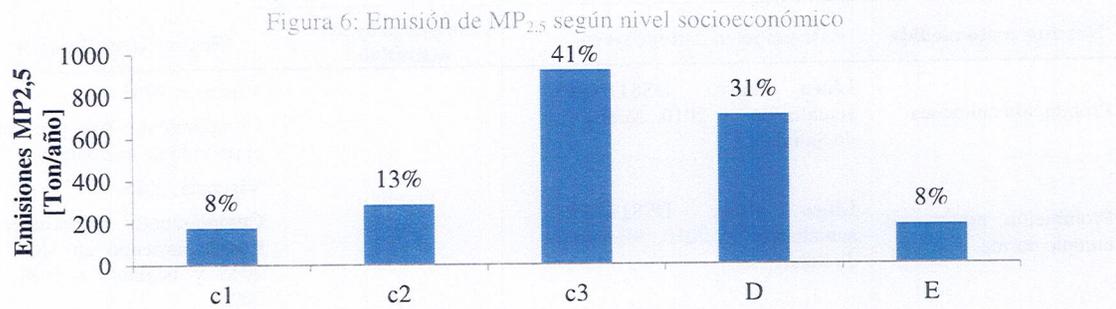
Nota: Zona A corresponde a las 32 comunas de la provincia de Santiago y las comunas de Puente Alto y San Bernardo. Zona B corresponde a las comunas restantes de la RM.

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 5 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 6 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 2015, ton/año.

	MP10	MP25	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Combustión GLP, GN, gas de ciudad, parafina	100	95	294	1.563	10	410				
Solventes, pinturas y fugas GLP										43.176
Combustión Leña	2.251	2.191	36	214	178	36.376	256.750	674	9	9.977
Total	2.351	2.286	330	1.777	188	36.786	256.750	674	9	53.153

Nota: A pesar de que la leña tiene emisiones directas de CO₂, 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 (CDT 2012).

El aporte a la concentración de MP_{2,5} por combustión de leña alcanzaría el 17% de la concentración anual y el 38% de la concentración de invierno de MP_{2,5}, mientras que las demás emisiones del sector aportan entre un 3 y 2% de la concentración.



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 Anteproyecto	Cambios proyecto definitivo	Supuestos evaluación
Prohibición chimenea	Línea base. DS811/1993, actualizado en 2010, Ministerio de Salud.		Vigencia: 1993 Cumplimiento: 80% para todo el periodo de evaluación.
Prohibición urbana no cumple norma	Línea base. 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.	Ahora no tiene exclusión de comunas.	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, excepto las comunas de Alhué, Maria Pinto y San Pedro.	Ahora no tiene exclusión de comunas.	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	Condiciona a las condiciones de calidad del aire. se prohíbe la utilización de calefactores y cocinas a leña en las viviendas nuevas y existentes en las comunas fuera del Gran Santiago, excluyendo las comunas de Alhué, Maria Pinto y San Pedro.	Se prohíbe el uso de calefactores nuevos que no cumplan norma. Se evalúa la prohibición dado que sin incluir esta medida no se cumpliría la meta de concentración diaria.	Vigencia: 2022 Cumplimiento: 50% en 2022, 60% en 2023, 70% en 2024, 80% en 2025 y 95% en 2026.

Fuente: Elaboración propia.

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, 40% kerosene, 48% a gas y 2% eléctricos¹³, proporción similar a la actual distribución de combustibles para calefacción en la región metropolitana.

¹³ En etapa de anteproyecto el supuesto de equipos de reemplazo correspondía a 10% a pellets, 30% kerosene, 50% a gas y 10% eléctricos.

- 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 8 años¹⁴. 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 ³
Gas Licuado	876	CLP/kg
Electricidad	95	CLP/kWh
Pellet	236	CLP/kg

- Factores de emisión en mg/MJ se detallan en la sección 0 de anexos.
- Se asume un crecimiento anual del parque de calefactores de 1,06%, según proyecciones del estudio (CMM 2014).

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]

η_i : Eficiencia de calefacción del equipo tecnología i

¹⁴ De acuerdo a observación recibida en la consulta pública, se modifica el supuesto de vida útil desde 10 a 8 años.

FE_i : Factor de emisión equipo tecnología i, [gr/kg]

Demanda de calor: Demanda de calor de la vivienda j [MJ/vivienda-año]

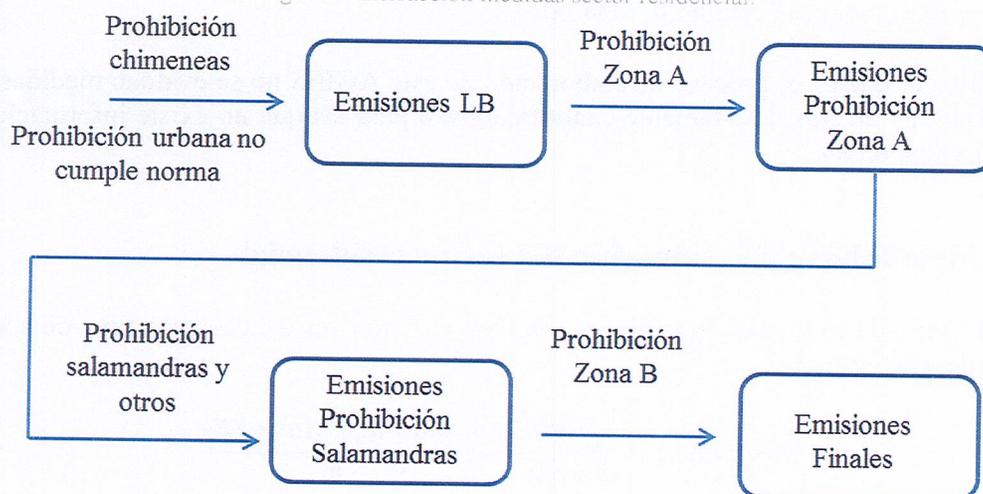
PC_j : Poder calorífico del combustible utilizado por tecnología j [MJ/kg]

La reducción de emisiones¹⁵ 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.

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 DS811/1993¹⁶, 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 7 muestra la metodología descrita que se implementa con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones en el sector.

Figura 7: 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

¹⁵ O emisiones evitadas dado que son las emisiones que no se emitirán en el escenario con Plan.

¹⁶ Disponible en <http://bcn.cl/1ozlz>



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

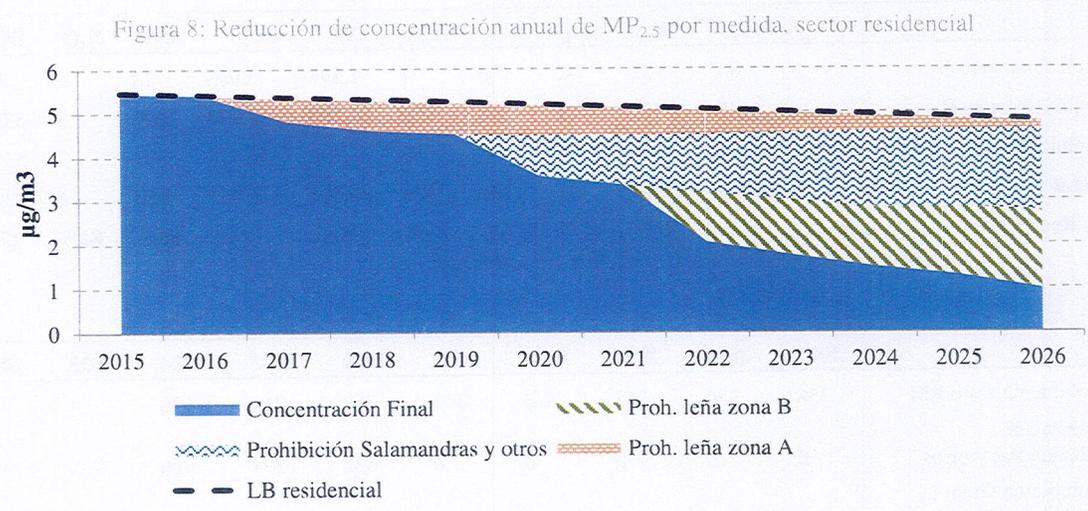
La metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de MP₁₀, MP_{2,5} y O₃ se detalla en el capítulo 11.2.5 de anexos.

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 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 8 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

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

Medida	Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	
	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [µg/m ³]	% Δ Emisión	% Δ Conc.
Proh. leña zona A	82	0,17	4,5%	4,5%
Proh. leña zona B	837	1,76	46,2%	46,2%
Prohibición Salamandras y otros	894	1,88	49,3%	49,3%
Total	1.812	3,81	100 %	100 %

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.

Se observa en la Figura 8 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_{2.5} del sector sería de 3,81 µg/m³, y el aporte a la concentración total del sector sería de 1 µg/m³.

En la Tabla 5 se presenta la reducción de emisiones por contaminante de las medidas evaluadas, al año 2026 y la Tabla 7 indica las reducciones de M_{2.5} por año y por medida.

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

	MP ₁₀	MP _{2.5}	SO _x	NO _x	NH ₃	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	COV
Proh. leña zona A	84	82	-2	6	7	1.597	5.962	28	0	288
Proh. leña zona B	858	837	-13	56	72	17.608	59.923	267	3	3.018
Prohibición Salamandras y otros	921	894	-8	46	56	7.406	50.926	209	3	5.732
Total	1.863	1.812	-22	108	135	26.611	116.811	503	6	9.039
% Reducción respecto a sector	92%	92%	-7%	6%	83%	90%	47%	86%	82%	17%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Reducción de emisiones de MP_{2.5} [Ton/año] por medida y año.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Prohibición resto RM	258	330	342	324	302	259	215	170	124	82
Prohibición Salamandras y otros	0	0	0	0	0	535	594	636	734	837
Prohibición Gran Santiago	0	0	0	450	541	637	734	833	841	894
Total	258	330	342	775	843	1.430	1.543	1.639	1.699	1.812

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Casos evitados de mortalidad y morbilidad del sector residencial

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 11.2.5. La Tabla 7 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2017 a 2026.

Tabla 7: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Cont.	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	59	[39 - 81]	307	[207 - 422]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	649	[450 - 889]	3.404	[2.405 – 4.662]
	MP10	Todas las causas largo plazo	10	[6 - 15]	60	[35 - 86]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	20	[16 - 26]	115	[95 - 151]
	MP2.5	Cardiovascular	273	[235 - 309]	1.472	[1.275 – 1.666]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	39	[-3 - 69]	214	[-9 - 368]
	MP2.5	Neumonía	190	[102 - 264]	987	[529 - 1373]
	MP10	Bronquitis	65	[8 - 123]	381	[44 - 719]
	MP10	Bronquitis crónica	85	[68 - 103]	457	[367 - 550]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	11.549	[7.530 – 18.583]	68.640	[44.807 – 110.459]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	108.522	[104.238 – 117.205]	637.893	[612.474 – 688.040]
	MP2.5	Días de actividad restringida	484.195	[450.445 – 504.541]	2.844.053	[2.645.954 – 2.961.265]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	914.464	[832.126 – 957.146]	5.362.662	[4.888.535 – 5.619.182]

Fuente: Elaboración propia



3.3.3 Indicadores económicos sector residencial

La Tabla 8 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 8: 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	2	5	325	2
Proh. leña zona B	4	3	6	466	2
Prohibición Salamandras y otros	5	8	9	682	3
Total	13	14	20	1.473	8
Distribución	100%	100%	1,3%	98%	0,5%
Total	13	14	1.500		

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] UF¹⁷. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.5 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\$ 1.500 millones de dólares, mientras que los costos de inversión alcanzarían los 13 millones de dólares.

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 recibirá 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 11.2.6 de anexos) que no han sido cuantificados.

¹⁷ 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.

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.

Cabe mencionar que el subsector de maquinaria fuera de ruta se traslada al capítulo 5 del presente informe.

4.1 Antecedentes sector industrial

Las emisiones en toneladas/año del sector industrial distribuidas según el tipo de fuente se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: Inventario emisiones del sector industrial de la Región Metropolitana, año 2015, ton/año.

Fuente	MP10	MP2,5	NOX	SOX	COV	CO	NH3
Calderas, procesos, grupos electrógenos	911	874	4.895	1.994	23	598	-
Agroindustria	-	-	-	-	-	-	17.220
Total	911	874	4.895	1.994	23	598	17.220

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

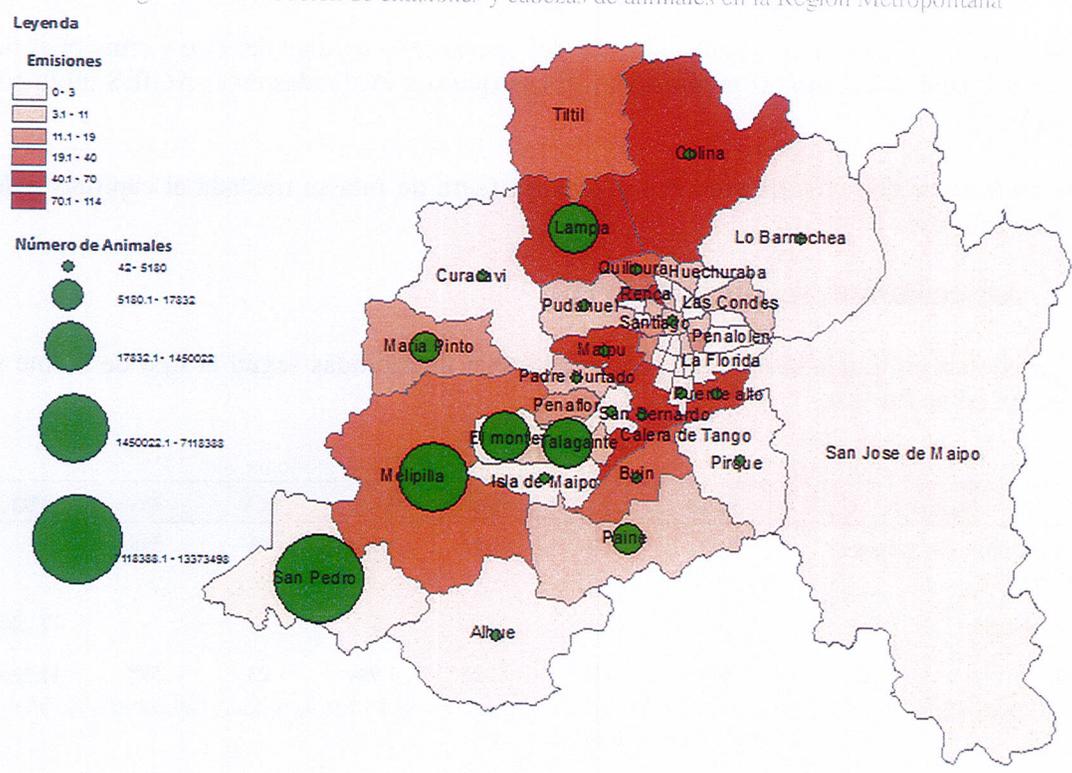
La Figura 9 presenta la distribución de las emisiones de MP_{2,5} del sector industrial y la distribución de las cabezas¹⁸ de animales a través de las comunas de la Región Metropolitana.

¹⁸ Corresponde al número de cabezas de Bovinos productoras de leche y carne, Cerdos y planteles de Aves productoras de huevos y carne.

VTA



Figura 9: 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 región¹⁹, 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 911 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 panaderos²⁰.

¹⁹ Información declarada según RES 15.027/1994, para el año 2014, Ministerio de Salud.

²⁰ 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 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 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 Medidas evaluadas sector industrial

En la Tabla 10 se presentan las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del sector industrial.

Tabla 10: Resumen de medidas evaluadas sector industrial

Sub sector	Nombre corto medida	Descripción Anteproyecto	Cambios proyecto definitivo	Supuestos evaluación
Calderas y Procesos	Límite de emisión MP.	Límites de concentración en $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$. Para calderas según potencia, diferenciando fuentes nuevas de existentes. Línea base. Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud.	Se diferencian los límites para Calderas, Procesos y Hornos panaderos (no evaluados).	Costos medio por tonelada reducida para $\text{MP}_{2.5}$ de 220 USD/Ton
Calderas y Procesos	Límite de emisión SO_x .	Límites de emisión de SO_2 en ng/J , de acuerdo a potencia. Línea base. Emisiones calculadas según Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud	Se diferencia límites según calderas y procesos con combustión.	Costo medio por tonelada reducida para SO_x de 2,898 USD/Ton
Calderas y Procesos	Límite de emisión NO_x .	Límite de concentración de NO_x en ppm. Línea base. Emisiones calculadas según Base de datos RES 15.027/1994, actualizado al 2014, Ministerio de Salud	Se modifican límites según potencia.	Costo medio por tonelada reducida para NO_x de 1,618 USD/Ton
Calderas y Procesos	Meta de reducción de grandes emisores.	Las emisiones de material particulado del sector industrial del inventario de emisiones, deberán reducirse en un 30% Línea base. Grandes Emisores establecidos según Base de datos RES 15.027/1994,		Costos medio por tonelada reducida para $\text{MP}_{2.5}$ de 220 USD/Ton. Considera central

V7A



Calderas y Procesos	Compensaciones de emisiones en el marco del SEIA.	actualizado al 2014, Ministerio de Salud Compensación de 150% para calderas nuevas que emitan por sobre 1 tonelada. Línea base. Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del Ministerio de Salud.		eléctrica N. Renca. Compensación de 150% para calderas nuevas que emitan por sobre 1 tonelada.
Grupos Electrógenos	Límites de Emisión	Límites de emisión para grupos electrógenos nuevos y existentes. Línea Base: Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del MINSAL.	Límite de emisión para grupos electrógenos nuevos separado en dos etapas. Se elimina límite para existentes.	Vigencia: 2019 (primera etapa). Costos por NOx y MP según rangos de potencia.
Agroindustria	Sistema de remoción de amoníaco porcinos	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.	Se evalúa como sistema de remoción de amoníaco el Biodigestor + Tratamiento aerobio con generación de energía ²¹	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.	Se agrega "condición para planteles existentes (3.000 animales < 25 kg o 750 animales > 25 kg) y nuevos (SEIA)". Se ajusta evaluación ²²	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.	Se agrega especificación de 15 días para el retiro de guano de aves. Se evalúa para aves de corral el retiro automático.	Vigencia: 2017 POCH Ambiental (2015)

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.

²¹ Se identificaron 10 planteles porcinos existentes con un número mayor o igual a 10.000 animales correspondiente a crianza y/o reproductora. Para identificarlos, se exceptuaron aquellos planteles que poseen método de crianza de camas calientes (sistema seco de manejo) y sistemas de tratamiento de purines aerobios y/o biodigestores. El número total de animales asciende a 228.502 (217.438 crianza y 11.064 reproductora).

²² De los 72 planteles porcinos identificados por POCH, se tiene que 46 de ellos corresponden a Agrícola Super Ltda. y ya poseen cubiertas implementadas; 3 poseen sistemas de camas calientes y 1 posee 476 animales (reproductora), por lo que se excluyen de la medida. Por tanto, existen 20 planteles que podrían implementar la cubierta, cuyo número de animales, en conjunto, asciende a 328.862.

- La emisión para MP_{2,5} 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 NO_x 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 SO_x y NO_x han sido estimados mediante factores de emisión SO_x y NO_x²³.
- Un “Gran emisor” es cuando i) una sola caldera sobrepasa la emisión en toneladas año de 2,5 para MP y/o 20 para NO_x y/o 10 para SO_x, 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 NO_x y/o 10 para SO_x.
- 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).

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 MP₁₀, MP_{2,5} y O₃ para todos los sectores se detalla en la sección 11.2.5 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.

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 EPA²⁴ para NO_x y SO_x. Calderas de calefacción y calderas industriales poseen factores de emisión

²³ Estos datos se encuentran en revisión.

²⁴ <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

V7A

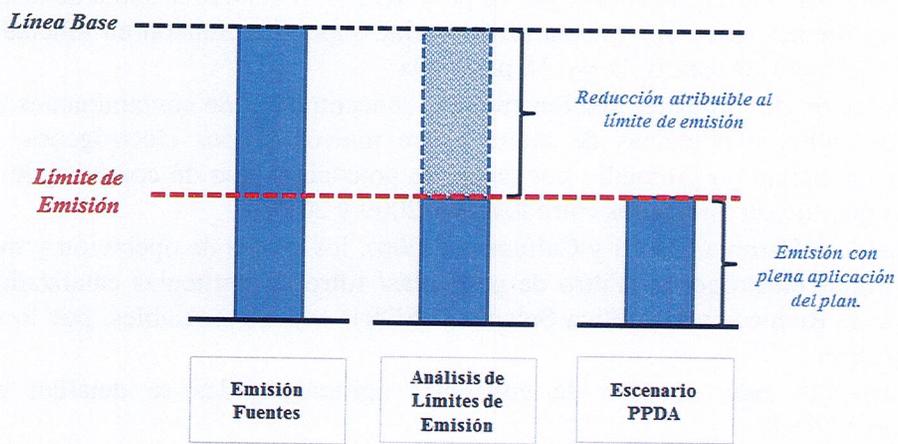


propios de cada fuente para los procesos y grupos electrógenos. Las fuentes presentes en esta base de datos serán las consideradas como el parque de calderas existente.

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 10.

Figura 10: 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)

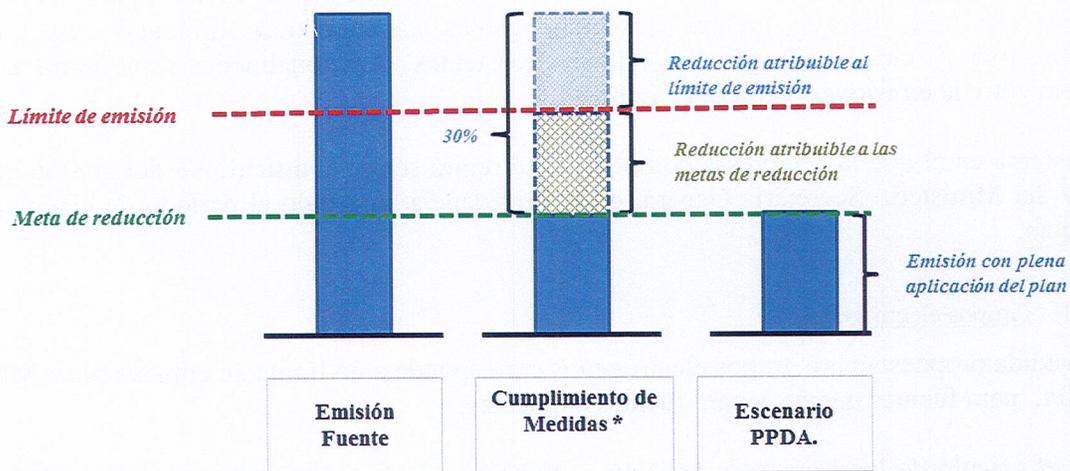
La medida de Metas de reducción para grandes emisores, tiene una estrecha relación con la medida de límites de emisión para MP, NOx y SOx, puesto que si un mayor emisor debe reducir emisiones por el cumplimiento de límites de emisión para sus fuentes, esta reducción será considerada como parte de la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

La Figura 11 y la Figura 12 presentan dos escenarios de ocurrencia para la evaluación de la medida de meta de reducción de grandes emisores.



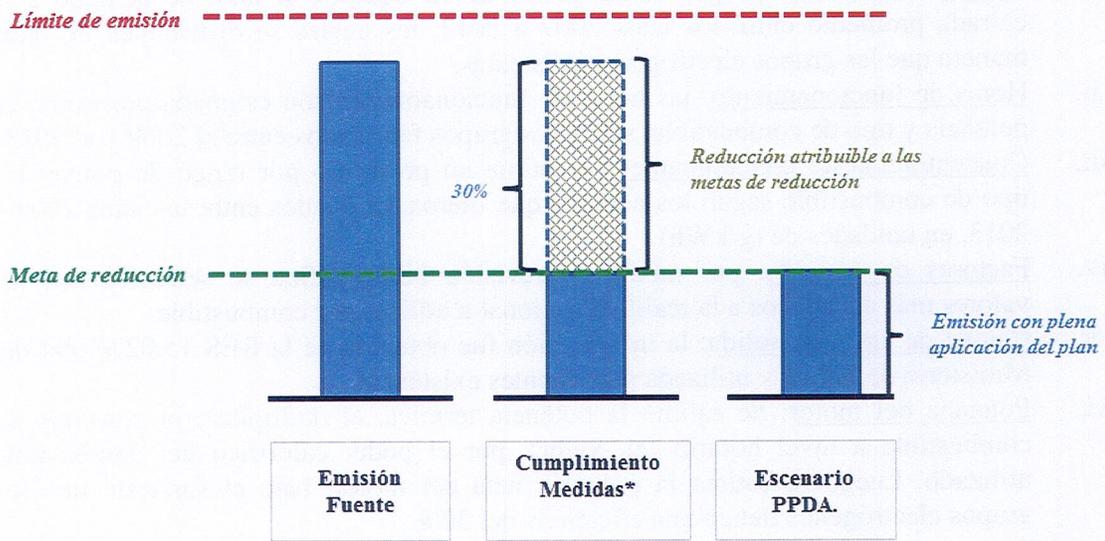
Figura 11: Cálculo de la reducción de emisiones para grandes emisores que deban cumplir la medida de metas de reducción, en alguna de sus fuentes unitarias.



* Límites de emisión y metas de reducción para MP y MP2,5.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 12: 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 calderas²⁵ 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 regirá 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%.

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):

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

²⁵ Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del Ministerio de Salud.

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

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 10. 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 cuál 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 medida²⁶.

Para Grupos electrógenos se consideran costos por rangos de potencia (kW), según (GAMMA Ingenieros S.A. 2005; Calfucura 2006; Bradley 2010) en la Tabla 11.

Tabla 11 : 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
	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.

²⁶ Las medidas consideradas son: límite de emisión para MP, límite de emisión para SOx y límite de emisión para NOx.

VTA



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.

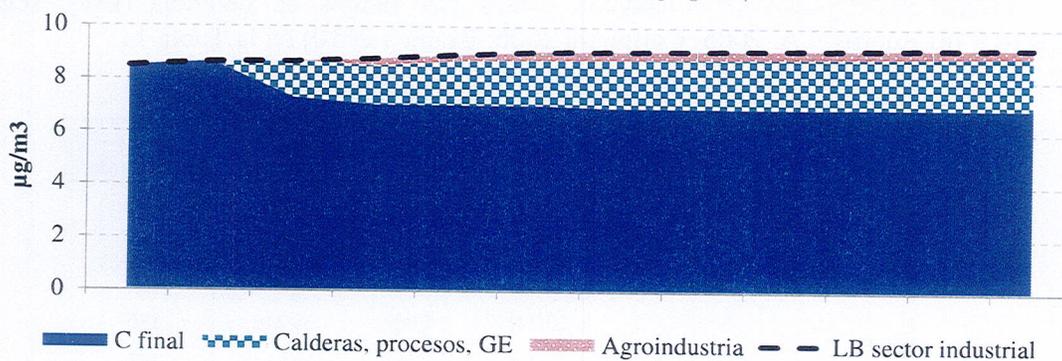
4.3 Resultados sector Industrial

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

Figura 13: Reducción de concentración anual de $MP_{2.5}$ agregada por sub-sector industrial.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12 se presenta la reducción de emisiones y de concentraciones de $MP_{2.5}$ para el año 2026, el cual considera plena implementación del plan, para las medidas del sector industrial.

Se observa en la Figura 13 y en la Tabla 12 que las medidas más relevantes en este sector corresponden a la meta de emisión para grandes emisores y a los límites de emisión de MP , NO_x y SO_2 , las que en su conjunto reducen el 78% de las concentraciones del sector.

Para el año 2026 se estima que la reducción total de concentración de MP_{2,5} del sector sería de 2,35 µg/m³.

Tabla 12: Reducción de emisiones y concentraciones de MP_{2,5} con respecto a la línea base, año 2026.

Medida	Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	
	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [µg/m ³]	% Δ Emisión	% Δ Conc.
Compensación industria	11	0,02	4,1%	1,0%
Límite emisión industria	71	1,24	25,8%	54,0%
Meta emisión grandes FF	170	0,60	62,1%	26,2%
Grupos electrógenos	22	0,10	8,0%	4,5%
Cubierta pozo porcinos*		0,01	0,0%	0,4%
Diodigestor aerobio*		0,08	0,0%	3,7%
Retiro guano ponedoras*		0,23	0,0%	10,2%
Total	274	2,29	100%	100%

(*) Medidas sin reducción de MP_{2,5}. Reducciones NH₃ según medidas: Cubierta pozo porcinos 35 ton/año, Diodigestor aerobio 356 ton/año, Retiro guano ponedoras 991 ton/año.

Fuente: Elaboración propia.

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

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 11.2.5 de anexos. La Tabla 13 presenta los casos evitados de mortalidad y morbilidad tanto para el último año de evaluación como para el periodo acumulado entre los años 2017 a 2026.

Tabla 13: Número de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

Evento	Contaminante	Tipo	Casos evitados 2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	0	[0 - 0]	0	[0 - 0]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	390	[270 - 534]	2.949	[2.098 - 4.037]
	MP10	Todas las causas largo plazo	6	[3 - 9]	53	[29 - 74]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	12	[10 - 15]	103	[85 - 134]
	MP2.5	Cardiovascular	164	[141 - 186]	1.290	[1.118 - 1.460]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	23	[-2 - 41]	188	[-5 - 322]
	MP2.5	Neumonía	114	[61 - 159]	852	[457 - 1.184]
	MP10	Bronquitis	38	[4 - 71]	335	[38 - 631]
	MP10	Bronquitis crónica	49	[39 - 59]	387	[312 - 467]

Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	6.939	[4.525 – 11.166]	62.500	[40.791 – 100.600]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	65.210	[62.636 – 70.428]	577.484	[554.341 – 622.404]
	MP2.5	Días de actividad restringida	290.949	[270.669 – 303.175]	2.574.027	[2.394.903 – 2.678.968]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	549.494	[500.018 – 575.142]	4.847.894	[442.5018 – 5.084.277]

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Indicadores económicos sector industrial

La Tabla 14 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 14: Valor presente de costos y beneficios del sector Industrial, MMUSD

Medida	VP Inversión	Costos variables	VP Beneficio Salud		
Compensación industria	0	0	0	9	0
Límite emisión industria	0	33	11	791	4
Meta emisión grandes FF	0	7	4	311	2
Grupos electrógenos	14	0	0	30	0
Cubierta pozo porcinos	0,2	0,03	0	5	0
Diodigestor aerobio	2	2	1	39	0
Retiro guano ponedoras	4	0	2	137	1
Distribución	100%	100%	1,4%	98%	0,5%
Total	20	42	1.347		

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] UF²⁷. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.5 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 alcanza los US\$ 1.285 millones de dólares, mientras que los costos totales alcanzarían US\$ 62 millones, siendo absorbidos por los emisores en un 100%.

²⁷ 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.



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.

VTA



5. Evaluación sector fuentes móviles y cambio modal

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 transporte en ruta

En la Región Metropolitana, el sector transporte es uno de los mayores emisores de MP_{2.5}, 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 15.

Tabla 15: Inventario emisiones de transporte de la Región metropolitana. año 2015. ton/año.

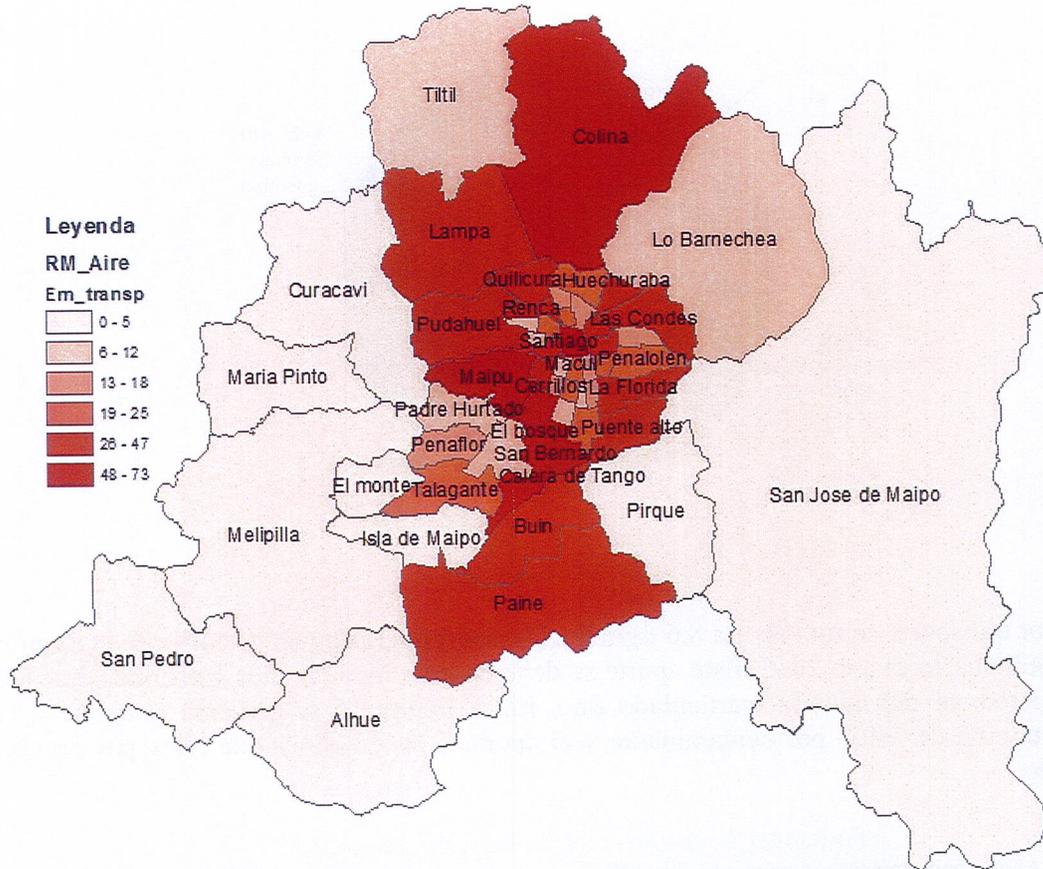
Tipo	MP25	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Vehículos livianos - gasolina	475	63	8.433	532	82.344	6.661.745	226	222	7.816
Vehículos livianos - diésel	307	16	5.937	7	1.682	1.694.689	15	63	323
Buses - diésel	39	4	4.402	1	739	467.727	21	5	100
Camiones - diésel	257	7	6.073	5	1.399	703.509	70	14	444
Motos - gasolina	30	1	110	2	7.403	126.751	45	2	1.812
Total	1.109	91	24.954	548	93.566	9.654.421	376	307	10.495

Fuente: Elaboración propia en base a (GEASUR 2015)

De acuerdo al inventario, los vehículos livianos a gasolina y diésel aportan 475 ton y 307 ton de MP_{2.5} respectivamente, representando en conjunto un 71% de las emisiones de MP_{2.5} 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 14 presenta la forma en que se distribuyen las emisiones de MP_{2.5} por comuna para el año 2015.

Figura 14: Emisiones de $MP_{2.5}$ por comuna para el sector transporte. año 2015.

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

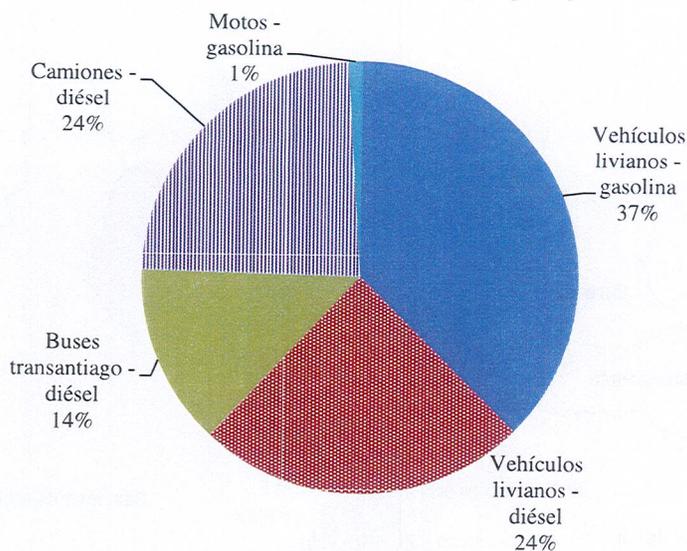
En la Figura 14 se observa que los mayores niveles de emisión se registran en las comunas ubicadas en la zona central de la región Metropolitana, destacando Santiago, Maipú, San Bernardo y Pudahuel entre otras.

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 15.

VTA



Figura 15: Aporte a la concentración de MP_{2,5} según tipo de vehículo

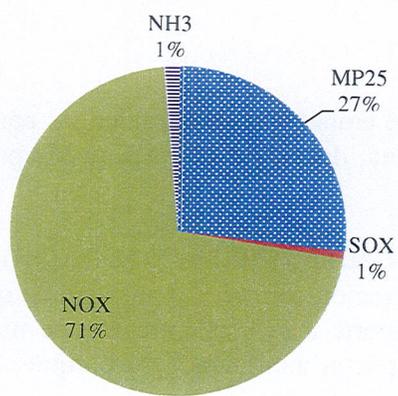


Fuente: Elaboración propia

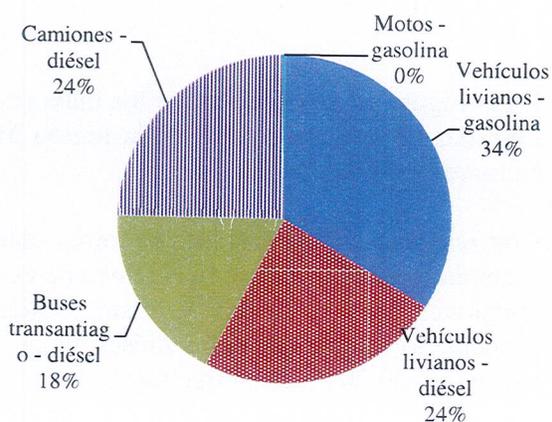
El sector transporte en ruta aporta 8,6 µg/m³ a la concentración anual de MP_{2,5} de la Región Metropolitana en el año 2015. Este aporte se debe en gran medida a las emisiones de NO_x como precursor del material particulado fino. En la Figura 16 se presenta el aporte a la concentración de MP_{2,5} por contaminante y el aporte a las emisiones de NO_x por tipo de vehículo.

Figura 16: Contaminantes secundarios en sector transporte.

a. Aporte contaminantes a concentración MP_{2,5}



b. Aporte emisiones NO_x según tipo de vehículo



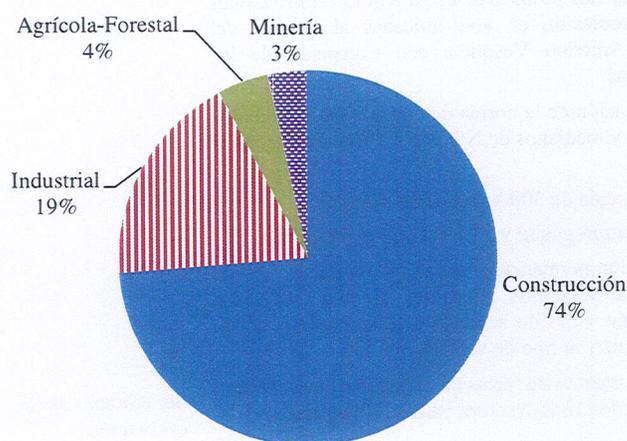
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Antecedentes maquinaria fuera de ruta

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.

El parque estimado de maquinaria para el año 2015 alcanza más de 34 mil unidades, siendo la maquinaria de construcción la queda cuenta del 74% del total, como indica la Figura 17.

Figura 17: Distribución del parque de maquinaria fuera de ruta en la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración propia en base a Geasur (2014)

Este sector aporta con 1.143 toneladas de MP2.5 para el año 2015, lo que equivale a más de 100% de las emisiones del transporte en ruta de la región, mientras que sus emisiones de NOx alcanzan 9.781 toneladas, equivalente al 39% de las emisiones del transporte en ruta, como se muestra en la Tabla 16. La MFR aporta con 4,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente al 18% de la concentración total en la región, excluyendo la concentración de *background*.

Tabla 16: Inventario de emisiones año 2015, transporte en ruta y fuera de ruta.

Sector	MP25	SOX	NOX	NH3	CO	CO2	CH4	N2O	COV
Transporte en ruta	1.109	91	24.954	548	93.566	9.654.421	376	307	10.495
Maquinaria fuera de ruta	1.143	35	9.781	3	8.964	1.151.596	68	48	1.677
Total	2.252	127	34.735	551	102.530	10.806.017	444	354	12.173

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

5.1.3 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 Anteproyecto	Cambios proyecto definitivo	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		Modificación de la norma de emisión para vehículos livianos y medianos 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: 2017 Cumplimiento: 100%.
Restricción Permanente		Restricción permanente entre el 1° de mayo y 31 de agosto a vehículos anteriores al año 2012. La restricción varía de acuerdo a la tenencia o no de sello verde y al tipo de vehículo.		Vigencia: 2017 Cumplimiento: 100%.
Corredores		Establecimiento de metas de cumplimiento del Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público.	Se elimina de la evaluación	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: 2017 Cumplimiento: 90%
Norma Euro 6 vehículos livianos u medianos			Norma Euro 6 y la EPA equivalente de los vehículos que ingresen al parque a partir de septiembre del 2020	Vigencia: Se asume que la entrada de vehículos Euro 6 será de un 50% en 2018, 70% en 2019 y 100% desde 2020 en adelante. Costo incremental vehículos diésel 626 USD ²⁸
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%. Supuesto: Maquinaria de construcción corresponde al 30% de la maquinaria fuera de ruta
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)	Primera etapa: Vigencia septiembre 2019, anteproyecto era	Vigencia: Septiembre 2019 Cumplimiento: 100%.

²⁸ http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDVcostsreport_2012.pdf, Table ES-1

		septiembre de 2018.	
		Segunda etapa: Vigencia original era 2020 y en proy. def. es 2022. Límites de segunda etapa cambia (ahora Stage IV, antes IIIB). Primera etapa Stage IIIA.	

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.
- 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 (2015b).
- Los supuestos para el caso de emisiones del sector Maquinaria fuera de ruta se detallan en GEASUR (2015a).

5.2 Metodología evaluación del sector transporte

La estimación de emisiones para el sector transporte en ruta 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 (2015b).

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 Etraus disponibles para los escenarios de evaluación de las medidas. En la Figura 18 se presentan los pasos para el cálculo de emisiones.

Figura 18: Enfoque general para cálculo de emisiones, transporte en ruta



Fuente: GEASUR (2015b)

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 (2015b).

En el caso de la maquinaria fuera de ruta, la metodología para el cálculo de emisiones y de costos se describe en el estudio Geasur (2014), GEASUR (2015a) y GEASUR (2015b).

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 11.2.5 anexos.



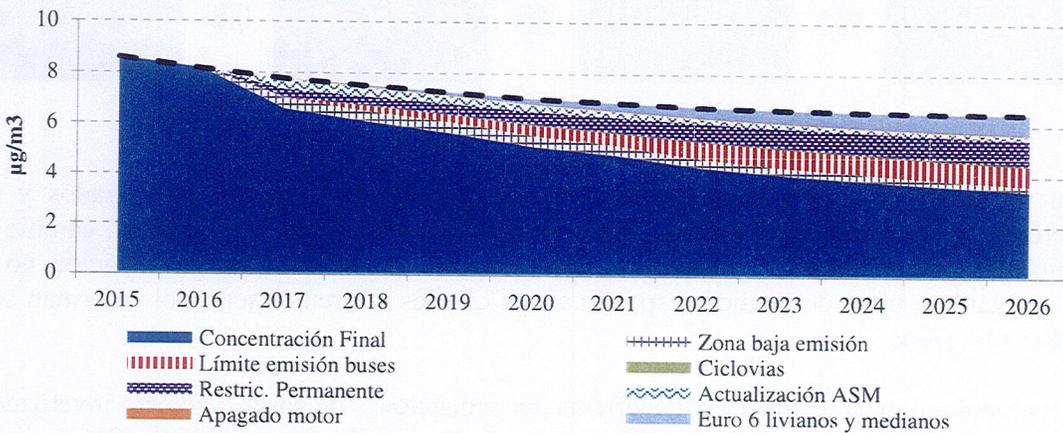
5.3 Resultados sector transporte

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

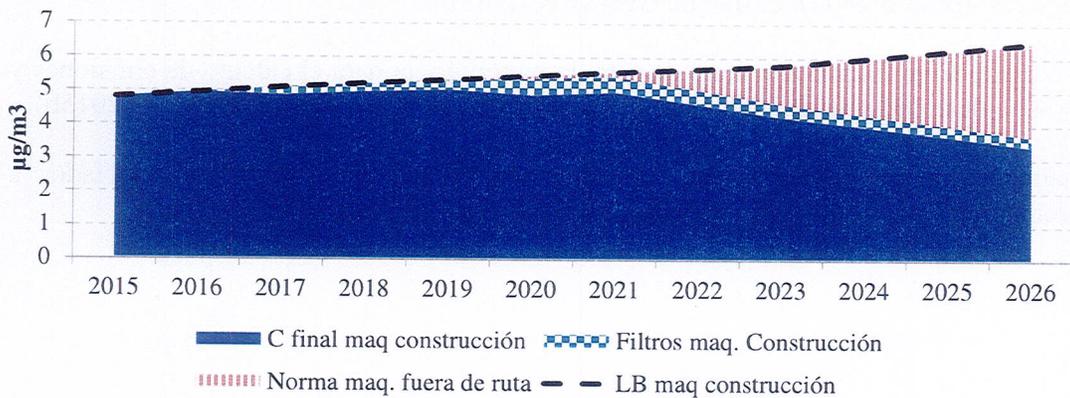
En la Figura 19 se muestra la reducción de concentración de $MP_{2,5}$, para cada año y medida evaluada en el sector transporte en ruta. En ella se observa que las medidas que presentan mayor aporte a la reducción de concentraciones corresponden a restricción permanente, normativa Euro 6 para vehículos livianos y medianos, y límite de emisión buses. La reducción agregada del transporte en ruta alcanzaría $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al año 2026.

Figura 19: Reducción de concentración de $MP_{2,5}$ por medida, sector transporte en ruta



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

Figura 20: Reducción de concentración de $MP_{2,5}$ por medida, sector transporte fuera de ruta



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

La Figura 20 presenta la reducción de concentración de las medidas para maquinaria fuera de ruta, observándose que la norma de entrada para la maquinaria presenta una reducción que alcanzaría también 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al año 2026.

En la Tabla 18 se presenta la reducción de emisiones y de concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$ 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 $\text{MP}_{2,5}$ con respecto a la línea base, año 2026.

Medida	Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	
	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	% Δ Emisión	% Δ Conc,
Límite emisión buses	21	0,79	2,3%	12,9%
Restric. Permanente	34	1,02	3,7%	16,7%
Actualización ASM*		0,15	0,0%	2,5%
Zona baja emisión	35	0,19	3,8%	3,0%
Euro 6 livianos y medianos	0	0,81	-0,1%	13,3%
Ciclovías	12	0,04	1,3%	0,7%
Apagado motor	2	0,02	0,2%	0,4%
Filtros maq. Construcción	141	0,29	15,2%	4,8%
Norma maq. fuera de ruta	686	2,80	73,7%	45,7%
Total	930	6,13	100%	100%

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

(*)Actualización ASM no reduce $\text{MP}_{2,5}$, reduce NOx , CO y COV .

Se observa en la Figura 19 y en la Tabla 18 que la medida más relevante en este sector corresponde a la norma de entrada para maquinaria fuera de ruta, seguida por restricción permanente. Estas medidas suman un 62% de la reducción de concentración del material particulado fino del sector.

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	34	9	3.680	201	5.275	956.179	95	131	771	997.718
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
Euro 6 livianos y medianos	0	4	3.142	183	227	458.184	81	123	5	496.920
Ciclovías	12	1	69	1	0	70.510	0	0	0	70.518
Apagado motor	2	0	82	1	0	0	0	0	0	0
Filtros maq. Construcción	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Norma maq. fuera de ruta	686	11	5.598	0	2.777	21.980	0	0	739	21.980
Total	930	25	16.719	384	18.943	1.511.718	188	248	1.908	1.590.203

% Reducción respecto a sector	44%	12%	49%	93%	26%	9%	49%	63%	26%	9%
-------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	----

Fuente: Elaboración propia

Para el año 2026 se estima que la reducción total de concentración de MP_{2.5} del sector sería de 6,13 µg/m³ 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.

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 11.2.5 de anexos.

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 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	13	[8 - 17]	122	[82 - 164]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	1.044	[724 - 1430]	5.111	[3.616 - 7.001]
	MP10	Todas las causas largo plazo	17	[10 - 24]	92	[52 - 129]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	32	[26 - 41]	172	[142 - 225]
	MP2.5	Cardiovascular	439	[377 - 498]	2.215	[1.917 - 2.509]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	63	[-4 - 111]	322	[-11 - 553]
	MP2.5	Neumonía	306	[164 - 425]	1.484	[794 - 2.058]
	MP10	Bronquitis	105	[12 - 197]	580	[68 - 1.093]
	MP10	Bronquitis crónica	137	[110 - 165]	691	[558 - 834]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	18.579	[12.114 - 29.895]	104.032	[67.900 - 167.421]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	174.583	[167.691 - 188.551]	965.427	[926.893 - 1.041.112]
	MP2.5	Días de actividad restringida	778.938	[724.643 - 811.669]	4.304.100	[4.004.405 - 4.481.013]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	1.471.123	[1.338.665 - 1.539.787]	8.113.147	[7.398.491 - 8.503.323]

Fuente: Elaboración propia

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 2017 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 5.325 casos.

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 2.322, 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
Límite emisión buses	77	-16	4	333	2
Ciclovías	53	171	0	24	0
Restric. Permanente	66	1.693	6	437	2
Actualización ASM	321	0	2	187	1
Apagado motor	0	77	0	15	0
medianos	71	498	3	248	1
Zona baja emisión	102	9	3	221	1
Filtros maq. Construcción	136	0	3	224	1
Norma maq. fuera de ruta	9	-3	7	591	3
Total	836	2.429		2.322	

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] UF²⁹. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.5 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 resultados que se muestran en la Tabla 22.

²⁹ 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.

V7A



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

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

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

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.



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_{2,5}. La medida evaluada se describe en la Tabla 23.

Tabla 23: Medida quemas agrícolas

Nombre medida	corto	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.	Vigencia: - 2017, periodo 15 de marzo al 30 de septiembre - 2019, periodo 1 de marzo al 31 de octubre - 2021, prohibición permanente Cumplimiento: 90% entre 2014 y 2020, 95% entre 2021 y 2024, 100% desde 2025. Línea base: considera que no se realizan quemas durante enero y entre abril y agosto.

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_i: Número de hectáreas quemadas del cultivo *i* el mes *j* [Ha/mes]

FC_i: Factor de carga, cantidad de toneladas de cultivo *i* por unidad de superficie [Ton/Ha]

FE_i: Factor de emisión por cultivo *i* [kg contaminante/Ton]

Con respecto a la fuente de la información utilizada, el número de hectáreas quemadas por cultivo y mes se obtiene del Reporte de Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas de CONAF³⁰. El factor de carga y factores de emisión provienen de la recopilación hecha por (MMA 2013a).

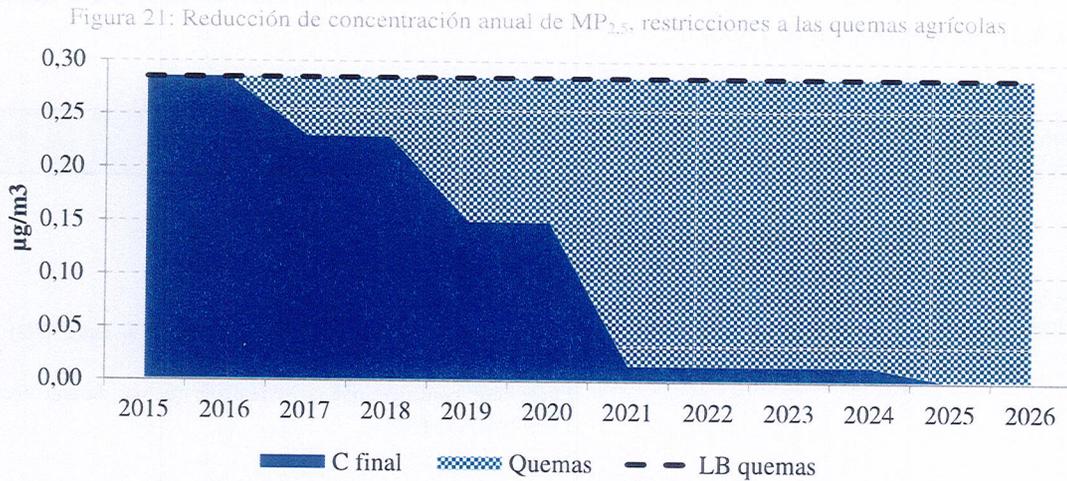
Para el cálculo de reducción de emisiones se considera el número de hectáreas totales que se dejarán de quemar, de acuerdo a las restricciones definidas en el anteproyecto, a las que se asigna el costo unitario según el estudio Villena, Villena et al. (2007), actualizado de acuerdo al Índice de Precios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

³⁰ <http://saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=17539376715682dc64a49eb>



6.3 Resultados quemas agrícolas

La Figura 21 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
LB quemas	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Reducción Medida	0,00	0,00	0,06	0,06	0,14	0,14	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,00
Concentración Final	0,28	0,28	0,23	0,23	0,15	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,28

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 11.2.5 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 2017 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 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	0	[0 - 0]	0	[0 - 0]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	49	[34 - 66]	306	[217 - 417]
	MP10	Todas las causas largo plazo	1	[0 - 1]	6	[0 - 8]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	1	[1 - 2]	8	[8 - 14]
	MP2.5	Cardiovascular	20	[18 - 23]	132	[115 - 149]
	MP2.5	Respiratorias crónicas	3	[0 - 5]	19	[0 - 33]
	MP2.5	Neumonía	14	[8 - 20]	88	[48 - 123]
	MP10	Bronquitis	5	[1 - 10]	36	[6 - 70]
	MP10	Bronquitis crónica	7	[5 - 8]	46	[35 - 52]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	863	[563 - 1389]	6.230	[4.068 – 10.027]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	8.114	[7.793 – 8.763]	57.806	[55.499 – 62.337]
	MP2.5	Días de actividad restringida	36.200	[33.677 – 37.721]	257.710	[239.760 – 268.296]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	68.368	[62.213 – 71.559]	485.774	[442.978 – 509.129]

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 (136 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 135 MM USD lo que genera que sea una medida altamente rentable.

V74



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	2	133	1
Distribución	100%	1,33%	98,16%	0,51%
Total	0,6		136	

El * 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] UF³¹. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2,9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.5 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 11.2.6 de anexos.

³¹ 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

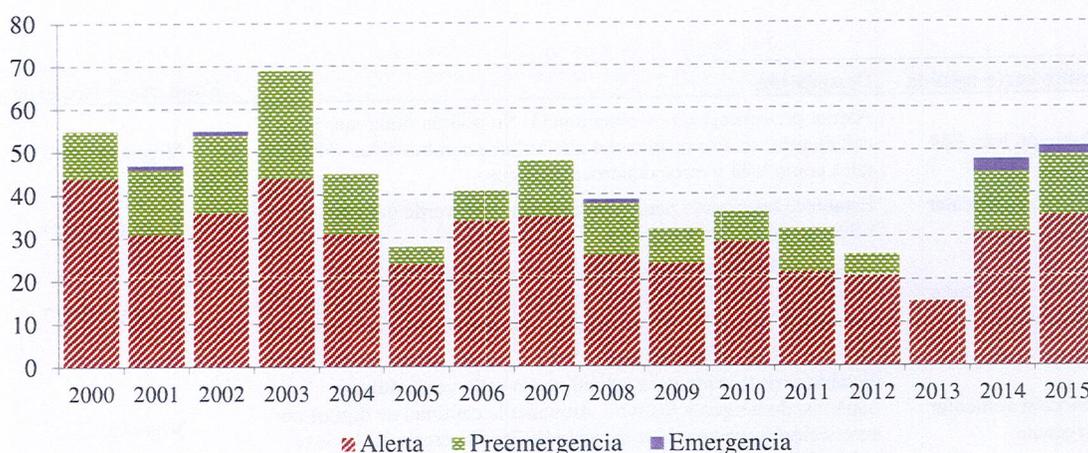
Nivel	MP_{10}	$MP_{2,5}$
Alerta	195-239	80-109
Preemergencia	240-329	110-169
Emergencia	330 o superior	170 o superior

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 22 muestra el número de episodios críticos para $MP_{2,5}$ para el periodo 2000 a 2015, mientras que la Figura 23 presenta el número de episodios para MP_{10} del periodo 1997 a 2015.

Figura 22: Número de días de episodios críticos constatados para $MP_{2,5}$, periodo 2000 a 2015.

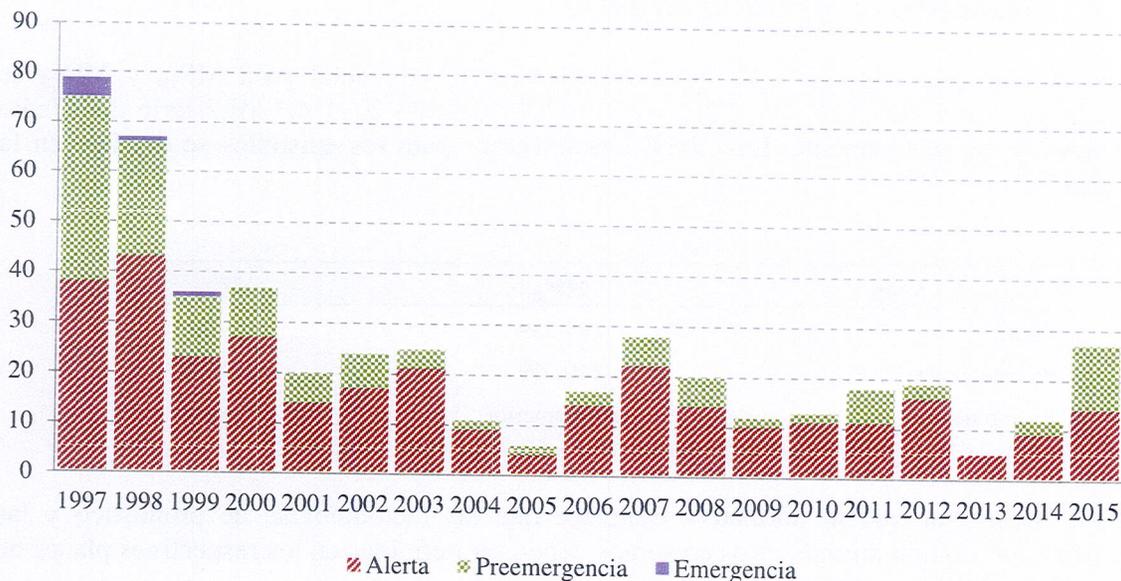


Fuente: Elaboración Propia

VTA



Figura 23: Número de días de episodios críticos constatados para MP₁₀, 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 GFC

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: 2017
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: 2017
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: 2017
Paralización industria	Establece en Emergencia la paralización de los "Grandes establecimientos". emitan más de 20 toneladas al año de MP2.5 equivalente.	Vigencia 2017

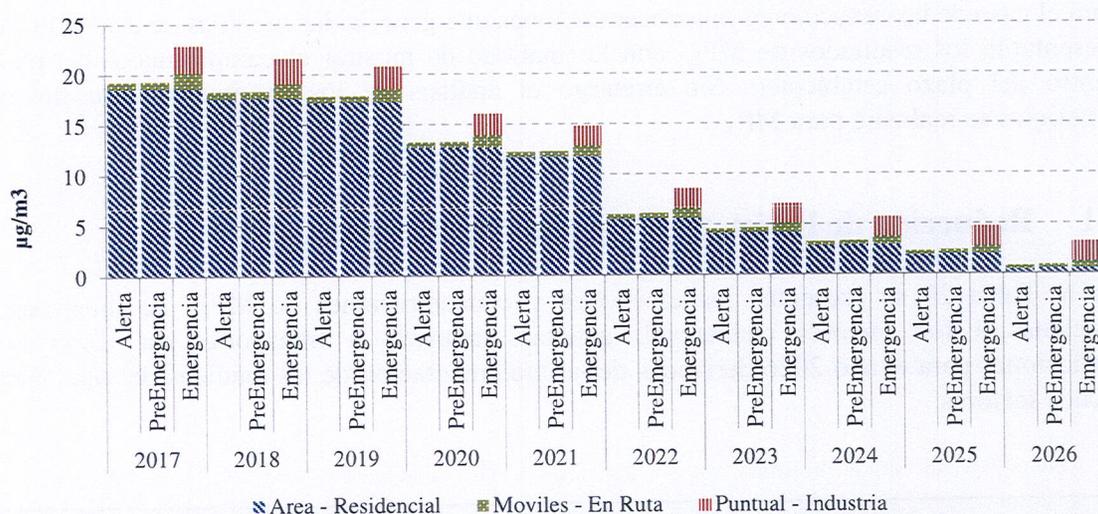
Fuente: Elaboración Propia

Nota: La medida de restricción vehicular permanente para el período de Gestión de Episodios Críticos se encuentra evaluada en el capítulo del sector transporte.

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_{10} y $MP_{2,5}$ y no en los resultados agregados del plan, a excepción de la restricción vehicular.

La Figura 24 muestra la reducción de concentración por tipo de episodio y año para $MP_{2,5}$. En el caso del MP_{10} , las reducciones de concentración es levemente superior a la de $MP_{2,5}$.

Figura 24: Reducción de concentración de $MP_{2,5}$ 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_{2.5} 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_{2.5}.

8.1 Reducción de Emisiones y de Concentraciones

En la Tabla 29 se presentan las emisiones y concentraciones de MP_{2.5} 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_{2.5} con respecto a la línea base, año 2026.

Sector	Sub-Sector	Línea Base 2026		Reducción (Δ) Año 2026		Reducción Sector	Reducción Total
		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	4,02	1.812	3,8	95%	30%
	Residencial - otras	95	0,79	-	0,0	0%	0%
Transporte	Transporte	467	6,47	103	3,0	47%	24%
	Maquinaria fuera de	1.630	6,47	827	3,1	48%	25%
Industria	Industria	982	4,83	274	2,0	41%	16%
	Agroindustria	0	4,43	-	0,3	7%	3%
Quemas	Quemas agrícolas	118	0,28	118	0,3	100%	2%
Otros	Evaporativas	0	0,00	-	0,0		0%
	Otras	157	0,36	-	0,0		0%
	Background	0	3,78	-	0,0		0%
Total	Total	5.322	31	3.133	12,5		100%

Fuente: Elaboración propia.

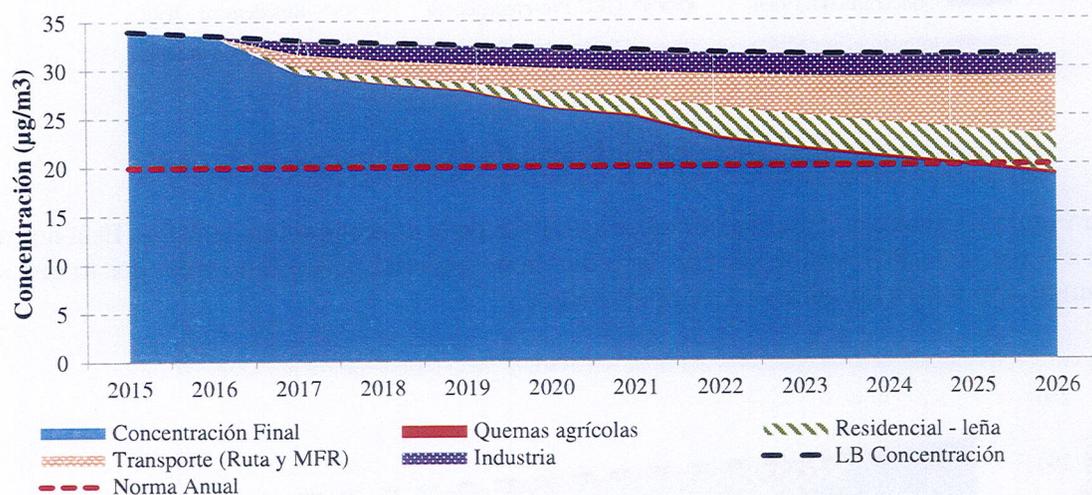
8.2 Efectos en Calidad del Aire

8.2.1 Cumplimiento normas de calidad

La implementación de las medidas se estima a partir del año 2017 y hasta el 2026, considerando años calendario (1 de enero a 31 de diciembre).

La Figura 25 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 el año 2025.

Figura 25: Evolución de concentración anual de $MP_{2.5}$ para línea base y reducción por medidas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

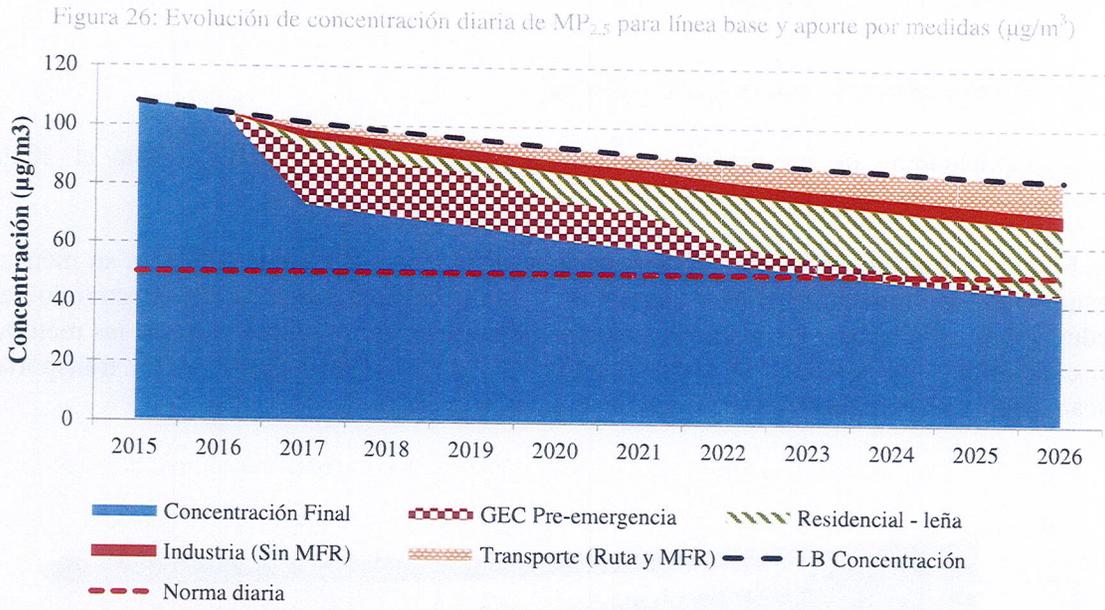


Fuente: Elaboración propia

La Figura 26 muestra la evolución del percentil 98 de $MP_{2.5}$, incluyendo la reducción de las medidas de transporte y residenciales de episodios de pre-emergencia³². Se observa que la norma de calidad diaria se cumpliría al año 2024.

³² Medidas incluidas: restricción y prohibición de calefactores de uso residencial que utilicen combustibles sólidos, tales como leña y otros dendroenergéticos.

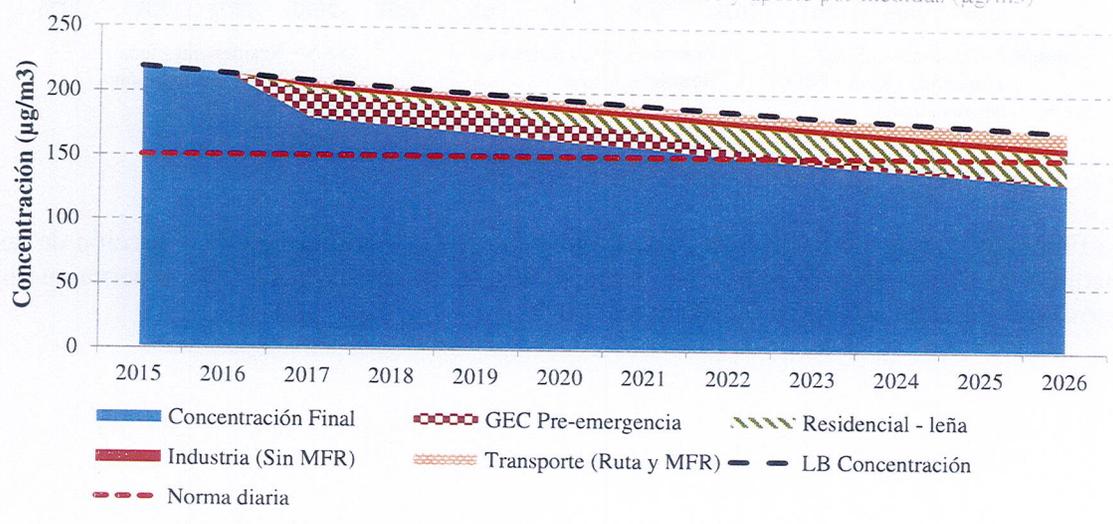
VTA



Fuente: Elaboración propia

La Figura 27 muestra la evolución del percentil 98 de la concentración de MP₁₀. 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.

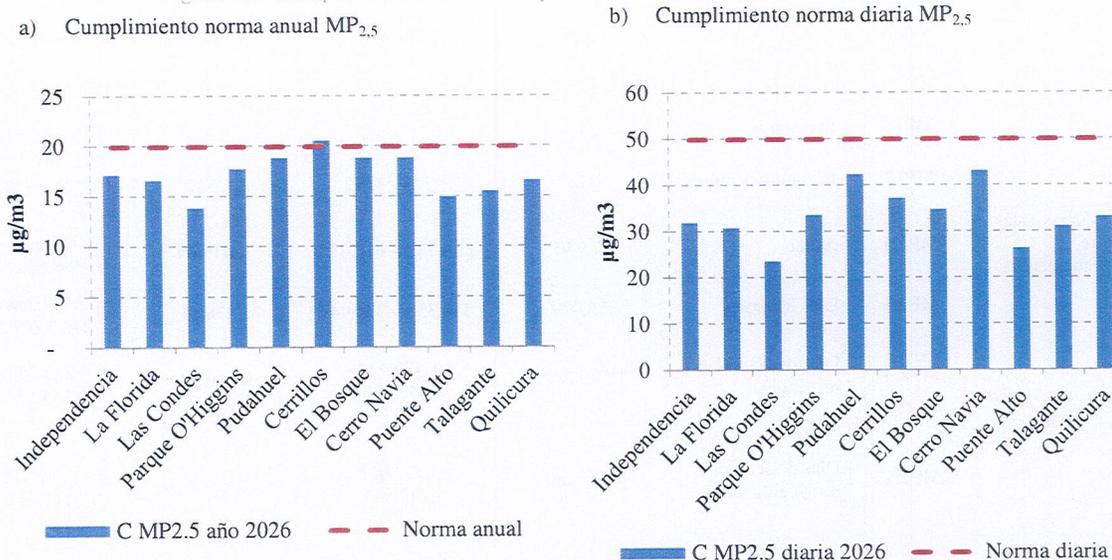
Figura 27: Evolución de concentración diaria de MP₁₀ para línea base y aporte por medidas (µg/m³)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 28 muestra la estimación de cumplimiento en las distintas estaciones de monitoreo. Se observa que casi todas las estaciones cumplirían la norma diaria y anual de MP_{2.5} el año 2026, a excepción de la estación de Cerrillos que estaría al borde del cumplimiento con una concentración anual estimada de 20,6 µg/m³ de MP_{2.5}.

Figura 28: Cumplimiento normativo por estación de monitoreo. año 2026.



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 2017-2026, debido a la menor concentración esperada de MP_{2,5}. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 11.4 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 2.238 para el año 2026, con un total de 12.445 casos evitados de mortalidad entre los años 2017 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 2017-2026 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	O3	Respiratoria corto plazo	72	[48 - 98]	432	[289 - 587]
	MP2.5	Cardiopulmonar largo plazo	2.131	[1.477 - 2.920]	11.770	[8.333 - 16.119]
	MP10	Todas las causas largo plazo	34	[19 - 48]	211	[119 - 300]
Admisiones hospitalarias	MP2.5	Asma (crónica)	64	[53 - 84]	400	[331 - 524]
	MP2.5	Cardiovascular	897	[770 - 1.016]	5.108	[4.423 - 5.784]

VTA



	MP2.5	Respiratorias crónicas	128	[-9 - 226]	744	[-25 - 1279]
	MP2.5	Neumonía	625	[335 - 867]	3.411	[1.828 - 4.734]
	MP10	Bronquitis	213	[25 - 400]	1.333	[157 - 2.510]
	MP10	Bronquitis crónica	278	[223 - 336]	1.582	[1.274 - 1.907]
Visitas Salas de Emergencia	MP2.5	Asma	37.930	[24.732 - 61.033]	241.404	[157.564 - 388.508]
Productividad perdida	MP2.5	Días laborales	356.429	[342.358 - 384.947]	2.238.611	[2.149.208 - 2.413.899]
	MP2.5	Días de actividad restringida	1.590.282	[1.479.434 - 1.657.105]	9.979.889	[9.285.020 - 10.389.539]
	MP2.5	Días de actividad restringida menor	3.003.449	[2.733.022 - 3.143.633]	18.809.476	[17.155.021 - 19.715.911]

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 61% de los beneficios. Es a su vez el sector con los mayores costos, los que dan cuenta del 92% de los costos del plan.

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

Sector	Costos	Beneficios	VAN	B/C	Costos	Beneficios
Residencial	13	1.643	1.630	124	1,3%	21%
Industria	70	1.355	1.285	19	7%	17%
Transporte (Ruta y MFR)	929	4.843	3.915	5	92%	61%
Quemas	1	136	135	227	0%	2%
Total	1.013	7.977	6.965	8	100%	100%

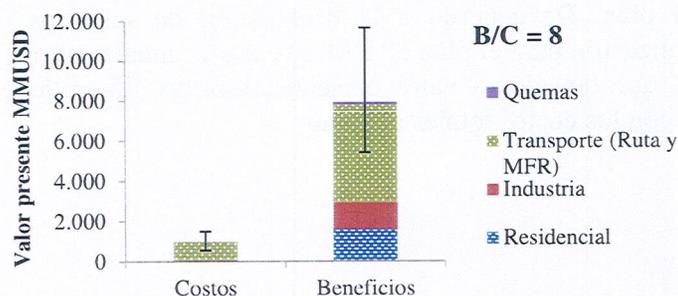
El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 15.351 UF al año 2015, con IC al 90% de [10.651; 19.553] UF³³. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. Los coeficientes de riesgo utilizados se presentan en la sección 11.5 de anexos. Valor presente considera flujos hasta año 2026. Los beneficios corresponden a la suma de beneficios en salud y ahorros netos, mientras que los costos corresponden a los costos de inversión más costos variables netos.

Fuente: Elaboración propia.

³³ 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.

El sector residencial es el segundo sector en términos de beneficios, los que alcanzan el 19% del total, mientras que los costos son relativamente bajos, alcanzando el 1% de los costos totales.

Figura 29: Costos y beneficios, valor presente en millones de dólares

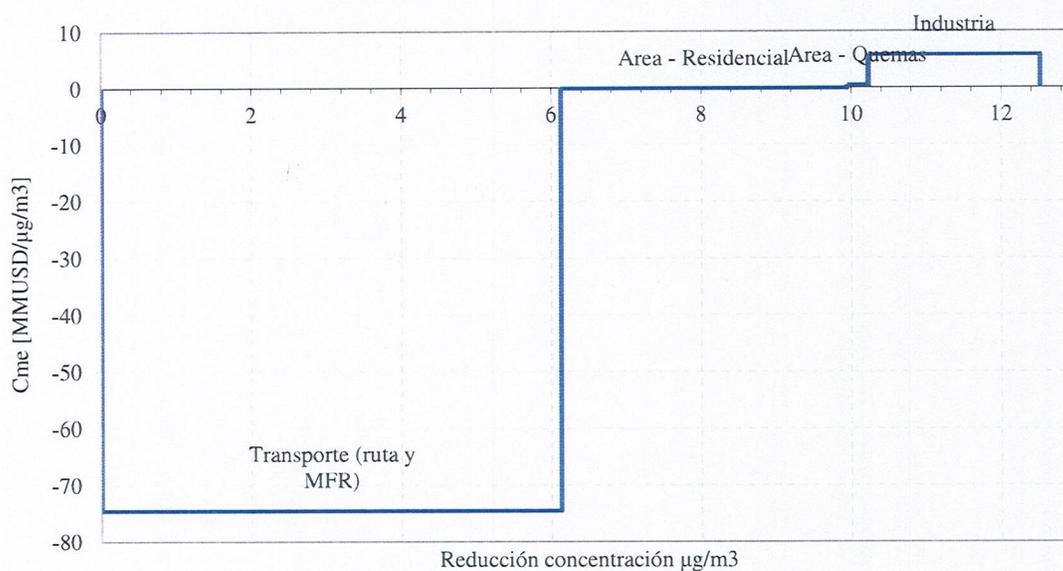


Notas: (i) Industria incorpora calderas, procesos, agroindustria y grupos electrógenos. (ii) Las barras de error representan el percentil 5 y 95 de los beneficios en salud, para los costos o ahorros variables (agregados a los beneficios) se estima una desviación del 30%, mientras que para los costos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

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 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.

Figura 30: Costos medios por grupo de medidas, MMUSD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2.5}$



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 30 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

V7A



salud. Se observa que el costo medio del sector transporte es negativo debido a los importantes ahorros en combustible asociados a las medidas.

Con respecto a los costos de fiscalización, estos se consideran despreciables respecto a los costos totales del plan. De acuerdo a la declaración de servicios³⁴ 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.

³⁴ 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 2024.

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, NO_x , SO_x y 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 anual son el sector transporte e industrial que aportan un 48% y un 30% respectivamente, mientras que el sector residencial aporta el 38% de la concentración en invierno.

En relación a la emisión de precursores de generación de $MP_{2,5}$, destaca nuevamente el sector transporte con los mayores aportes de NO_x (84% aprox.), mientras que el sector industrial se caracteriza por ser el que más aporta en emisiones de 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 2025 y 2024 respectivamente, con importantes aportes del sector transporte, residencial e industrial.

VTA



2. El conjunto de medidas con mayor reducción de concentración anual de $MP_{2.5}$ corresponde a las aplicadas al sector de transporte (49% de las reducciones), seguido por el sector residencial (30%) y por el sector industrial (18%). Estos tres sectores aportan con $12.2 \mu g/m^3$ 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 7.977 millones**, para un horizonte de evaluación de 10 años atribuibles principalmente al sector transporte (61%).
5. Los costos valorizados se estiman en **USD 1.013 millones**, para un horizonte de evaluación de 10 años atribuibles, al igual que en los beneficios, al sector transporte (95%) e industrial (4%). El sector residencial aporta con un 1%, transformándolo en un sector altamente costo-efectivo en la reducción de emisiones.
6. Los beneficios netos en valor presente a 10 años se estiman en **USD 6.965 millones**, con **una razón beneficio-costo de 8**.

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). "Mornning 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.

Fundación Universidad Empresa (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.

VTA



- 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 (2015a). Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país.
- GEASUR (2015b). "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.
- Leeuw, F. A. A. M. d. (2002). "A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution." *Environmental Science and Policy* 5(2): 135-145.
For assessing the progress made to mitigate the environmental problems related to long-range transboundary air pollution, emission indicators are developed for total potential acid, secondary PM10 and ground-level ozone. The indicators are based on a weighted summation of emission data of the relevant precursors (SO₂, NO_x, NH₃ and VOC). By using comparable and reliable emissions data provided by the EU member states, the indicators provide clear information on the contribution of economic sectors and on the gap between current emissions and the emission targets set for 2010.
- 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."

V7A



11. Anexos

11.1 Resultados por medida

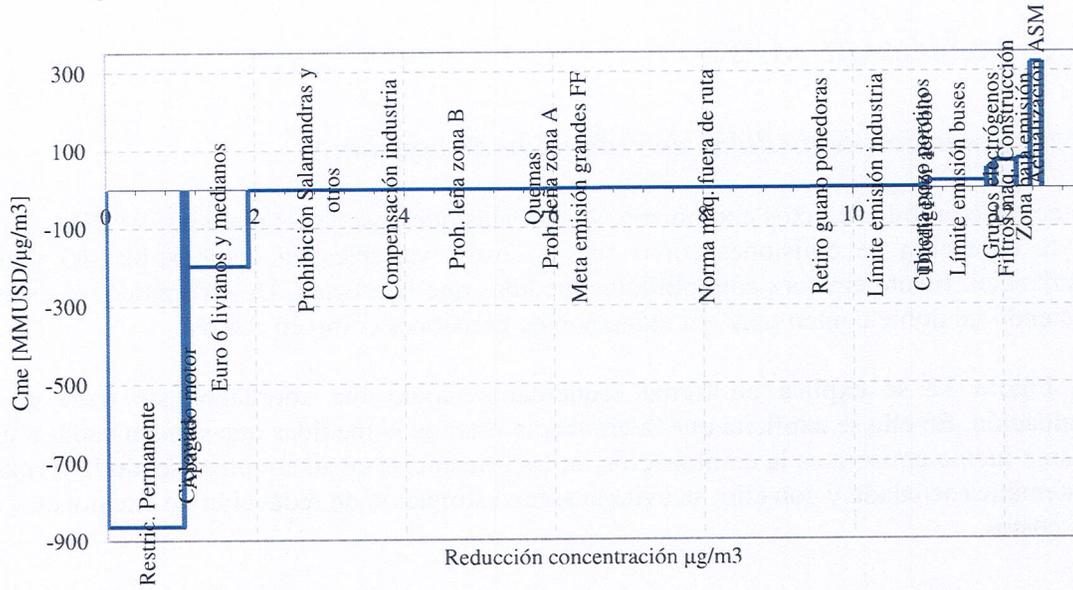
Tabla 32: Resultados principales por medida

	Reducción (Δ) Año 2026		Reducción respecto al total		VP millones de dólares		
	Δ Emisiones MP2.5 [Ton/año]	Δ Conc. MP2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	% Δ Emisión	% Δ Conc.	Costos (Inv + variables)	Beneficios (Salud + ahorros)	B/C
Proh. leña zona B	837	1,8	26,7%	14,1%	4	509	116
Prohibición Salamandras y otros	894	1,9	28,5%	15,0%	5	781	173
Proh. leña zona A	82	0,2	2,6%	1,4%	4	353	82
Límite emisión buses	21	0,8	0,7%	6,3%	93	339	4
Restric. Permanente	34	1,0	1,1%	8,2%	139	2.210	16
Actualización ASM	0	0,2	0,0%	1,2%	321	191	1
Zona baja emisión	35	0,2	1,1%	1,5%	102	234	2
Euro 6 livianos y medianos	0	0,8	0,0%	6,5%	71	750	11
Ciclovías	12	0,0	0,4%	0,3%	53	196	4
Apagado motor	2	0,0	0,1%	0,2%	1	93	142
Compensación industria	11	0,0	0,4%	0,2%	0	9	970
Límite emisión industria	71	1,2	2,3%	9,9%	33	807	24
Meta emisión grandes FF	170	0,6	5,4%	4,8%	7	317	46
Grupos electrogenos	22	0,1	0,7%	0,8%	14	31	2
Filtros maq. Construcción	141	0,3	4,5%	2,3%	136	228	2
Norma maq. fuera de ruta	686	2,8	21,9%	22,4%	12	602	50
Cubierta pozo porcinos	0	0,0	0,0%	0,1%	0	5	24
Diodigestor aerobio	0	0,1	0,0%	0,7%	12	48	4
Retiro guano ponedoras	0	0,2	0,0%	1,9%	4	139	33
Quemas	118	0,3	3,8%	2,3%	1	136	227
Total	3.133	13	1	1	1.013	7.977	8

Fuente: Elaboración propia



Figura 31: Gráfico de costo medio por medida en millones de dólares por $\mu\text{g}/\text{m}^3$, año 2026



Fuente: Elaboración propia.

VTA

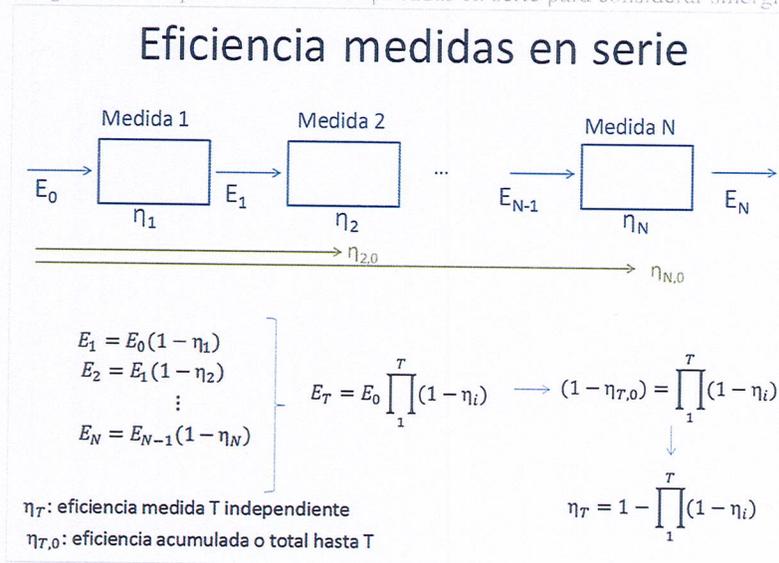
11.2 Metodología AGIES

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 32 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 32: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas.



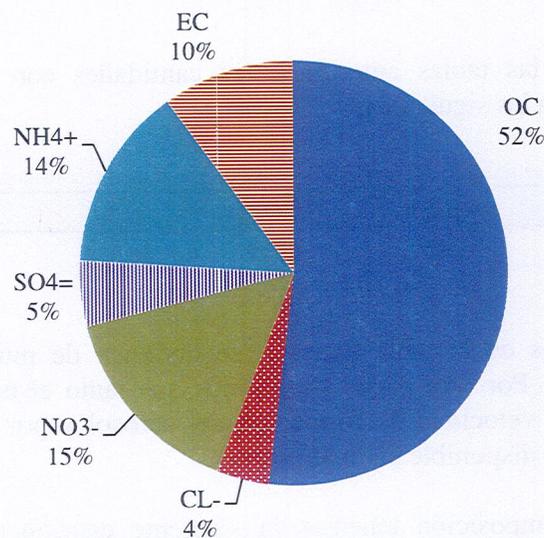
Fuente: Elaboración propia

11.2.2 Equivalencia entre contaminantes

Para realizar el cálculo de equivalencias entre $MP_{2.5}$ y Gases, se debe utilizar el inventario de emisiones (año 2015) y los datos de calidad del aire, en específico la composición química del $MP_{2.5}$. Al combinar la distribución de concentraciones de la composición química del $MP_{2.5}$ con el inventario de emisiones atmosféricas, considerando el material particulado de origen antropogénico, se puede conocer las fuentes responsables de la contaminación en la región.

Para realizar este cálculo, se tomó la composición química del $MP_{2.5}$ del estudio FUDE (2015) en que se establece la distribución promedio presentada la Figura 33, realizada a partir de datos de calidad del aire monitoreados durante el año 2015, en invierno y verano, en las estaciones Las Condes, USACH y Melipilla.

Figura 33: Caracterización química del $MP_{2.5}$ en la Región Metropolitana, año 2015



Fuente: Elaboración Propia en base a (FUDE 2015)

Se asume una relación teórica lineal entre las emisiones de un contaminante y las concentraciones resultantes, pero además en este caso considera la distribución de masas en los filtros $MP_{2.5}$ obtenidas de muestras en calidad de aire, de acuerdo a la Figura 33.

Por otra parte debemos asumir que la formación principal desde los gases precursores ocurre por la formación de: Nitrato y sulfato de amonio, NO_3NH_4 y $SO_4(NH_4)_2$.

Las diferencias entre los análisis de las muestras y los datos del inventario de emisiones indican que no toda la emisión de gases puede llegar a transformarse en material particulado (aun en condiciones ideales). Lo anterior aún bajo condiciones favorables y largos tiempos de reacción, la capacidad de formación de aerosoles está limitada. Se han publicado

algunos factores de formación de aerosoles en Europa, uno de los artículos más relevantes utilizado para el cálculo de material particulado secundario es Leeuw (2002).

Como consecuencia, de las emisiones totales (inventario) solo una fracción tendrá capacidad y disponibilidad de formar aerosoles secundarios.

Tabla 33: Inventario de Emisiones (E) RM. año 2015.

MP2,5	SO ₂	NO _x	NH ₃
5.686	2.491	41.559	17.973

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34: Factores de formación de aerosoles

Factores de formación	SO ₂	NO _x	NH ₃
AFx	0,54	0,88	0,64

Fuente: (Leeuw 2002)

De la combinación de las tablas anteriores, las cantidades con capacidad de formar aerosoles secundarios son las siguientes:

Tabla 35: Material particulado secundario que potencialmente se formaría en la atmósfera.

Fórmula	MP2,5	SO ₂	NO _x	NH ₃
E * AFx	5.686	1.345	36.572	11.323

Fuente: Elaboración Propia.

De estos valores teóricos de la tabla anterior, se obtienen de multiplicar AFx por las emisiones del inventario. Por otra parte, suponemos que tanto el nitrato como el sulfato tienen igual capacidad y velocidad de formación del aerosol y por tanto "consumen" de forma equivalente el NH₃ disponible en la atmósfera.

Por otro lado, de la composición tenemos la siguiente distribución, considerando las fracciones de la Figura 33 y descontando la *concentración background*:

Tabla 36: Masas estimadas de las especies principales presente en los filtros

Fórmula	Concentración	MP2,5	SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
%Contribución i * (C _{MP2.5} - C _b)	µg/m ³	16,79	1,35	4,06	3,79

Fuente: Elaboración Propia.

De aquí podemos estimar cuánto amonio se ha consumido en formar las sales, pasando las masas de los iones, a su equivalente molar:

Tabla 37: Equivalencia molar

SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
0,0141	0,0655	0,2106

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de la tabla anterior, implica que existe un exceso de amonio y que por tanto se requirió sólo una parte de éste para formar las sales de nitrato y sulfato.

Tabla 38: Gasto de amonio

Gasto NH ₄ ⁺	0,094
Porcentaje	44%

Fuente: Elaboración Propia.

Lo indicado como “Gasto NH₄⁺” corresponde a la cantidad requerida de amonio necesaria para neutralizar los aniones de sulfato y nitrato. En consecuencia, sólo un 44% del amonio disponible, reaccionó con nitrato y sulfato, con esto se puede calcular el porcentaje de amoniaco del inventario que pasó a formar sales con nitrato y sulfato, esto es 0,44*11.323. Luego, se obtiene el equivalente de las masas en ton-moles de amonio (dividendo las masas por sus pesos sus moleculares), esto da como resultado 296,4, adicionalmente se calculan las ton-mol para SO₂ y NO₂.

Tabla 39: Inventario en ton/mol

SO ₂	NO ₂
21,02	795,04

Fuente: Elaboración Propia.

Dado que por cada molécula de sulfato se requieren 2 moléculas de amonio tenemos que se requieren 42,04 ton-mol de amonio para neutralizar la proporción de sulfato en la distribución y el amonio restante 254,35 se consume al reaccionar con el nitrato. Esto implica que solo esa misma cantidad de ton-mol de nitrato es el que realmente ha sido capaz de formar aerosol y el resto de NO₂ emitido debió permanecer como gas o formar otras moléculas y no está presente en el MP_{2,5}, según los resultados de la distribución.

En resumen las cantidades que finalmente llegan a formar parte del aerosol secundario son los que se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40: Emisiones que forman parte del aerosol secundario

MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	NH ₃
5.686	1.345	11.700	11.323

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se asume, que la fracción carbono (orgánico y elemental) del MP corresponde 100% a MP_{2,5} primario.

Podemos calcular los factores de equivalencia entre contaminantes, como:

$$Feq = \frac{E * AFx_i}{\% Contribución_i * (C_{MP2.5} - C_b)}$$

Donde se considera como concentración anual para el año 2015 el valor de 34 µg/m³ y una concentración de *background* de 6 µg/m³.

Tabla 41: Factor de equivalencia entre contaminantes

Feq	MP2.5	SO ₂	NO _x	NH ₃
(ton/μg/m ³)	339	993	2.880	2.986

Fuente: Elaboración Propia.

Las equivalencias finalmente, se calculan normalizando para llevar el factor de equivalencia del MP_{2,5} a 1.

Tabla 42: Equivalencia entre contaminantes para compensación de emisiones

	ton MP2,5	ton SO ₂	ton NO _x	ton NH ₃
$\frac{Feq_i}{Feq_{MP2,5}}$	1	0,34089	0,11757	0,11339

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, a partir de la tabla anterior, se obtienen las toneladas equivalentes de los precursores del MP_{2,5} con 1 tonelada del mismo.

Tabla 43: Equivalencia toneladas precursores a 1 tonelada de MP_{2,5}

Toneladas precursor	Equivalencia MP2,5
2,9 ton SO ₂	1 ton MP _{2,5}
8,5 ton NO _x	
8,8 ton NH ₃	

Fuente: Elaboración Propia.

11.2.3 Factores emisión concentración MP

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de material particulado fino (MP_{2,5}). Para estimar el cambio en la concentración de MP_{2,5} con respecto a un cambio en la emisión de un determinado contaminante (NO_x, NH₃, SO_x, 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/m³ el promedio anual de concentración de MP.

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

$$C_{MP2,5} = \sum_i \frac{E_i}{FEC_i} = \sum_i \frac{E_i}{Feq_i * \alpha}$$

Donde i corresponde a las emisiones directas de MP_{2,5} y a sus precursores: NO_x, NH₃ y SO_x.

Con esto, se obtienen los FEC de la Tabla 44, en que α es una constante de valor 1,41.

Tabla 44: Factores emisión concentración para MP_{2,5} anual, ton/μg/m³

	MP _{2,5}	SOX	NOX	NH ₃
FEC MP _{2,5}	481	1.410	4.088	4.239

Fuente: Elaboración propia

La interpretación del FEC calculado corresponde al número de toneladas de contaminante que se requerirían para generar 1 μg/m³ de MP_{2,5}. Por ejemplo, la emisión de 4.088 toneladas de NOx generarían 1 μg/m³ de MP_{2,5}.

El cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso MP_{2,5}; se estima como:

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

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 aproximadamente un 15% menor que en Cerro Navia para la norma anual de MP_{2,5}. Esto se tiene en cuenta para el cálculo de los beneficios.

Adicionalmente, se asume que la concentración de *background*, de 6 μg/m³ de MP_{2,5} anual, se reducirá gradualmente debido a la implementación del Plan de Descontaminación del Valle Central de la VI Región³⁵ y un futuro plan en la V Región, hasta llegar a una reducción de 37% al año 2026³⁶.

11.2.4 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).

³⁵ 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 Fundación Universidad Empresa (2015). Calidad del Aire en la Macro Zona Central de Chile: Aporte Interregional a las Concentraciones de MP_{2,5} en la Región Metropolitana, Preparado para Ministerio del Medio Ambiente.

³⁶ El AGIES del PDA del Valle Central de la VI región estima una reducción de 11,36 μg/m³ de concentración anual de MP_{2,5} equivalente a un 37% de la concentración al inicio del plan.

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 fotoquímica. 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 45: 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.

11.2.5 Beneficios en salud

Los efectos en salud se asocian a principalmente a la fracción fina del material particulado (MP_{2,5}), pero también existen efectos por MP₁₀ y Ozono (O₃) 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 46 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 46: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

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

Fuente: Elaboración propia.

V77A



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:

- ΔEfecto_{pj} : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [(ug/m³)⁻¹],
- β_{pj} : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m³)⁻¹],
- ΔC_{pi} : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m³],
- 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 linealizar³⁷ la expresión anterior de obtiene:

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

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

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

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

Dónde:

- Beneficio_p : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP₁₀, MP_{2,5} y O₃.
- VU_j : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

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

³⁷ Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β es pequeño.



11.2.6 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 atmósfera, comparada con otros gases de efecto invernadero. Es por esto que mitigar estos contaminantes ayudaría en el corto plazo a reducir la tasa de calentamiento global y evitar sobrepasar la meta de incremento de temperatura de 2°C al 2050.

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

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

11.2.7 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 MP₁₀,

VTA



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 CT: Valor presente de los Costos Totales realizadas un horizonte de T años, para todas las medidas [\$],
- Inversión_{m,t}: Inversión de la medida m realizada en el año t [\$],
- Costos OyM_t: Costos de Operación y Mantenimiento realizados en el año t [\$/año],
- CMe_m: Costo Medio de la medida m $\left[\frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$ o $\left[\frac{\$}{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p}} \right]$,
- Red_p: 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 Factores de emisión sector residencial

Tabla 47: Factores de emisión equipos de calefacción residencial (mg/MJ), corregidos por eficiencia de equipos

	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO _x	NO _x	NH ₃	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ 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)

VTA



11.4 Valores unitarios de beneficios

Tabla 48: 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	Largo y corto plazo	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351
Admisiones hospitalarias	Asma	26	26	26	26	29	29	29	0	0
	Cardiovascular	0	0	0	0	58	58	58	58	58
	Respiratorias crónicas	0	0	0	0	37	37	37	38	38
	Neumonía	0	0	0	0	0	0	0	41	41
	Bronquitis	26	26	26	26	37	37	37	38	38
Visitas Salas de Emergencia	Asma	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0
Productividad perdida	Días laborales	0	0	0	0	0,9	0,9	0,9	0	0
	Días de actividad restringida	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0
	Días de actividad restringida menor	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (MMA 2011b)

11.5 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 49 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino,

Tabla 49: 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	Respiratoria corto plazo	0%	0%	0%	0%	0%	0,39%	0,39%	0,39%	0,39%
	Cardiopulmonar largo plazo	0%	0%	0%	0%	0%	0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
	Todas las causas largo plazo	0,39%	0%	0%	0%	0%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
Admisiones hospitalarias	Asma	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0%	0%
	Cardiovascular	0%	0%	0%	0%	0,15%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%
	Respiratorias crónicas	0%	0%	0%	0%	0,24%	0,24%	0,24%	0,12%	0,12%
	Neumonía	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,4%	0,4%
	Bronquitis	0%	0%	0,77%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Bronquitis crónica	0%	0%	0%	0%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%
Visitas Salas de Emergencia	Asma	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0%	0%	0%	0%	0%
Productividad perdida	Días laborales	0%	0%	0%	0%	0,46%	0,46%	0,46%	0%	0%
	Días de actividad restringida	0%	0%	0%	0%	0,47%	0,47%	0,48%	0%	0%
	Días de actividad restringida menor	0%	0%	0%	0%	0,74%	0,74%	0,74%	0%	0%

Fuente: (MMA 2011b)

Tabla 50: Detalle coeficientes de riesgo unitario

Tipo de Efecto	Nombre	Grupo edad	Cont.	Métrica	Fuente	Original Location	Beta	Stderr
Mortalidad Prematura	Exp de Largo Plazo Todas las Causas	0-1	MP10	Annual	Woodruff et al.	Nationwide, USA	0,39%	1,22E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis	5-12	MP10	Annual	Hoek et al.	Nine Countries	0,77%	4,95E-03
Admisiones Hospitalarias	Bronquitis Crónica	18+	MP10	Annual	Combinat ion (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.

11.6 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 actualización AGIES	Septiembre 2016.
	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 49
	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 _{2,5}	(MMA 2011b)
	Reducción de concentraciones por parámetro (Diario)	Año 2026: MP _{2,5} : 12,5 [µg/m ³].
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2026: MP _{2,5} : 3.133 ton/año
	Años de evaluación	2017-2026
Parámetros	Valor del dólar	684.1 pesos/dólar
	Valor de la UF	25.115 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	1.013
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	7.977
	Valor actual neto en MM USD	6.965