



---

**DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**

---

**ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL  
ANTEPROYECTO DE LA REVISIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA PARA LA MACROZONA CENTRO-NORTE DE LA REGIÓN DE LOS  
LAGOS**

---

*Octubre de 2023*

---

**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 Prevención y/o Descontaminación ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en el Reglamento para la Dictación de Normas de calidad (D.S. N° 38/2012 del MMA) y en el Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y Descontaminación Ambientales (D.S. N°39/2012 del MMA), se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la propuesta regulatoria, que sirva como apoyo al proceso de Participación Ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones, enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático (CMS y CC). Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental (DEA) del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de un Plan de Descontaminación, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

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

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana (PAC), el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, no obstante, no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo corresponden a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión. Otros antecedentes pueden ser, por ejemplo, antecedentes geográficos y

demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

Figura 1: Etapa actual del proceso regulatorio y del AGIES



Fuente: Elaboración propia.

El presente documento corresponde a la evaluación de costos y beneficios del Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) del Plan de Descontaminación para la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos, y la revisión<sup>1</sup> del Plan de Descontaminación de la comuna de Osorno, vigente desde el año 2016.

Este análisis evalúa el cumplimiento de la norma diaria de  $MP_{2,5}$  ( $50 \mu g/m^3$ ), la que supone el peor escenario de evaluación y significa la mayor dificultad a la hora de evidenciar el cumplimiento del PDA. Asegurar el cumplimiento de la norma diaria permite justificar el cumplimiento de la norma anual de  $MP_{2,5}$ , y consecuentemente de la norma diaria de  $MP_{10}$ .

Se estiman los beneficios valorizables producto de la reducción de casos de mortalidad y morbilidad en la población. El análisis incluye costos adicionales de medidas ya implementadas en el PDA del 2016<sup>2</sup>, como la implementación de nuevas medidas para las comunas que se adicionan al PDA, o un mayor número de recambios de calefactores y de acondicionamientos térmicos.

Los resultados presentados corresponden a las medidas definidas a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, tales como PAC, Consejos Consultivos y CMS y CC.

<sup>1</sup> Resolución Exenta N°147, del 2021, del Ministerio del Medio Ambiente, que da Inicio al Proceso de Revisión y Actualización del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno.

<sup>2</sup> D.S. N°47 de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece el Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno.

## Resumen

El presente documento presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de la revisión del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para la comuna de Osorno y la implementación de un nuevo Plan de Descontaminación en la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos, el cual considera las comunas de San Pablo, Río Negro, Purranque, Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue, Puerto Varas y Puerto Montt. Su objetivo es evaluar los costos y beneficios asociados a las medidas propuestas en el Anteproyecto dentro de un plazo de 10 años (2026-2035).

Mediante el Decreto Supremo N°24 del 2020 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) se declaró zona saturada por material particulado  $MP_{2,5}$ , como concentración de 24 horas, a la comuna de San Pablo de la Región de Los Lagos y la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos. Adicionalmente, la Resolución Exenta N°147, de 2021, del Ministerio del Medio Ambiente, establece la revisión del PDA para la comuna de Osorno. Ambos procesos han sido unificados en un solo procedimiento a través de la resolución N°1205, del 2021, del Ministerio del Medio Ambiente, de conformidad con el procedimiento y etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300 y en el D.S. N° 39, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente.

Debido a esta unificación de procesos, este AGIES estimará los costos y beneficios asociados a las nuevas medidas para las comunas recientemente incorporadas y el robustecimiento de las medidas ya existentes del PDA vigente para la comuna de Osorno.

Las características territoriales y atmosféricas asociadas a este Plan, el que considera nueve comunas, presentan un desafío respecto a la evaluación. Para poder estimar de manera más concreta los efectos de las medidas con respecto a las estaciones de control (estaciones de calidad del aire), la evaluación del AGIES se realizó separando la zona saturada en dos sectores: por una parte las comunas de (1) San Pablo, Osorno, Puerto Octay, Purranque y Río Negro, cuya calidad del aire está asociada al cumplimiento de los valores de la estación de monitoreo El Alba, y por otro lado las comunas de (2) Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas, cuya calidad del aire corresponde al cumplimiento de los valores en la estación Mirasol, ubicada en Puerto Montt.

Respecto a las emisiones en las comunas, el principal sector emisor es el residencial, el que se estima que aporta cerca del 88% de las concentraciones de  $MP_{2,5}$ . Consecuentemente, las medidas propuestas en el Anteproyecto han sido reforzadas con énfasis en dicho sector mediante (i) el mejoramiento térmico de viviendas y la propuesta de estándares térmicos para viviendas nuevas, (ii) el recambio por equipos de calefacción y cocción más eficientes y menos contaminantes, (iii) la prohibición de quemas agrícolas durante los meses de invierno, (iv) la prohibición gradual de calefactores que no cumplan con estándares de emisión y (v) la implementación de límites de emisión para fuentes emisoras puntuales.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir la norma diaria de  $MP_{2,5}$  en el año 2033 para la estación El Alba, asociada a las comunas de San Pablo, Osorno, Puerto Octay, Purranque y Río Negro, y el año 2034 para la estación Mirasol, asociada a las comunas de Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas (Figura A y Figura B). Esto implica un cumplimiento total para todas las comunas evaluadas.
- A partir de las características de las emisiones de las comunas evaluadas, en las que el 88% proviene del sector residencial, se concluye que se cumple con la norma diaria de  $MP_{10}$ , ya que las medidas fueron diseñadas para reducir la emisión tanto de  $MP_{2,5}$  como la de  $MP_{10}$  (siendo la norma diaria de  $MP_{2,5}$  la de mayor exigencia). Del mismo modo, se da cumplimiento a la norma anual de  $MP_{2,5}$  para la ciudad de Osorno, dado el cumplimiento de la norma diaria de  $MP_{2,5}$ .
- La reducción de emisiones (Figura D) generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad, reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud y reducciones en consumo de combustible para calefacción. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como la mejora en la visibilidad y disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$858 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años<sup>3</sup>. Estos están dados por la reducción de casos de mortalidad, morbilidad y ahorros en calefacción (Figura C y Figura E).
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$195,2 millones y corresponden a: acondicionamiento térmico de viviendas, subsidios para el recambio de calefactores y recambio de buses. Un 54,2% de estos costos son asumidos por el Estado (Figura E).
- La valoración de los beneficios y costos adicionales del PDA indica que su implementación es altamente rentable desde la perspectiva social. Los beneficios netos<sup>4</sup> en valor presente a 10 años se estiman en US\$ 663,3 millones, lo que constituye una razón beneficio-costo de 4,4 (Figura E).

Este análisis concluye que, junto con permitir el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, la norma es consistente con los compromisos del Ministerio del Medio Ambiente, al crear instrumentos que disminuyen la contaminación y promueven la equidad entre sus habitantes.

<sup>3</sup> Supuestos generales: Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 805,1 CLP / Tipo cambio UF: 36.097 CLP.

<sup>4</sup> Los beneficios netos corresponden a los beneficios menos los costos.

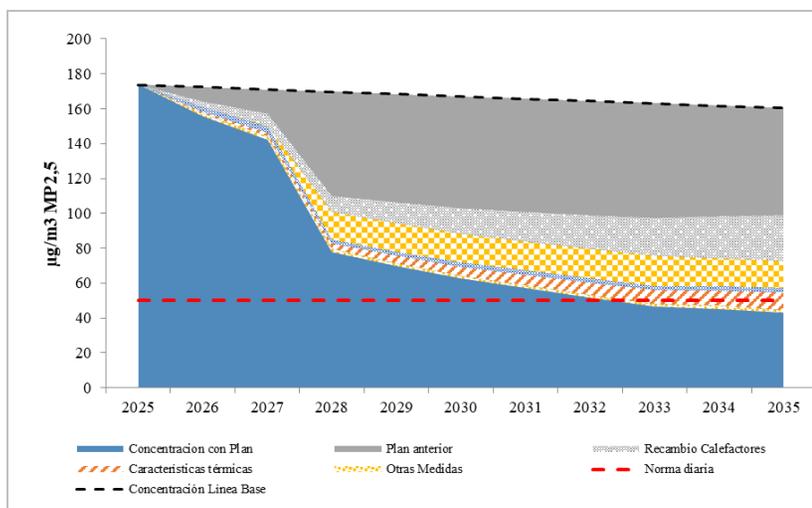


Figura A: Reducción de la concentración diaria de  $MP_{2,5}$  en Osorno

El gráfico presenta la reducción de la concentración de  $MP_{2,5}$  diaria asociada a los valores de la estación El Alba. En él, se observa que se alcanza el objetivo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año 2033 debido a las reducciones que aún generan las medidas del Plan vigente (área de color gris) en la comuna de Osorno, en conjunto con la implementación de medidas en las comunas de San Pablo, Puerto Octay, Purranque y Río Negro.

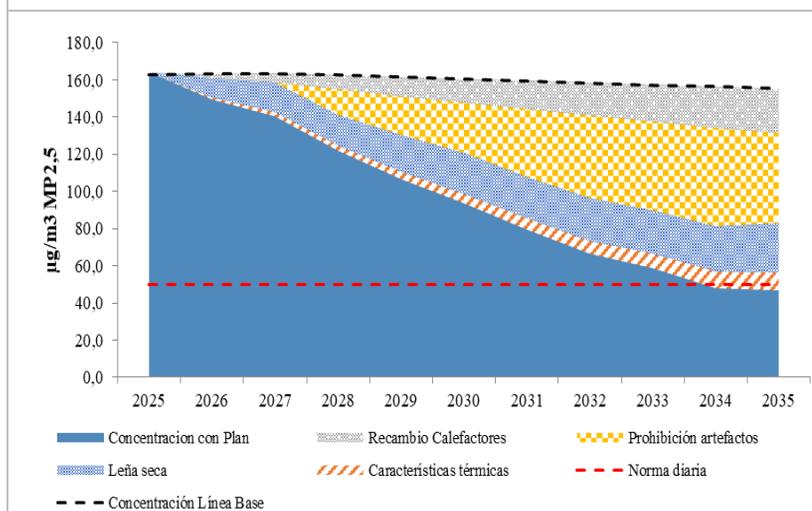


Figura B: Reducción de la concentración diaria de  $MP_{2,5}$  en Puerto Montt

La reducción de la concentración de  $MP_{2,5}$  diaria asociada a los valores de la estación Mirasol (estación con la mayor concentración entre las estaciones cercanas, siendo así el escenario más restrictivo de cumplimiento) muestra que se alcanza el objetivo de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año 2034. Este cumplimiento se asocia a las comunas de Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas.

Figura C: Casos evitados para el año 2035 y la totalidad del plan (2026-2035)

Efectos	Nº casos evitados (2035)	IC al 90%	Nº casos evitados 2026-2035	IC al 90%
<b>Mortalidad</b>	353	[228 - 520 ]	2.238	[1.445 – 3.293 ]
<b>AH- Asma</b>	18	[14 - 23 ]	111	[87 - 143 ]
<b>AH- Cardiovascular</b>	126	[98 - 155 ]	800	[618 - 983 ]
<b>AH- Respiratorias crónicas</b>	29	[0 - 69 ]	185	[0 - 437 ]
<b>AH- Neumonía</b>	60	[26 - 95 ]	384	[164 - 603 ]
<b>VSE: Asma</b>	11.753	[3.842 – 19.663 ]	74.304	[24.292 – 124.315 ]

Número de casos evitados durante el año 2035 y para todo el período de implementación del plan atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 10%.

AH = Admisiones hospitalarias

VSE = Visitas sala de emergencias

Sector del inventario	Línea base 2031		Δ Línea base 2031		Reducción porcentual	
	Emisiones [Ton/año]	Concentración [μg/m3/año]	Emisiones [Ton/año]	Concentración [μg/m3/año]	Δ% Emisiones	Δ% Conc.
Residencial	10.197	53	8.217	43	81%	82%
Quemas	292	2	47	0,33	16%	16%
Industria	237	1	144	0,59	61%	47%
Transporte	526	3	0	0	0%	0%
Fugitivas	348	2	0	0	0%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>11.600</b>	<b>61</b>	<b>8.408</b>	<b>44</b>	<b>72%</b>	<b>73%</b>

Figura D: Reducciones estimadas por sector del inventario

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

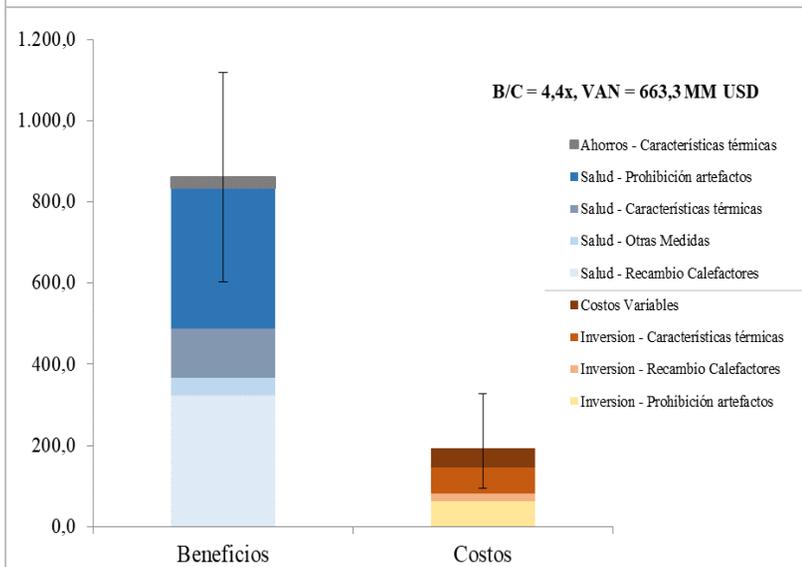


Figura E: Beneficios y Costos del Plan

La razón beneficio costo (B/C) de 4,4 representa la proporción entre los beneficios (ahorros en salud y/o consumo) y los costos (inversión y costos variables) presentes en los gráficos para cada conjunto de medidas. El valor actual neto (VAN) de US\$ 663,3 MM representa la diferencia entre beneficios (US\$ 858 MM) y los costos (US\$195 MM).

## ÍNDICE

<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
1.1 MEDIDAS EVALUADAS.....	8
1.2 CONSIDERACIONES TERRITORIALES DEL PDA.....	9
1.3 CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS.....	11
1.4 INVENTARIO DE EMISIONES.....	11
<b>2. METODOLOGÍA DEL AGIES.....</b>	<b>12</b>
2.1 ASIGNACIÓN PORCENTUAL DE LAS MEDIDAS ENTRE SECTORES.....	15
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	16
3.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES.....	17
3.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS.....	19
3.4 INDICADORES ECONÓMICOS.....	20
3.4.1 Costo-eficiencia de las medidas del PDA.....	20
3.4.2 Análisis Costo-Beneficio.....	23
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>5. REFERENCIAS.....</b>	<b>26</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>28</b>
6.1 INVENTARIO DE EMISIONES PROYECTADO.....	28
6.2 RESULTADOS POR MEDIDA.....	29
6.3 METODOLOGÍA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL.....	30
6.4 SINERGIAS DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	31
6.5 BENEFICIOS EN LA SALUD.....	32
6.6 EVALUACIÓN DE COSTOS.....	34
6.7 FICHAS DE MEDIDAS.....	36
6.7.1 Recambio de calefactores.....	36
6.7.2 Acondicionamiento térmico.....	36
6.7.3 Prohibición de leña en viviendas nuevas.....	37
6.7.4 Límite de emisión de calderas.....	38
6.7.5 Quemadas agrícolas.....	38
6.7.6 Valores unitarios de beneficios.....	39
6.8 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO.....	39
6.9 FICHA DE ELABORACIÓN DEL AGIES.....	40

## 1. Antecedentes

Mediante el Decreto Supremo N° 24 del 2020 del MMA, se declaró zona saturada por material particulado MP<sub>2,5</sub>, como concentración de 24 horas, a la comuna de San Pablo de la Región de Los Lagos y la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos. Adicionalmente, la Resolución Exenta N°147 de 2021 establece la revisión del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno. Ambos procesos han sido acumulados en un solo procedimiento a través de la resolución N°1.205 del 2021, de conformidad con el procedimiento y etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300 y en el D.S. N° 39 de 2012 del MMA.

Este PDA especifica en su artículo N°84, que “Con el propósito de complementar en lo que sea necesario, los instrumentos y medidas, a fin de cumplir las metas de reducción de emisiones planteadas, se establece para la revisión y actualización del presente Decreto un plazo de 5 años desde la publicación del mismo en el Diario Oficial” siendo este documento la evaluación de la actualización de dicho Plan en conjunto con las medidas propuestas para toda la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos.

A continuación, se presentarán los antecedentes de las nuevas propuestas asociadas a la revisión del Plan de Osorno y al nuevo Plan para la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos. Esta evaluación considera una vigencia de 10 años, por lo que este análisis comprende un plazo entre los años 2026 al 2035. En este período, se espera dar cumplimiento a la norma por MP<sub>2,5</sub> diaria y a las normas anuales de MP<sub>2,5</sub> y diaria de MP<sub>10</sub> para la comuna de Osorno.

### 1.1 Medidas evaluadas

Las modificaciones en las medidas propuestas en el AP de la revisión del PDA, las cuales a su vez aplicarán a todas aquellas comunas que no posean plan dentro de la zona declarada, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1: Medidas con cambios propuestas evaluadas por el AGIES

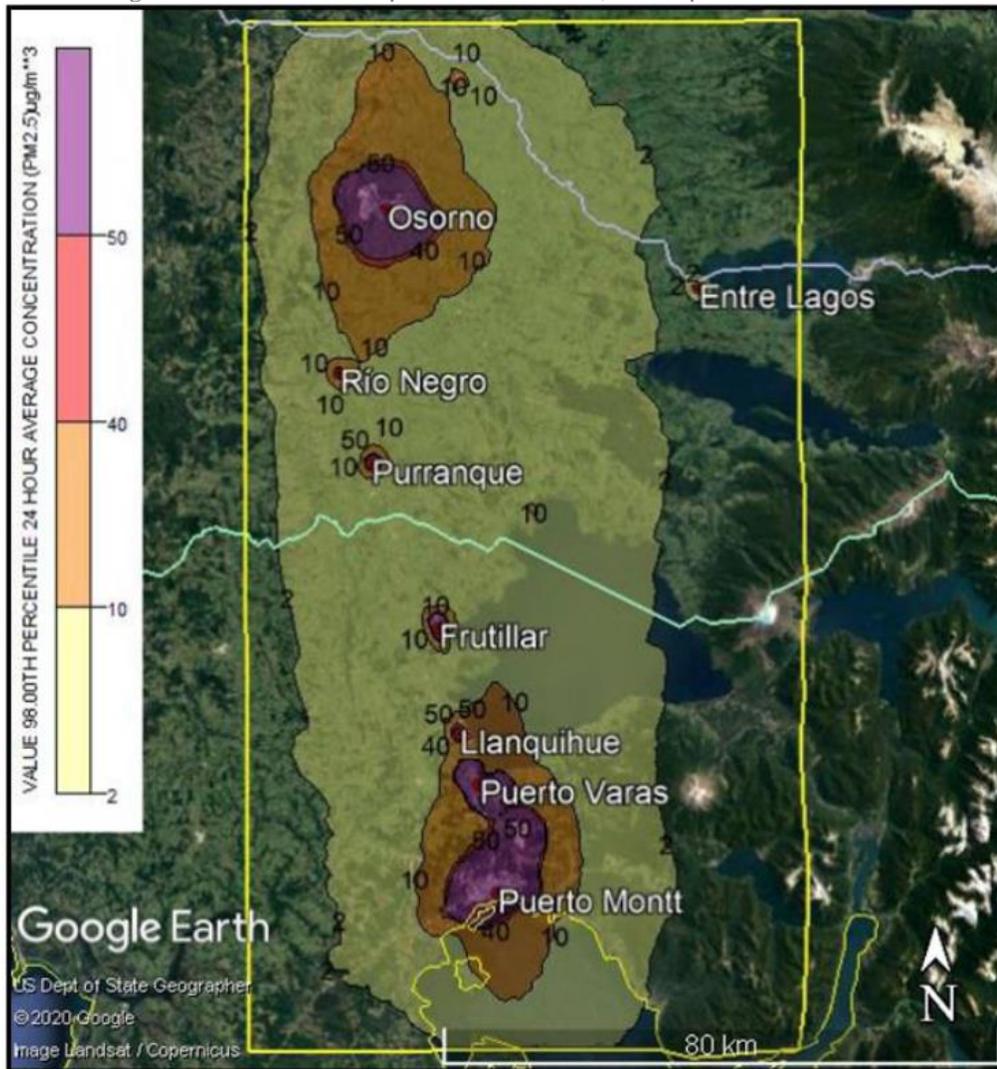
Medida	PDA
<b>Acondicionamiento térmico</b>	Artículo 22: se implementará un programa de recambio de calefactores y cocinas a leña, de al menos <b>45.000</b> calefactores, esta cifra contabilizará los recambios realizados a la fecha.
<b>Acondicionamiento térmico de viviendas</b>	Artículo 4: Se implementarán al menos <b>40.000</b> subsidios de acondicionamiento térmico, hasta el término de la vigencia de este decreto. Los estándares térmicos de los recambios han sido definidos para viviendas existentes en el artículo 7 del anteproyecto
<b>Leña seca</b>	Artículo 27: Toda leña comercializada en la zona saturada deberá cumplir con los requerimientos

	técnicos de la Norma NCh 2907.
<b>Prohibición gradual de calefactores</b>	Artículo 20: Se prohíbe a partir del 3er año de entrada en vigencia del Plan, en toda la zona saturada, la utilización de calefactores que no cumplan con la normativa.
<b>Control de la emisión al aire de calderas de uso residencial, industrial y comercial</b>	Artículo 42: las calderas nuevas y existentes deberán cumplir los límites normativos para MP, especificados en la Tabla N°28 del Anteproyecto.
	Artículo 43: las calderas nuevas y existentes deberán cumplir los límites normativos para SO <sub>2</sub> , especificados en la tabla N°29 y 30 del Anteproyecto.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.2 Consideraciones territoriales del PDA

De los resultados del “Informe técnico para declarar Zona Saturada por material particulado fino respirable (MP<sub>2,5</sub>) a la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos”, se puede observar que, considerando las variables climáticas, la distribución de la concentración en la zona saturada está estrechamente relacionada con zonas geográficas específicas, tales como Osorno y el complejo Puerto Varas-Puerto Montt (ver Figura 2).

Figura 2: Distribución del percentil 98 de MP<sub>2,5</sub> diario para la zona saturada

Fuente: Informe técnico para declarar Zona Saturada por material particulado fino respirable (MP<sub>2,5</sub>) a la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos.

A partir de los modelos de dispersión atmosféricos que relacionan las condiciones meteorológicas, territoriales y la emisión, la zona saturada se ha dividido en dos áreas. La primera abarca las comunas de San Pablo, Osorno, Puerto Octay, Purranque y Río Negro, cuyos efectos en la reducción de la contaminación se relacionan con la calidad del aire de la estación de monitoreo El Alba, en Osorno. El segundo sector considera las comunas de Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas, cuyos efectos en la reducción de la emisión se asocian a las concentraciones de la estación Mirasol, en Puerto Montt. Esta separación se realiza con el fin de dar mayor certeza a la modelación del AGIES.

Debido a lo anterior, de manera adicional se han dividido las medidas, lo que quiere decir que un porcentaje de los recambios y acondicionamientos térmicos se utilizarán para modelar la reducción de emisiones para el primer sector y otro porcentaje para el segundo sector. Los

porcentajes de recambios y acondicionamientos empleados en los sectores fueron asignados en relación a su población, de modo que las comunas asociadas a la estación Mirasol considerarán un mayor porcentaje con respecto a las comunas asociadas a la estación El Alba.

Cabe señalar que esta diferenciación en el territorio se establece exclusivamente para la modelación del AGIES y no representa una obligatoriedad dentro del Plan de Descontaminación, tampoco genera variación en los resultados de costos o beneficios.

### 1.3 Concentraciones atmosféricas

En la Tabla 2 se presentan los valores de las concentraciones utilizadas para la modelación del Anteproyecto propuesto. Estos valores son utilizados como información de línea base y para los cuales se calcula la reducción en concentración de las medidas y el cumplimiento del plan. Los criterios utilizados para la elección del valor corresponden a la data coincidente en su temporalidad con la elaboración de los inventarios de emisión (año base 2017), y buscan representar el escenario de mayor concentración de las estaciones con mediciones en las comunas presentes en la Macrozona centro-norte de la región de Los Lagos. Por tanto, se trata del escenario de mayor dificultad para su cumplimiento.

Tabla 2: Concentraciones  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  utilizadas en la modelación

Estación	Medida	MP <sub>2,5</sub>	Criterio
El Alba	Diaria	183	Percentil 98 para los datos de concentración del año 2017.
Mirasol	Diaria	163	Percentil 98 para los datos de concentración del año 2017.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.4 Inventario de emisiones

La Tabla 3 presenta las emisiones estimadas para el año 2026 a partir de la metodología y modelo utilizados para la elaboración del AGIES, para los distintos sectores de la zona estudiada. Este inventario toma como base el inventario del PDA del año 2017 y una proyección basada en el crecimiento de la población, crecimiento del parque automotriz, crecimiento industrial y el recambio natural de artefactos, la entrada de viviendas nuevas con mejores estándares de aislación, etc. (ver inventario proyectado entre el año 2017 y 2035 en Tabla 8) El mayor aporte es generado por el sector residencial, con un 88% de participación en las emisiones de MP<sub>2,5</sub>, debido principalmente al uso de biomasa en la calefacción.

Tabla 3 : Inventario de emisión ton/año base calculadas para MP<sub>2,5</sub> estimado para el año 2026

Sector del Inventario	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
Área - Residencial	11.610	10.809	101	3.040
Área - Quemadas	306	292	19	101
Puntual - Industria	322	237	1.140	1.519
Móviles - En Ruta	535	526	17	7.302
Fugitivas	2.311	348	0	0
<b>Total</b>	<b>15.084</b>	<b>12.212</b>	<b>1.277</b>	<b>11.962</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio (ACB), 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.

En primer lugar, es importante especificar que, al tratarse de la revisión de un PDA, la línea base considera las medidas ya implementadas por el plan que se encuentra en vigencia, y adicionalmente considera que los cumplimientos de las metas de ese Plan serán independientes en cuanto a la evaluación de costos y beneficios de las medidas adicionales impulsadas por este nuevo PDA. De este modo, esta evaluación considera medidas que aún tienen efectos de reducción del PDA de la comuna de Osorno, pero no considera los costos o beneficios que estas medidas generen a futuro, puesto que ya fueron cuantificadas en la evaluación del PDA vigente a la fecha. Su consideración podría significar un error metodológico al cuantificar doblemente sus efectos en los costos y beneficios.

Por esto, si bien el nuevo PDA traerá una modificación en la cantidad de recambios y acondicionamientos térmicos a implementarse, se evalúa para la comuna de Osorno i) el adicional de recambio de calefactores y ii) el adicional de acondicionamientos térmicos, mientras que para las demás comunas se evalúa la totalidad de las medidas definidas en la Tabla 1.

Las reducciones de emisiones son atribuibles a las medidas definidas en el Anteproyecto, las que afectan heterogéneamente a los distintos sectores involucrados, siendo de especial

relevancia las aplicadas al sector residencial. En este caso, se consideraron las sinergias que genera la implementación de dichas medidas de manera secuencial<sup>5</sup>, evitando así sobredimensionar la reducción de emisiones para evaluar la efectividad de cada una de las medidas de forma realista. Para mayor detalle, ver la sección 6.4.

El AGIES es elaborado mediante 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, un modelo de concentración-respuesta basado en estudios epidemiológicos<sup>6</sup> y un modelo económico de valorización de los beneficios. Paralelamente, se integra información sobre los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para realizar el ACB (ver Figura 3) (Szklo & Nieto, 2014).

Los beneficios valorizados de las medidas del plan corresponden a impactos en la salud de la población expuesta debido a la disminución de concentración ambiental de MP<sub>2,5</sub> producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad laboral perdida. Adicionalmente, se valoran los beneficios por ahorros en el uso de combustible destinado a calefacción debido a medidas que mejoran la eficiencia o reducen la demanda del mismo. En relación a los costos, se incorporan la inversión y costos de operación, incluyendo los subsidios a otorgar por el Estado.

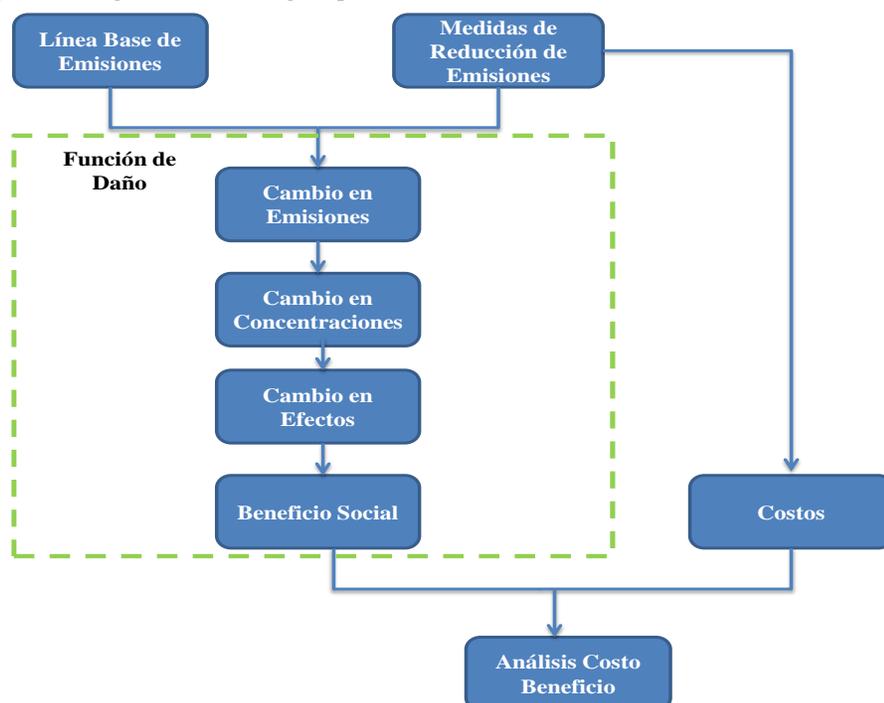
La metodología es aplicada para todas las comunas del PDA, considerando una aplicación proporcional a la población de las medidas, tal como se explicó en la sección 1.2 del presente documento.

---

<sup>5</sup> Por ejemplo, si dos medidas con eficiencias del 70% y 80% son aplicadas sobre una misma fuente emisora, el orden que implemente la medida afecta la efectividad de cada una de ellas, no así el valor de la reducción total de emisiones, que en este caso correspondería a  $1 - (1-0,7) \cdot (1-0,8) = 0,94$ .

<sup>6</sup> Epidemiología se define como el estudio de la distribución y determinantes de estados de salud o eventos en poblaciones determinadas y la aplicación de este estudio para controlar los problemas de salud (Szklo & Nieto, 2014).

Figura 3: Diagrama metodológico para la evaluación del AGIES, Análisis Costo-Beneficio



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

Dentro de las limitaciones del análisis se encuentran los beneficios por reducción de  $MP_{2,5}$  que no fueron valorizados, tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, efectos en la salud en otras comunas del país y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*<sup>7</sup>. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o falta de información base para hacer la evaluación correspondiente.

Finalmente, es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante el uso de la metodología aquí planteada, sin embargo, no debe ser considerada como el único criterio para la aprobación de una política pública (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Ésta debe tener una visión integral que incorpore otras variables, tales como el riesgo de la población expuesta<sup>8</sup>, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmósfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.

<sup>8</sup> En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$ , la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

<sup>9</sup> D.S. N°38 y D.S. N°39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático los cuales intentan incorporar los aspectos mencionados.

## 2.1 Asignación porcentual de las medidas entre sectores

Tabla 4: Asignación porcentual entre sectores del PDA, asociados a cada estación de monitoreo

Medida	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Sector Osorno- El Alba	38%	38%	38%	38%	37%	37%	37%	37%	37%	37%
Sector Puerto Montt- Mirasol	62%	62%	62%	62%	63%	63%	63%	63%	63%	63%

Fuente: Elaboración propia.

Las comunas asociadas al sector Osorno-El Alba corresponden a San Pablo, Osorno, Puerto Octay, Purranque y Río Negro, mientras que las comunas asociadas al sector de Puerto Montt-Mirasol corresponden a Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas. La Tabla 4 presenta el porcentaje de la población perteneciente a las comunas de cada sector, los que fueron empleados para la aplicación de las medidas de recambios y acondicionamientos térmicos. De este modo, se obtiene que para el año 2026, un 38% de los recambios y acondicionamientos serán aplicados en las comunas del sector de Osorno, significando que sus efectos se verían reflejados en la reducción de las concentraciones en la estación El Alba. Esto es equivalente para el sector de Puerto Montt.

Es importante aclarar que esta distribución es un supuesto construido para poder realizar la evaluación del Plan bajo un escenario conservador, pero no representa el mandato legal del PDA ni tampoco reproduce la real aplicación de las medidas a futuro, ya que su aplicación dependerá de otros factores, tales como la postulación de los participantes, determinaciones técnicas, u otras.

Sin embargo, cambios menores en la distribución no afectarán mayormente los resultados. Por ejemplo, un cambio en 1.000 acondicionamientos térmicos y/o recambios de calefactores al año entre un sector u otro no implican el incumplimiento de las metas del Plan.

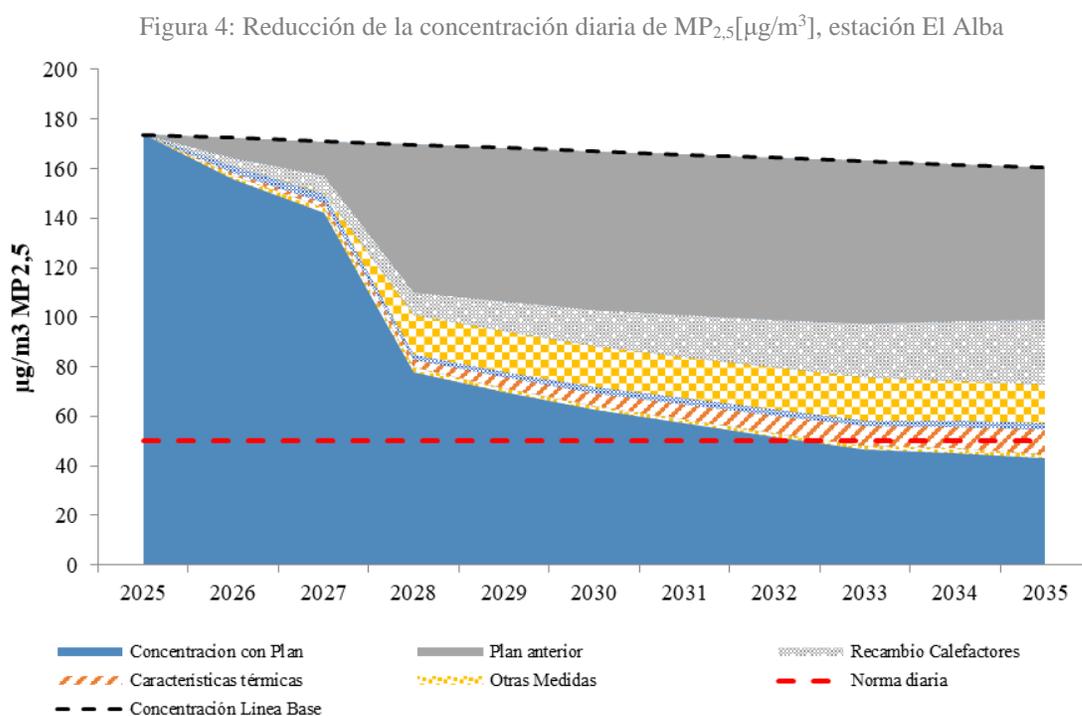
### 3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las medidas evaluadas y definidas en la Tabla 1 para la reducción de la concentración atmosférica. También se calculan los costos y beneficios en salud asociados a la reducción de la concentración atmosférica por  $MP_{2,5}$ , según la metodología detallada anteriormente.

#### 3.1 Efectos en calidad del aire

La implementación de las medidas se estima a partir del año 2026, por lo que el Plan comprenderá un periodo de 10 años calendario (2026-2035, del 1 de enero a 31 de diciembre). Para la evaluación de este Plan, se hace el supuesto de que la evaluación más restrictiva es la de  $MP_{2,5}$  diario, por lo cual se utilizará esta medida para considerar el cumplimiento del plan en su norma de  $MP_{2,5}$  diaria y en las normas de  $MP_{10}$  diarias y anuales.

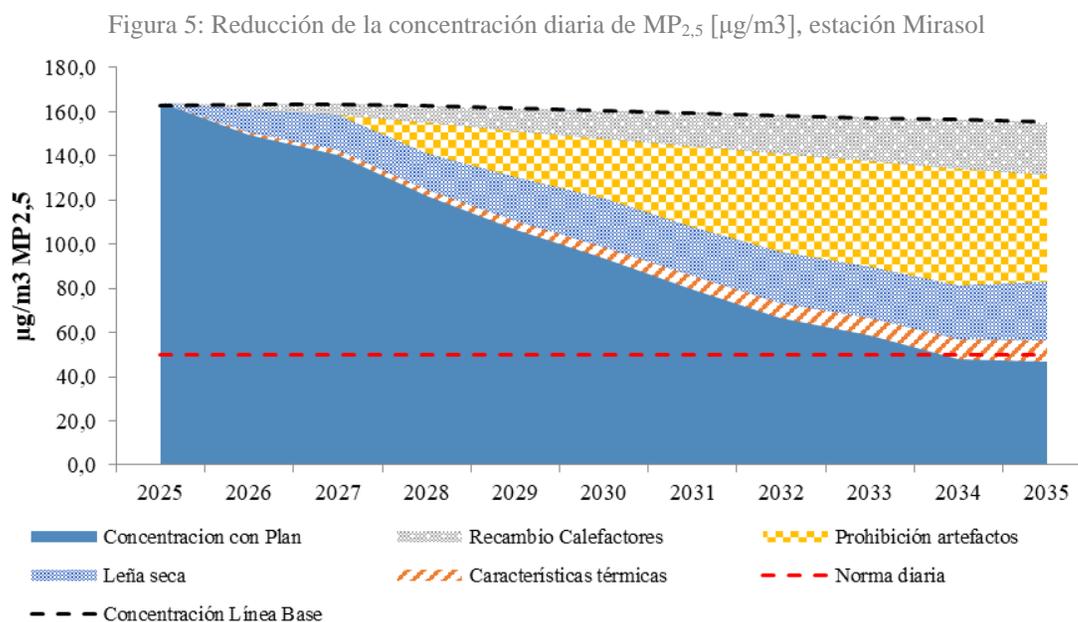
Considerando los supuestos anteriormente mencionados, la Figura 4 presenta la reducción en la concentraciones anuales para  $MP_{2,5}$  para el sector Osorno-El Alba. Se puede observar que al año 2033 y producto de las nuevas medidas del Plan, se genera un cumplimiento de la norma ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), alcanzando una concentración de  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año 2035, con todas las medidas del Plan ya implementadas.



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior se observa que aún existen reducciones en la concentración dado el plan vigente de la ciudad de Osorno, en el que medidas como comercialización de leña seca o prohibición gradual de calefactores generan reducciones en el tiempo.

La Figura 5 presenta las reducciones estimadas para la concentración atmosférica de  $MP_{2,5}$  en su métrica diaria para el sector de Puerto Montt-Mirasol.



Fuente: Elaboración propia.

Se estima que la norma diaria para  $MP_{2,5}$  se cumplirá el año 2034, logrando una concentración de  $44,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y manteniendo este cumplimiento hasta el año 2035, en donde la concentración se estima en  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos valores suponen un descenso de los niveles establecidos por la norma, por consiguiente, se considerará un cumplimiento en los objetivos del PDA para ambos sectores. Esto se traduce en el cumplimiento del PDA para toda la zona saturada. Para mayor detalle de las medidas y sus reducciones de emisión, revisar la sección 6.1.1 de Anexos.

### 3.2 Reducción de emisiones y de concentraciones

En la Tabla 5 se presentan las emisiones y concentraciones de  $MP_{2,5}$  de línea base asociadas a los sectores residencial, quemas, industria, transporte y fuentes fugitivas, así como las reducciones para el año 2035 (considerado como el año de plena implementación de todas las medidas) derivadas de la implementación de las medidas del Plan para dichos sectores. Se muestran las reducciones totales del PDA considerando ambos sectores (sector Osorno y sector Puerto Montt).

Tabla 5: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> con respecto a la línea base, año 2035

Sector	Línea base 2035		Reducción año 2035		Reducción sector	Reducción total
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m <sup>3</sup> /año]	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [µg/m <sup>3</sup> /año]	% Emisión	% Conc.
Residencial	10.197	53	8.217	43	81%	82%
Quemas	292	2	47	0,33	16%	16%
Industria	237	1	144	0,59	61%	47%
Transporte	526	3	0	0	0%	0%
Fugitivas	348	2	0	0	0%	0%
<b>TOTAL</b>	11.600	61	8.408	44	72%	73%

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior, se aprecia que las mayores reducciones de emisiones corresponden al sector residencial, con 8.217 ton/año en el año 2035. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de recambios de calefactores y acondicionamientos térmicos planteados en el PDA, lo que permitirá reducir drásticamente las emisiones de este sector. Otras reducciones, como quemas agrícolas e industrias, poseen reducciones acordes a su participación en las emisiones, y permiten de igual manera dar cumplimiento a los objetivos del PDA.

El conjunto de reducciones en la concentración para la totalidad de las comunas del PDA al año 2035, junto con su reducción porcentual, se presentan en la Tabla 6, donde se observa que la medida más importante corresponde a la prohibición gradual de calefactores, seguida por el programa de recambio de calefactores y la comercialización de leña seca. Cabe destacar que la prohibición gradual de calefactores considera el recambio gradual de calefactores que no cumplen con la norma de emisión para artefactos de calefacción que combustionen leña (D.S. N°39 de 2011, del MMA) por calefactores más eficientes.

Tabla 6: Reducción de concentraciones de MP<sub>2,5</sub> diaria por medida, año 2035

Medida	Diario	
	Reducción de concentración [µg/m <sup>3</sup> ]	Reducción de concentración [%]
Recambio Calefactores	50,9	22%
Proh. Gradual calefactores	117,8	51%
VE- Reacondicionamiento térmico	19,3	8%
Leña Seca	38,1	16%
Quemas	1,7	1%
FF - Limite Emisión	3,1	1%
<b>TOTAL</b>	<b>231,0</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las reducciones por medida estiman que el recambio de calefactores es la medida que reduce la concentración con mayor intensidad al año 2035, debido a los 20.000 recambios

adicionales de calefactores que propone el anteproyecto evaluado. Por su parte, la medida de acondicionamiento térmico de viviendas posee reducciones acordes a los nuevos acondicionamientos propuestos en esta revisión (25.000 acondicionamientos adicionales), los que generan reducciones suficientes para dar cumplimiento al PDA al año 2031.

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

Para entender mejor los beneficios monetarios relacionados a la salud presentados en la sección 3.4 sobre indicadores económicos, la Tabla 7 muestra una estimación del número de casos evitados por tipo de evento para el año 2035 debido a la menor concentración esperada de MP<sub>2,5</sub> y la cual corresponde a la fecha de término del plan, donde se consideran todas las medidas ya implementadas. Adicionalmente, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 6.8 de Anexos.

Cabe destacar que, pese a que este PDA está enfocado en MP<sub>2,5</sub> en su métrica diaria, las medidas implementadas tendrán efectos en la reducción de su concentración diaria y anual. Es por esto que se contabilizan los casos de mortalidad (crónica) que se evitarían con la implementación de nuevos recambios de calefactores, acondicionamientos térmicos y otras medidas evaluadas. En vista de que la zona saturada de este PDA abarca una población entre 581.727 personas al año 2026 y de 607.192 al año 2035, se usan las proyecciones del CENSO para las 9 comunas para presentar los casos evitados para el período.

Tabla 7: Número de casos evitados al año 2035 y para la totalidad del plan (2026-2035)

Evento	Tipo	Per50	IC90	Per50	IC90
<b>Mortalidad</b>	<i>Largo Plazo</i>	353	[228 - 520 ]	2.238	[1.445 – 3.293 ]
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	18	[14 - 23 ]	111	[87 - 143 ]
	<i>Cardiovascular</i>	126	[98 - 155 ]	800	[618 - 983 ]
	<i>Respiratorias crónicas</i>	29	[0 - 69 ]	185	[0- 437 ]
	<i>Neumonía</i>	60	[26 - 95 ]	384	[164 - 603 ]
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma 2</i>	11.753	[3.842 – 19.663 ]	74.304	[24.292 – 124.315 ]
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>	66.219	[58.948 – 71.939 ]	418.534	[372.575 - 454686 ]
	<i>Días de actividad restringida</i>	339.746	[322.869 – 362.209 ]	2.148.380	[2.041.647 – 2.290.441 ]
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	657.063	[570.815 – 699.056 ]	4.154.950	[3.609.534 – 4.420.553 ]

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Indicadores económicos

A continuación, se presentan los resultados de acuerdo a la metodología establecida en la sección 2 del presente informe. En primer lugar, el análisis de la costo-eficiencia de las medidas, y en segundo lugar, el análisis costo-beneficio del plan.

#### 3.4.1 Costo-eficiencia de las medidas del PDA<sup>10</sup>

En la Figura 6 se presentan para cada medida aplicada al sector de Osorno los resultados del análisis de costo-efectividad ordenados según su costo medio, en millones de dólares por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{MP}_{2,5}$  reducido. Este costo considera la inversión realizada y el diferencial de costos de operación y mantención<sup>11</sup>. De la relación entre los costos y las reducciones de las medidas, se observa que la medida de recambio de calefactores es la que genera mayores reducciones ( $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con un costo medio de US\$ 1,4 millones por microgramo reducido. A esta medida le sigue la prohibición gradual de calefactores, con una reducción de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un costo medio de US\$ 11 millones por microgramo reducido. Luego, se encuentra la medida de acondicionamiento térmico, con una reducción de  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un costo medio de US\$ 6 millones por microgramo reducido. Otras medidas, como quemas agrícolas y comercialización de leña seca, presentan bajas reducciones dado que el PDA de Osorno ya consideraba la implementación de estas.

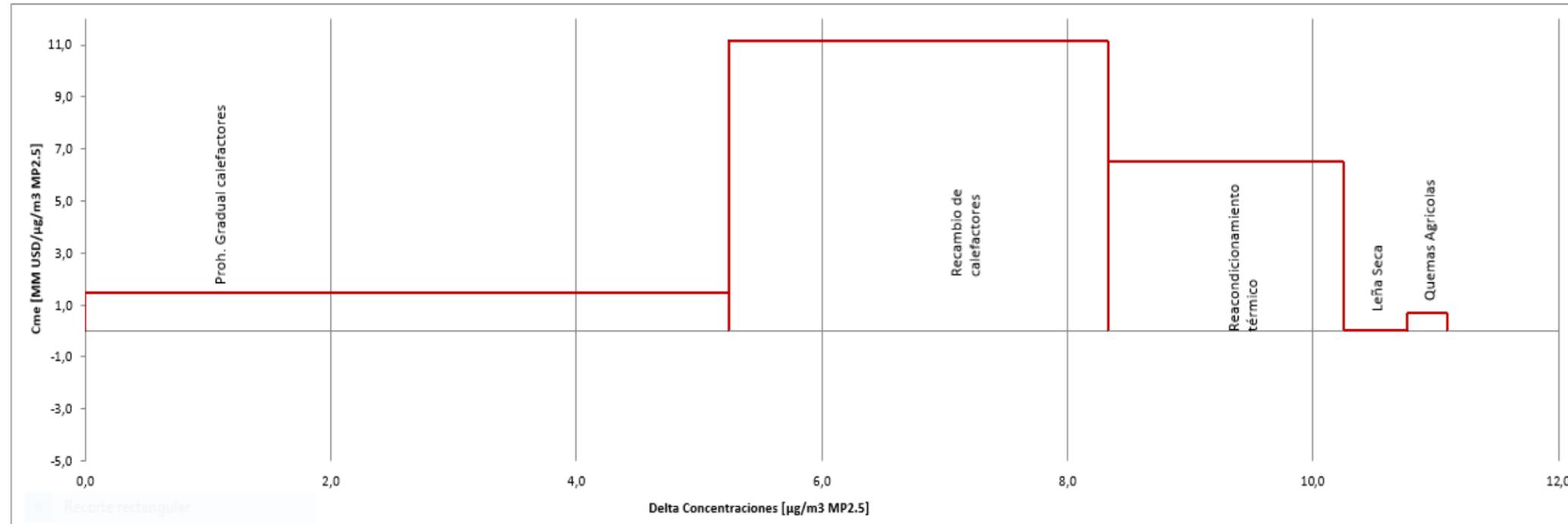
Por su parte, la Figura 7, la que muestra los costos medios de las medidas aplicadas en el sector de Puerto Montt, se observa que la prohibición gradual de calefactores y su reemplazo por calefactores que cumplan la norma de emisión de calefactores D.S. N°39 de 2011 es la medida que posee la mayor reducción, la cual corresponde a  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a un costo medio de US\$ 3,8 millones por microgramo reducido. A esta medida le sigue la comercialización de leña seca con una reducción de  $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y no posee costos ya que estos se asocian a la ley de biocombustibles (Ley N°21.499 del 2022). A su vez, esta medida es altamente eficiente, debido a que no existía previamente un estándar de leña seca para estas comunas. La medida de recambio de calefactores posee una reducción de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con un costo de US\$ 1,7 millones por microgramo reducido, mientras que el acondicionamiento térmico de viviendas posee una reducción de  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a un costo de US\$ 7,1 millones por microgramo reducido. Otras medidas, como los límites de emisión para calderas y quemas agrícolas, poseen reducciones menores.

<sup>10</sup> Eficiencia: capacidad de una medida de reducir emisiones en relación a los costos que genera. Efectividad: capacidad de reducir emisiones de una medida. Una medida puede ser muy eficiente pero poco efectiva para cumplir las metas del Plan.

<sup>11</sup> Las medidas con un costo medio negativo (ubicadas a la izquierda de la figura) serán más costo-eficiente dado que reduce la contaminación a un costo menor; por otro lado, el ancho de la medida en la horizontal indica la efectividad de la medida, es decir, la cantidad o el potencial de concentración ambiental que es capaz de reducir.

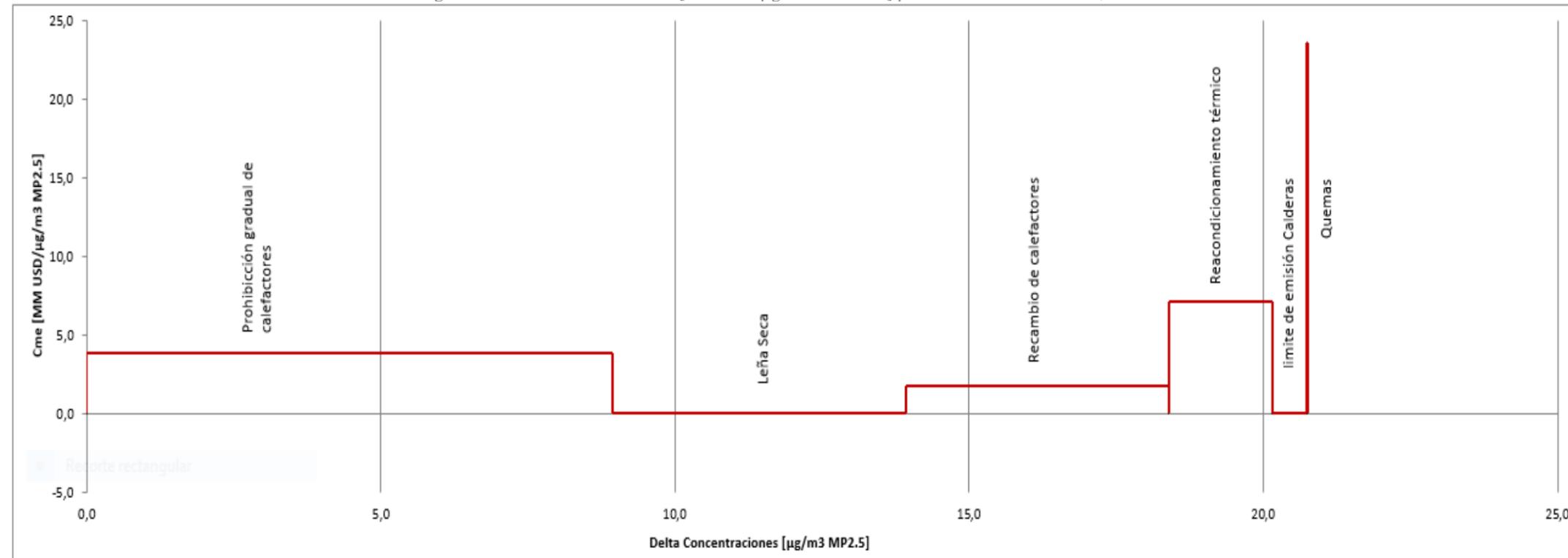
Cabe destacar que existen sinergias estrictas entre las medidas, por lo que la reducción de las medidas de acondicionamiento térmico, recambio de calefactores y leña seca interactúan entre sí para maximizar sus reducciones.

Figura 6: Costo medio de medidas [MM US\$/μg/m3 de MP2.5] para el sector Osorno, año 2035



El gráfico considera la inversión, costos variables y ahorros de operación anualizados, sin incluir los beneficios en salud. Los valores corresponden al año 2031, en que todas las medidas establecidas se encuentran vigentes.  
Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013)

Figura 7: Costo medio de medidas [MM US\$/μg/m3 de MP2.5] para el sector Puerto Montt, año 2035



El gráfico considera la inversión, costos variables y ahorros de operación anualizados, sin incluir los beneficios en salud. Los valores corresponden al año 2031, en que todas las medidas establecidas se encuentran vigentes.  
Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013)

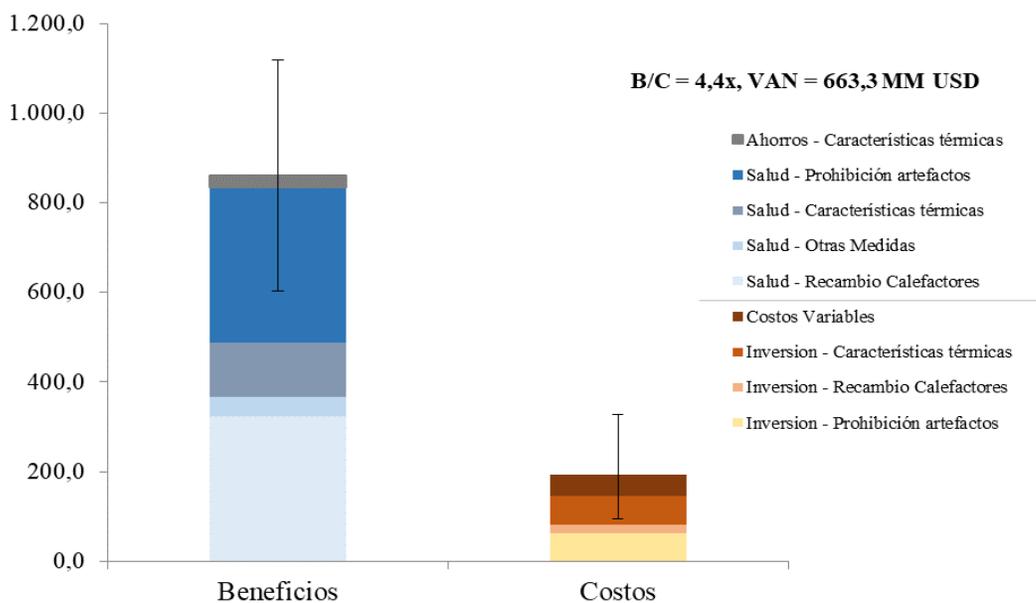
### 3.4.2 *Análisis Costo-Beneficio*

La Figura 8 muestra en valor presente los beneficios y costos asociados a la implementación del Plan, considerando las medidas a implementar en el anteproyecto. El beneficio social neto es de US\$ 663,3 millones de dólares para el periodo de evaluación, con beneficios cercanos a 4 veces (4,4x) los costos. Se puede observar que las medidas del Plan generan beneficios por la reducción de casos de morbilidad y mortalidad, así como ahorros por el mejoramiento térmico de las viviendas, el uso de calefactores más eficientes y el uso de leña seca.

Altos valores de los beneficios están dados por la cantidad de población afecta, lo que genera un gran número de casos evitados dentro de las 9 comunas que comprenden la zona saturada. Al reducir la concentración en valores cercanos al 70% tanto para el sector de Osorno como para el sector de Puerto Montt, es razonable tener altos beneficios en la población.

Se determinó que el costo total del nuevo Plan corresponde a US\$ 195 millones de dólares para el período de evaluación. Los recambios de calefactores dan cuenta de un 9% de estos costos, el acondicionamiento térmico de viviendas corresponde a un 33% de los costos y la prohibición gradual de calefactores genera un 32% de los costos del Plan. Los costos variables corresponden al 25% de los costos del Plan, y consideran mayores costos de operación del uso de artefactos, mayor costo de la leña seca, costos de operación y mantención para tecnologías de abatimiento, entre otras.

Figura 8: Valor presente de beneficios, costos, beneficio neto y razón B/C (MM US\$)

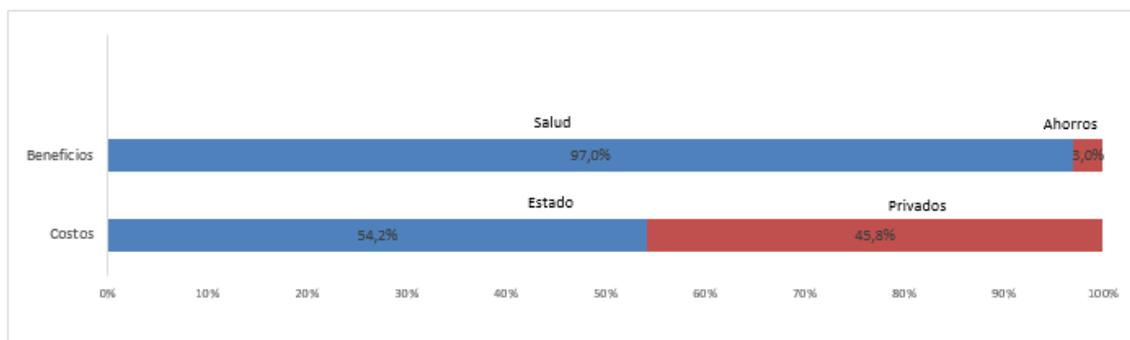


El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de UF del año, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF12. Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. El beta utilizado (de largo plazo) para adultos sigue una distribución normal, con media de 0.93% y un IC al 90% de [0.47; 1.41]. Para los costos se asume una desviación de 30%.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los costos, el Estado asume un 54,2% de estos por concepto de subsidio a los recambios de calefactores y subsidios de aislación térmica. Por su parte, los emisores financian el 45,8% de los costos correspondientes en mayor parte a costos variables, la implementación de maquinaria para substituir las quemas agrícolas y la implementación de abatimientos en calderas residenciales e industriales.

Figura 9: Distribución de beneficios y costos



Fuente: Elaboración propia.

<sup>12</sup> MMA (2012). Nuevos Elementos para la Inclusión de la Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES, Preparado por GreenLabUC, Licitación Pública 608897-143-LE11, para Ministerio del Medio Ambiente.

## 4. Conclusiones

Para la evaluación del Plan se realizó un ACB, en el que se cuantificaron y valorizaron, cuando fue posible, los beneficios en salud y los costos identificados de las diferentes medidas, junto con los ahorros generados en el sector residencial producto de la reducción en el consumo de combustible.

Del análisis, se desprende que el beneficio social total del Plan es de US\$ 663,3 millones de dólares en valor presente. Estos beneficios se concentran principalmente en la reducción de casos de mortalidad y morbilidad y en ahorros dados por un mejor estándar de confort térmico, lo que generará un menor consumo de leña en los hogares. Estos beneficios resultan en gran parte de la aplicación de medidas en el sector residencial, en la reducción de concentración de  $MP_{2,5}$ .

Los costos totales se estiman en US\$ 195 millones de dólares. Las medidas de recambio de calefactores y acondicionamientos térmicos pese a que incurre en costos posee un alto nivel de reducción. Los demás sectores tienen un costo medio mayor, esto es, cada unidad de concentración reducida es más costosa. El aporte del Estado alcanza un 54,2% de los costos, este valor se debe principalmente a un alto número de subsidios de aislación térmica y al alto número recambio de calefactores implementados. Por otra parte, los emisores aportan con el 45.8% de los costos, los cuales principalmente corresponden a costos variables.

Respecto a la concentración alcanzada con el Plan, la zona lograría salir de la saturación por norma diaria de  $MP_{2,5}$  en el año 2033 para la estación El Alba y al año 2034 para la estación Mirasol, llegando a niveles de concentración cercanos a los  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2035 para ambas estaciones, suponiendo un cumplimiento en todo el territorio asociado a la zona saturada.

Es importante señalar que los resultados obtenidos en este análisis obedecen a la metodología y supuestos establecidos y deben ser considerados como un antecedente más para la toma de decisiones, a la cual se debe incorporar otros elementos relevantes para la discusión del instrumento. En el futuro se espera reportar dentro de los AGIES los efectos de la política pública en la paridad de género y pueblos originarios, además de informar acerca de los potenciales efectos asociados al cambio climático.

## 5. 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.
- DICTUC (2008). Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, Encargado por Gobierno Regional Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- EPA (2000). Guidelines for preparing economic analyses. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.
- Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."
- GreenLabUC. (2013). Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas, Solicitado por SEREMI del Medio Ambiente de la Región de la Araucanía.
- MIDEPLAN. (2011). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos, División de Planificación. Santiago, Chile.
- MMA. (2011). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA. (2011). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA. (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. (2013). Desarrollo de Modelo Genérico para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación Ambiental para Aire, Preparado por GreenLabUC para Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA. (2013). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.

- MMA (2020) Informe Técnico para declarar Zona Saturada por Material Particulado Fino Respirable (MP<sub>2,5</sub>) a la macrozona centro-norte de la región de Los Lagos
- Noel de Nevers and J. Roger Morris. (1975). "Rollback Modeling: Basic and Modified." Journal of the Air Pollution Control Association **25**(9): 943-947.
- Szklo, M. and F. J. Nieto. (2014). Epidemiology: beyond the basics, Jones & Bartlett Publishers.
- T. Y. Chang, B. W. (1975). "Generalized Rollback Modeling for Urban Air Pollution Control." Journal of the Air Pollution Control Association **25**(10): 1033-1037.
- Sistem. (2013). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial, Solicitado por Ministerio del Medio Ambiente, ID licitación 608897-60-LE13.

## 6. Anexos

### 6.1.1 Inventario de emisiones proyectado

Tabla 8: inventario de Emisiones Proyectado [ton/año) por sector.

Sector	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Área - Residencial	11.054	11.054	11.054	11.054	11.054	11.054	11.054	10.898	10.864	10.830	10.809	10.789	10.715	10.641	10.567	10.493	10.419	10.345	10.271	10.197
Área - Quemadas	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292	292
Puntual - Industria	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
Móviles - En Ruta	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526
Fugitivas	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348	348
<b>Total</b>	<b>12.457</b>	<b>12.301</b>	<b>12.267</b>	<b>12.233</b>	<b>12.212</b>	<b>12.192</b>	<b>12.118</b>	<b>12.044</b>	<b>11.970</b>	<b>11.896</b>	<b>11.822</b>	<b>11.748</b>	<b>11.674</b>	<b>11.600</b>						

Fuente: Elaboración Propia, en base a Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, desde la región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la región de Los Lagos, año 2019.

## 6.2 Resultados por medida

La Tabla 9 presentan los costos, beneficios e indicadores económicos para las medidas evaluadas.

Tabla 9: Resultados por medida. MM US\$. Valor presente

Medidas	Costos Variables Netos		Costos Inversión		Beneficios	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total	Razon B/C
	Privado	Estado	Privado	Estado					
Recambio Calefactores	5,30	0	1,88	16,64	322,32	298,50	322,3	23,8	13,5
Proh. Gradual calefacto	42,25	0	62,51	0,00	347,32	242,57	347,3	104,8	3,3
VE- Reacondicionamien	-24,56	0	22,28	41,37	120,28	81,19	120,3	39,1	3,1
Leña Seca	-0,97	0	0,08	0,00	228,43	229,33	228,4	-0,9	255,6
Quemas	1,32	0	0,00	0,00	19,37	18,05	19,4	1,3	14,6
FF - Limite Emisión	0,16	0	0,00	0,00	23,69	23,52	23,7	0,2	144,8
<b>Total</b>	<b>22,02</b>	<b>0</b>	<b>86,74</b>	<b>58,01</b>	<b>1018,35</b>	<b>851,58</b>	<b>1018,4</b>	<b>166,8</b>	<b>6,1</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Notas:** VN: vivienda nueva. VE: vivienda existente. LE: Límite de emisión. Prohibición de calefactores incluye las medidas de prohibición de salamandra. Cámara simple y otros artefactos que no cumplan norma. Subsidios térmicos incluye tanto viviendas que son objeto de subsidio PPPF como las que no lo son.

### 6.3 Metodología para el sector residencial

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

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

Dónde:

*Emisiones*: Emisiones [gr/año]

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

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

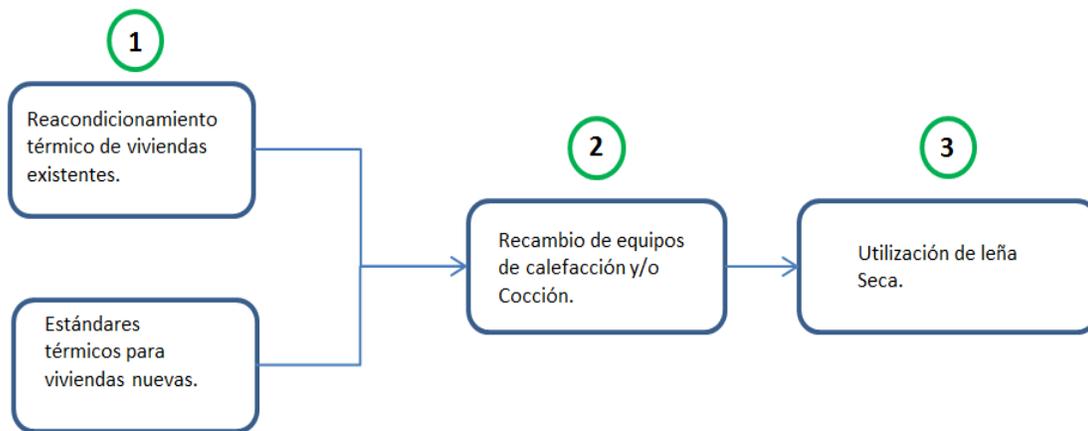
*Demanda de calor*: Demanda de calor de la vivienda j [MJ/vivienda-año]

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

La reducción de emisiones<sup>13</sup> corresponde a las emisiones finales menos las iniciales. Las emisiones finales consideran una mejora en el factor de emisión y eficiencia de los equipos, además de un incremento en el poder calorífico del combustible utilizado. La medida de confort térmico de las personas se mantiene constante.

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 10 muestra la metodología descrita que se implementa con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones en el sector.

Figura 10: Interacción medidas sector residencial.



Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto a los costos, estos consideran la inversión anualizada y la diferencia en los costos de operación debido al cambio de tecnología y/o combustible para calefacción. Los costos de fiscalización no se desagregarán a nivel de medidas específicas, ya que los diferentes servicios informan sólo costos agregados.

<sup>13</sup> O emisiones evitadas dado que son las emisiones que no se emitirán en el escenario con Plan.

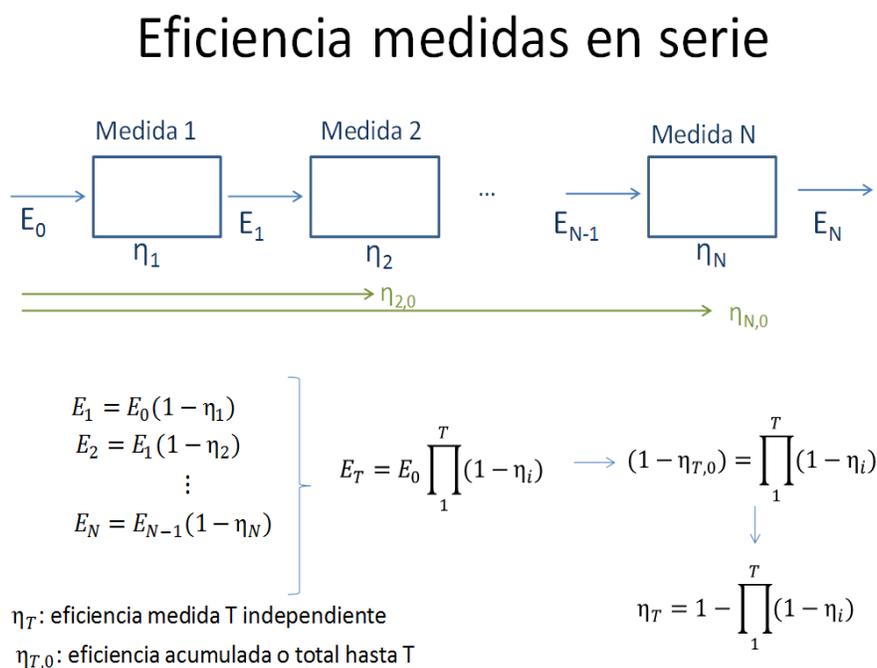
La metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  se detalla en la sección 6.5.

## 6.4 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 11 explica en forma simple cómo fue abordado este tema en la evaluación, en ella se explicita que la eficiencia final de dos 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 que también dependen de ellas.

Figura 11: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas.



Fuente: Elaboración propia

Unos ejemplos de las medidas sinérgicas corresponden a la implementación de acondicionamiento térmico en una vivienda en conjunto con el recambio por un calefactor de mayor eficiencia, ambas medidas lograrán un mayor grado de confort térmico a una menor demanda de combustible, por ende, reducirán sus emisiones en una cantidad mayor que el acondicionamiento térmico por sí solo, o un recambio de calefactores por sí solo.

## 6.5 Beneficios en la salud

La Tabla 10 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 10: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

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

Fuente: Elaboración propia,

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>). Para estimar el cambio en la concentración de MP<sub>2,5</sub> con respecto a un cambio en la emisión de un determinado contaminante (NO<sub>x</sub>, COV<sub>s</sub>, SO<sub>x</sub>, y MP), se debe estimar el factor de emisión-concentración o FEC para cada zona geográfica. El FEC indica las toneladas necesarias de contaminante para aumentar en 1 µg/m<sup>3</sup> el promedio anual de concentración de MP. Los FEC utilizados en la evaluación fueron determinados usando modelos del tipo *rollback* simple (Noel de Nevers and J. Roger Morris 1975; T. Y. Chang 1975), relacionando emisiones con concentraciones:

$$FEC_p = \left( \frac{\partial C_p}{\partial E_p} \right)^{-1} \approx \frac{E_p}{C_p}$$

Dónde:

$FEC_p$ : Factor emisión concentración para contaminante p, [(ton/año)/(µg/m<sup>3</sup>)],

$C_p$ : Concentración ambiental del contaminante p, [µg/m<sup>3</sup>],

$E_p$ : Emisión del contaminante p [ton/año],

A partir de la fracción de componentes elementales del MP y la relación de éstos con los contaminantes emitidos por las fuentes se obtienen los factores emisión-concentración, tal como se indica a continuación:

$$FEC_p = \frac{E_p}{CT_{MP_i} \cdot F_{MP_i,p}}$$

Donde:

$CT_{MP_i}$ : Concentración ambiental total de  $MP_{10}$  o  $MP_{2.5}$ , [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$F_{MP_i,p}$ : Fracción del componente elemental p en el MP

Una vez obtenidos estos, el cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso  $MP_{2.5}$ ; se estima como:

$$\Delta C_{MP_{2.5}} = \sum_i \frac{\Delta E_i}{FEC_i}$$

Donde el subíndice i corresponde a  $MP_{2.5}$  (primario),  $NO_x$ ,  $COVs$  y  $SO_x$  (precursores de  $MP_{2.5}$  secundario).

Para el presente plan de descontaminación, dada la baja importancia de los precursores de  $MP_{2.5}$  comparada con las emisiones directas, estas no se consideran en la estimación del FEC, el cual fue calculado con respecto a las emisiones y concentración del año 2020, obteniéndose un valor de 0,00748 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )/ton.

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

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

Donde:

$\Delta E_{\text{efecto}_{pj}}$ : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ]

$\beta_{pj}$ : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ]

$\Delta C_{pi}$ : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$P_{ijp}$ : Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]

$Y_{0j}$ : Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar<sup>14</sup> la expresión anterior de obtiene:

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

<sup>14</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

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:

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

Donde:

**Beneficio<sub>p</sub>**: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP<sub>2.5</sub>

**VU<sub>j</sub>**: Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

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

## 6.6 Evaluación de costos

Los costos evaluados corresponden al costo incremental de las medidas respecto del escenario base, esto es, considerando normativas previas vigentes a nivel nacional o en la zona de aplicación de las medidas, tales como el PDA vigente en Osorno.

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

$$\text{VP CT} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \left( \frac{\text{Inversión}_{m,t}}{(1+r)^t} \cdot \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] + \frac{\text{Costos OyM}_{m,t}}{(1+r)^t} \right) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \frac{\text{CMe}_{m,t} \cdot \text{Red}_{m,t}}{(1+r)^t}$$

Donde:

**VP CT**: Valor presente de los Costos Totales realizadas un horizonte de T años, para todas las medidas [\\$].

**Inversión<sub>m,t</sub>**: 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  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} p \right]$ .
- $r$ : Tasa de descuento utilizada.
- $n$ : Vida útil de la inversión [años].
- $T$ : Horizonte de Evaluación de las medidas [años].

## 6.7 Fichas de medidas

### 6.7.1 Recambio de calefactores

<b>Programa de recambio de artefactos a leña</b>																					
<b>Descripción</b>	La SEREMI del Medio Ambiente de la Región de los Lagos ejecutará un programa de recambio voluntario de artefactos existentes ( <b>calefactores y cocinas</b> ) que combustionen leña o derivados de la madera Vigencia: desde la publicación del PDA.																				
<b>Supuestos de evaluación</b>	45.000 recambios en diez años (2026-2035): la totalidad de ellos corresponden a recambio de calefactores a Pellet Valor equipo pellet: 26,0 UF/eq Valor del subsidio: 24,2 UF/eq Costo chatarrización equipo recambiado: 0,517 UF/eq Vida útil equipos de calefacción: 20 años																				
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Medida</th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2,5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costo Variable*</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>US\$/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recambio a Calefactores</td> <td>1.843</td> <td>9,71</td> <td>322</td> <td>5,3</td> <td>18,5</td> <td>1,91</td> </tr> </tbody> </table>	Medida	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>	Recambio a Calefactores	1.843	9,71	322	5,3	18,5	1,91
	Medida		Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe													
Ton/año		µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>															
Recambio a Calefactores	1.843	9,71	322	5,3	18,5	1,91															
	Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2035. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.  *Costo variable neto, valores negativos representan ahorros netos.																				
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013)																				

### 6.7.2 Acondicionamiento térmico

<b>Subsidio al acondicionamiento térmico de las viviendas existentes</b>																					
<b>Descripción</b>	<p>La SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará al menos 40.000 subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas existentes en la zona saturada.</p> <p>Se deberá dar cumplimiento al menos a los siguientes parámetros de transmitancia térmica (Tabla 18 del Anteproyecto), adicionales a la normativa vigente en la zona:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muro (pesado/liviano)</th> <th>Piso Ventilado</th> <th>Ventanas</th> <th>Techumbre</th> <th>Puerta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>U</b></td> <td><b>U</b></td> <td><b>U</b></td> <td><b>U</b></td> <td><b>U</b></td> </tr> <tr> <td><b>W/m<sup>2</sup>°K</b></td> <td><b>W/m<sup>2</sup>°K</b></td> <td><b>W/m<sup>2</sup>°K</b></td> <td><b>W/m<sup>2</sup>°K</b></td> <td><b>W/m<sup>2</sup>°K</b></td> </tr> <tr> <td>0,35/0,30</td> <td>0,32</td> <td>3,6</td> <td>0,25</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table>	Muro (pesado/liviano)	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puerta	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	0,35/0,30	0,32	3,6	0,25	1,7
Muro (pesado/liviano)	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puerta																	
<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>	<b>U</b>																	
<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>	<b>W/m<sup>2</sup>°K</b>																	
0,35/0,30	0,32	3,6	0,25	1,7																	

<b>Supuestos de evaluación</b>	<p>vida útil aislamiento térmica: 25 años.          subsidios desde el año 2026 a 2035.          Costos: Ecuaciones de costos en función de <math>\Delta U</math>. Los costos totales varían por tipología de vivienda, en promedio 104,10 UF/vivienda calculados para una vivienda tipo de 66,5 m<sup>2</sup>. Y una vida útil de 25 años.</p>						
<b>Resultados</b>	<b>Medida</b>	<b>Reducción MP<sub>2,5</sub></b>		<b>Beneficios Salud</b>	<b>Costo Variable*</b>	<b>Inversión</b>	<b>CMe</b>
		<b>Ton/año</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MM US\$</b>	<b>MM US\$</b>	<b>MM US\$</b>	<b>US\$/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></b>
	Acondicionamiento térmico	707	3,69	120	-24,6	63,6	17,26
	<p>Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2035. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p> <p>*Costo variable neto, valores negativos representan ahorros netos.</p>						
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013)						

### 6.7.3 Prohibición de leña en viviendas nuevas

	<b>Prohibición gradual de calefactores</b>						
<b>Descripción</b>	A partir del 4to año de entrada en vigencia del PDA se prohibirá en la zona saturada la utilización de calefactores que combuscionen leña que no cumplan la norma de emisión para calefactores D.S. N° 39, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente.						
<b>Supuestos de evaluación</b>	Para estimar los costos de esta medida se utilizan los siguientes costos medios por tonelada:						
	<b>Contaminante</b>	<b>UF/ton</b>	<b>US\$/Ton</b>				
	MP <sub>2,5</sub> *	6,4	220				
	SO <sub>x</sub> **	84,6	2.898				
	(*) Para MP <sub>2,5</sub> se asume uso de precipitador electrostático húmedo. (**) Para SO <sub>x</sub> se supone Desulfurizador de Gases de Salida.						
<b>Resultados</b>	<b>Medida</b>	<b>Reducción MP<sub>2,5</sub></b>		<b>Beneficios Salud</b>	<b>Costo Variable*</b>	<b>Inversión</b>	<b>CMe</b>
		<b>Ton/año</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MM US\$</b>	<b>MM US\$</b>	<b>MM US\$</b>	<b>US\$/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></b>
	Límite de emisión	4.119	22,47	347	42,2	62,5	2,78
	<p>Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2035. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p> <p>*Costo variable neto, valores negativos representan ahorros netos.</p>						
<b>Referencia Bibliográfica</b>	(USEPA 2010)						

### 6.7.4 Límite de emisión de calderas

<b>Límite de emisión de calderas</b>																					
<b>Descripción</b>	Se establecen límites máximos de emisión para MP y SO <sub>2</sub> para calderas de calefacción residenciales, comerciales e industriales, cuya capacidad térmica sea mayor a 75 kWt																				
<b>Supuestos de evaluación</b>	Adicionalmente se considera una Tasa de recambio natural de 4%. Se considera la salida de los buses más antiguos del parque actualizado al año 2020. El estándar de entrada corresponde a buses Euro VI, se asume una vida útil de 20 años. Se considera un costo de chatarización de 50 UF por bus, asumido por el estado.																				
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Medida</th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2,5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costo Variable*</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>US\$/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite de emisión calderas</td> <td>144</td> <td>0,59</td> <td>24</td> <td>0,2</td> <td>0,0</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2035. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>	Medida	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>	Límite de emisión calderas	144	0,59	24	0,2	0,0	0,00
Medida	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe															
	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>															
Límite de emisión calderas	144	0,59	24	0,2	0,0	0,00															
<b>Referencia Bibliográfica</b>	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013) (USEPA 2010)																				

### 6.7.5 Quemias agrícolas

<b>Quemias agrícolas</b>																					
<b>Descripción</b>	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 dentro de la zona saturada, desde el 1° de Abril hasta el 30 de Septiembre																				
<b>Supuestos de evaluación</b>	Sólo se consideran los datos reportados a CONAF como quemias legales (no se consideran quemias ilegales ni incendios forestales), por lo que esta medida podría tener un potencial de reducción de emisiones mayor. Se utilizaron los FE extraídos de (MMA 2011a) ponderados por Ciudad de acuerdo a la participación de las especies producidas en cada una según datos regionales de CONAF 2023.																				
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Medida</th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2,5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costo Variable*</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>MM US\$</th> <th>US\$/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Quemias Agrícolas</td> <td>47</td> <td>0,33</td> <td>19</td> <td>1,3</td> <td>0,0</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2035. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>	Medida	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>	Quemias Agrícolas	47	0,33	19	1,3	0,0	0,00
Medida	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Costo Variable*	Inversión	CMe															
	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM US\$	MM US\$	MM US\$	US\$/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>															
Quemias Agrícolas	47	0,33	19	1,3	0,0	0,00															
<b>Referencia Bibliográfica</b>	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013)																				

### 6.7.6 Valores unitarios de beneficios

Tabla 11: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso], escenario Normal.

Tipo de efecto	Efecto detalle	Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
<b>Mortalidad</b>	<i>Largo Plazo</i>	12,897	12,897	12,897	12,897
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	22	24	24	0.0
	<i>Cardiovascular</i>	0.0	49	49	49
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0.0	31	31	32
	<i>Neumonía</i>	0.0	0.0	0.0	34
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma</i>	1.1	0.0	0.0	0.0
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>	0.0	0.7	0.7	0.0
	<i>Días de actividad restringida</i>	0.0	0.2	0.2	0.0
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: (MMA 2011)

### 6.8 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 12 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino.

Tabla 12: Coeficientes de riesgo unitario para MP<sub>2.5</sub>

		Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
<b>Mortalidad</b>	<i>Largo Plazo</i>	0.00%	0.93%	0.93%	0.93%
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	0.33%	0.33%	0.33%	0.00%
	<i>Cardiovascular</i>	0.00%	0.15%	0.15%	0.16%
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0.00%	0.24%	0.24%	0.12%
	<i>Neumonía</i>	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma</i>	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>	0.00%	0.46%	0.46%	0.00%
	<i>Días de actividad restringida</i>	0.00%	0.48%	0.48%	0.00%
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0.00%	0.74%	0.74%	0.00%

Fuente: (MMA 2011)

## 6.9 Ficha de elaboración del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General de Impacto Económico y Social del Anteproyecto de la revisión del plan de descontaminación atmosférica para la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos.
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	D.S. N° 24, de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente, declara como zona saturada por material particulado MP <sub>2,5</sub> , como concentración de 24 horas, a la comuna de San Pablo de la región de Los Lagos y la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos  Resolución Exenta N°147 de 2021 establece la revisión del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno.  Resolución Exenta N° 1205, de 2021, del Ministerio del Medio Ambiente, que acumula los procesos determinados en la Resolución Exenta N°147, del 2021, y en la Resolución Exenta N°148, del 2021, ambas del Ministerio del Medio Ambiente en un solo proceso, y que Establece la elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Macrozona Centro-Norte de la Región de Los Lagos.
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	12 de Octubre de 2023
	Alcance geográfico	Comunas de San Pablo, Osorno, Puerto Octay, Purranque, Río Negro, Frutillar, Llanquihue, Puerto Montt y Puerto Varas, todas pertenecientes a la Región de Los Lagos.
	Instrumento nuevo o revisión	Revisión del PDA de Osorno y Nuevo Plan para el resto de comunas
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos.
	Metodología	Metodología
Nivel de evaluación de beneficios		Valorados beneficios en salud
Tasa de descuento		6%
Valor de la vida estadística		14,910 UF al año 2014, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF
Años de evaluación		2026-2035
Parámetros	Valor del dólar	805,1 pesos/dólar
	Valor de la UF	36.097 pesos/UF
Resultados	Concentración final MP <sub>2,5</sub> Sector Osorno	43 µg/m <sup>3</sup> al año 2035
	Concentración final MP <sub>2,5</sub> Sector Puerto Montt	43 µg/m <sup>3</sup> al año 2035
	Costos estimados en MM US\$ (valor presente)	195
	Beneficios estimados en MM US\$ (valor presente)	858
	Valor actual neto en MM US\$	663