

**Para:** Joyce Vera Bascour; Jean Paul Pinaud Mendoza  
**CC:** Paulo Esteban Roa Pinar; Nicolas Trivelli Sporke  
**Asunto:** RE: AGIES con corrección (ref a inventario)

000554

---

**De:** Joyce Vera Bascour

**Enviado el:** lunes, 31 de agosto de 2015 11:34

**Para:** Jean Paul Pinaud Mendoza

**CC:** Paulo Esteban Roa Pinar; Javier Andres Rodriguez Tureo; Nicolas Trivelli Sporke

**Asunto:** AGIES con corrección (ref a inventario)

**Importancia:** Alta

Estimados,

Adjunto encontrarán la versión final del AGIES

Con respecto a lo enviado el viernes, esa versión indica en la pág 6, en el título presentado en tabla 1, al final debía indicar "Año base 2013".

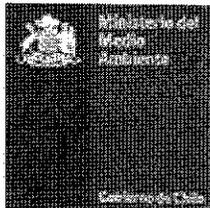
Queda como sigue: Tabla 1: Inventario de Emisiones calculado para el modelo de costo-beneficio. Año base 2013

Envío nuevamente documento, para cuando lo incorporen en expediente.

Saludos

Atte

Joyce



JOYCE VERA BASCOUR  
Profesional  
Depto. Planes de Descontaminación  
División de Calidad del Aire  
  
Ministerio del Medio Ambiente  
[www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl) (56-02) 25735685

---

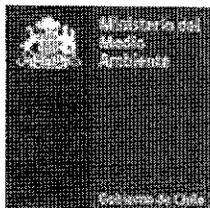
**De:** Joyce Vera Bascour

**Enviado el:** viernes, 28 de agosto de 2015 11:19 a.m.

**Para:** Nicolas Trivelli Sporke

**CC:** Jean Paul Pinaud Mendoza

**Asunto:** RE: Actualización AGIES Valdivia, según correcciones.



JOYCE VERA BASCOUR  
Profesional  
Depto. Planes de Descontaminación  
División de Calidad del Aire  
  
Ministerio del Medio Ambiente  
[www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl) (56-02) 25735685

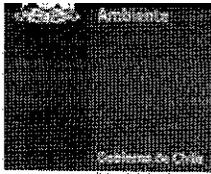
---

**De:** Nicolas Trivelli Sporke

**Enviado el:** jueves, 27 de agosto de 2015 16:09

**Para:** Carmen Gloria Contreras Fierro; Andres Pica Tellez

432000



Profesional  
Depto. Planes de Descontaminación  
División de Calidad del Aire

Ministerio del Medio Ambiente  
www.mma.gob.cl (56-2) 25735685

000555

**De:** Nicolas Trivelli Sporke

**Enviado el:** jueves, 27 de agosto de 2015 16:09

**Para:** Carmen Gloria Contreras Fierro; Andres Pica Tellez

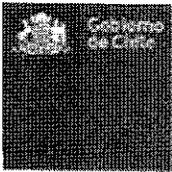
**CC:** Francisco Donoso Galdames; Joyce Vera Bascour; Jean Paul Pinaud Mendoza; Paulo Esteban Roa Pinar

**Asunto:** Actualización AGIES Valdivia, según correcciones.

Estimados, adjunto documento de AGIES corregido según sus observaciones y las respuestas a las observaciones realizadas.

Adicionalmente les damos las gracias por la revisión del documento y por la profundidad de esta.

Saludos cordiales.



**NICOLÁS TRIVELLI SPÖRKE**  
Profesional  
Depto. Economía Ambiental  
División de Información y Economía Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente

www.mma.gob.cl (56-2) 2573 5685

432000



000556

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE PLAN DE DESCONTAMINACION DE VALDIVIA POR MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>**

*Agosto 2015*

**Presentación**

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

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y 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.

La fecha de cierre del presente AGIES del anteproyecto del PDA de Valdivia corresponde al día 20 de Agosto de 2015. Ante los eventuales cambios que se produzcan en la etapa del proyecto definitivo se elaborará una versión resumida de este documento con énfasis en las modificaciones realizadas.

025000

000556 VTA

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*  
**Resumen**

El presente documento presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) de la comuna de Valdivia. Éste tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas en el Anteproyecto.

En la comuna de Valdivia las concentraciones ambientales de material particulado respirable (MP<sub>10</sub>) y fino (MP<sub>2,5</sub>) superan las normas de calidad primaria diaria (ambas fracciones) y anual (sólo MP<sub>10</sub>), situación por la que se origina la declaración de zona saturada. El principal sector emisor es el residencial el cual aporta cerca del 90% y 94% de las emisiones de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> respectivamente. Consecuentemente, las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto han sido diseñadas con énfasis en dicho sector mediante (i) el mejoramiento térmico de viviendas, (ii) el recambio por equipos de calefacción y cocción más eficientes y menos contaminantes, (iii) la mejora en las condiciones de humedad de la leña consumida y (iv) la regulación del uso de artefactos que utilicen leña como combustible. Otras medidas contenidas en este plan incluyen restricciones para la operación de calderas industriales, quemas agrícolas y recambio de buses para el sector transporte.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir tanto las normas diaria como anual de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> al año 2025<sup>1</sup> (Figura A y Figura 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; y reducciones en consumo de combustible para calefacción. 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 (Figura C).
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$320 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años<sup>2</sup>. Es importante destacar que la mayoría de estos beneficios (90%) son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad (figura E y figura F).
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$53 millones y corresponden a: reacondicionamiento térmico de viviendas, subsidios para el recambio de calefactores, renovación de artefactos que utilicen leña como combustible y mejoramiento en la calidad de la leña. Un 62% de estos costos son asumidos por el Estado (Figura E y figura F).
- La valoración de los beneficios y costos del PDA indica que su implementación es altamente rentable desde la perspectiva social. Los beneficios netos<sup>3</sup> en valor presente a 10 años se estiman en US\$ 267 millones, lo que constituye una razón beneficio-costado de 6,1 (Figura E).

Finalmente, la mejora en calidad del aire tiene efectos significativos en la equidad ambiental asociados a los ahorros en costos médicos que alcanzan los US\$11 millones. Si bien son relativamente bajos en relación a los beneficios totales en salud (3,3%), estos representan el 1% del ingreso mensual de un hogar del quintil de mayores ingresos, mientras que en el quintil de menores ingresos llegan a representar el 12%. Este análisis concluye que el PDA de Valdivia, junto con incitar el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, es consistente con los compromisos del Ministerio de Medio Ambiente al crear instrumentos que disminuyan la contaminación y que promuevan la equidad entre sus habitantes.

<sup>1</sup> La norma de concentración anual de MP<sub>10</sub> se cumple en 2018; la norma de concentración diaria de MP<sub>10</sub> se cumple en 2018, la norma de concentración anual de MP<sub>2,5</sub> se cumple en 2025 y concentración diaria de MP<sub>2,5</sub> se cumple en 2024.

<sup>2</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: 600 CLP / Tipo cambio UF: 24.200 CLP.

<sup>3</sup> Los beneficios netos corresponden a los beneficios menos los costos.

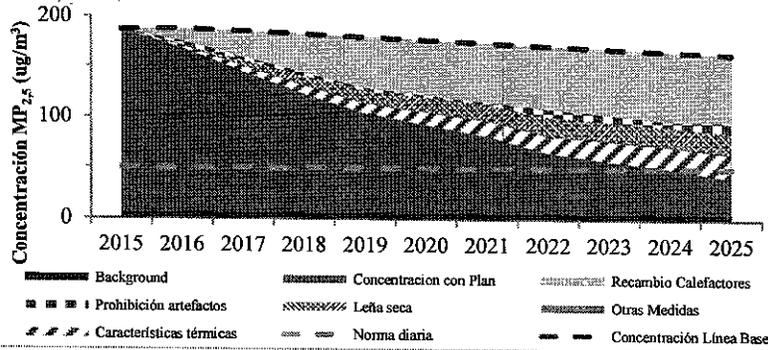


Figura A: Reducción concentración diaria MP<sub>2.5</sub>

La reducción de la concentración diaria para MP<sub>2.5</sub> alcanza el objetivo propuesto por la norma de 50 µg/m<sup>3</sup> para el año 2024. El conjunto de medidas con mayor reducción corresponde al de recambios de calefactores (54,4%), seguido por las características térmicas (18,7%) y por el uso de leña seca (16,4%). Finalmente, la prohibición al uso de artefactos y otras medidas presentan una reducción menor (10,3%). Estas medidas, en conjunto con la existencia de un recambio natural anual del 4% de calefactores por la norma de calefactores, generan que para el año 2025 y con plena implementación del plan, la comuna de Valdivia alcance una concentración del aire estimada de 38 µg/m<sup>3</sup> para la norma diaria.

Medida	Reducción de concentración diaria		Reducción de concentración anual	
	ug/m <sup>3</sup> N	%	ug/m <sup>3</sup> N	%
Recambio estufas a Pellet	34.9	28.5%	6.2	28.0%
Recambio estufas cumple norma	31.6	25.9%	5.6	25.2%
Reacondicionamiento térmico	22.9	18.7%	4.2	18.8%
Uso de leña seca	20.0	16.4%	3.6	16.2%
Prohibición gradual calefactores	9.8	8.0%	1.7	7.9%
Prohibición chimeneas	1.2	1.0%	0.2	1.0%
Medidas adicionales	1.7	1%	0.7	3%
<b>Total</b>	<b>122.2</b>	<b>100.0%</b>	<b>22.2</b>	<b>100.0%</b>

Figura B; Reducción concentración diaria y anual por medida para MP<sub>2.5</sub>

La importancia de cada medida según sus reducciones en concentración y su porcentaje, para la métrica diaria y anual en el año 2025 atribuible a cada medida.

Recambio de estufas cumple norma y estufas a pellet son consideradas dentro del conjunto de medidas de recambio de calefactores.

*\*Medidas Adicionales: Prohibición de chimeneas, nueva norma de cocina, restricciones a quemas agrícolas, recambio de buses, límite de emisión para fuentes puntuales y compensaciones para proyectos S21A.*

Sector	Emissiones base (ton/año)	Δ Emissiones Anteproyecto (ton/año)	Δ Emissiones (%) por sector	Δ Emissiones (%) globales
Residencial	6,253	5,001	80%	98%
Quemas	21	6	29%	0%
Industria	451	91	20%	2%
Transporte	8	1	13%	0%
Fugitivas	49	0	0%	0%
<b>Total</b>	<b>6,783</b>	<b>5,099</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>

Figura C: Reducciones en emisiones del PDA por sector

La reducción en emisiones (ton/año) que el anteproyecto 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 global 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, pero que el sector residencial el que aporta con un 98% de las reducciones del PDA.

Efecto	Nº casos evitados (2025)	IC al 90%	Nº Casos evitados 2016-2025	IC al 90%
Mortalidad	83	[52 - 122 ]	547	[346 - 808 ]
AH - Asma	2	[1 - 3 ]	13	[9 - 18 ]
AH - Cardiovascular	29	[22 - 36 ]	193	[147 - 236 ]
AH - Respiratorias crónicas	4	[0 - 8 ]	24	[0 - 51 ]
AH - Neumonía	16	[7 - 25 ]	103	[44 - 162 ]
VSE: Asma	2.402	[785 - 4.018 ]	15.878	[5.191 - 26.566 ]

Figura D: Casos evitados año 2025 y totalidad el Plan (2016-2025)

Número de casos evitados durante el año 2025, y para todo el periodo de implementación del plan (2016-2025), 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

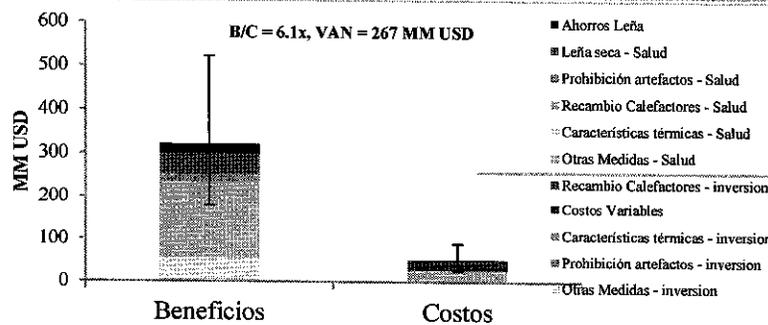


Figura E: Beneficios y Costos del Plan

La razón beneficio costo (B/C) de 6.1 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 267 MMUSD representa la diferencia entre beneficio y los costos.

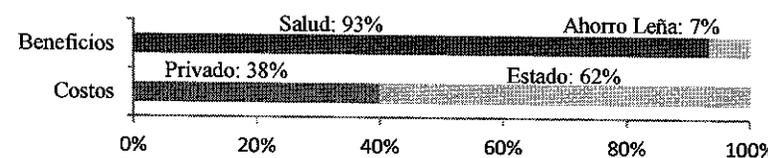


Figura F: Distribución de los beneficios y los costos por agente.

De los beneficios obtenidos con la implementación del PDA, un 93% será debido a ahorros en salud y ahorros por menor consumo de leña producto de la mayor eficiencia de equipos y viviendas. Por otra parte, los costos de implementación del plan son asumidos en gran porcentaje por el estado (62%) principalmente por la implementación de recambios de

720000

000557 VTA

### ÍNDICE

- 1. RESUMEN ..... 2
- 2. ANTECEDENTES..... 5
  - 2.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO ..... 5
  - 2.2 EMISIONES EN LA COMUNA DE VALDIVIA. .... 6
  - 2.3 CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS. .... 7
  - 2.4 MEDIDAS EVALUADAS..... 7
- 3. METODOLOGÍA DEL AGIES..... 8
- 4. RESULTADOS ..... 10
  - 4.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE..... 10
  - 4.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES ..... 13
  - 4.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS..... 14
  - 4.4 INDICADORES ECONÓMICOS ..... 15
    - 4.4.1 Costo eficiencia de las medidas del PDA ..... 15
    - 4.4.2 Análisis Costo-Beneficio..... 16
  - 4.5 DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS POR NIVEL SOCIOECONÓMICO ..... 18
  - 4.6 EPISODIOS CRÍTICOS ..... 19
- 5. CONCLUSIONES..... 21
- 6. REFERENCIAS ..... 22
- 7. ANEXOS..... 24
  - 7.1 INVERSIÓN DEL ESTADO ..... 24
  - 7.2 RESULTADOS POR MEDIDA ..... 25
  - 7.3 FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS ..... 27
    - 7.3.1 Referidas al Uso y Mejoramiento de la Calidad de los Artefactos..... 27
    - 7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas ..... 30
    - 7.3.3 Quemadas Agrícolas, Forestales y Domiciliarias ..... 31
    - 7.3.4 Calderas de Uso Residencial, Industrial y Comercial..... 32
    - 7.3.5 Sector Transporte ..... 33
    - 7.3.6 Gestión de Episodios Críticos ..... 33
  - 7.4 MEDIDAS NO EVALUADAS ..... 35
  - 7.5 METODOLOGÍA AGIES..... 36
    - 7.5.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones ..... 36
    - 7.5.2 Beneficios en salud ..... 37
    - 7.5.3 Evaluación de costos ..... 39
  - 7.6 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS ..... 41
  - 7.7 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO ..... 41
  - 7.8 FICHA DEL AGIES ..... 42

## 1. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 17 de 2014 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada<sup>4</sup> por material particulado respirable<sup>5</sup> (MP<sub>10</sub>) y Fino<sup>6</sup> (MP<sub>2,5</sub>), como concentración diaria y anual, a la comuna de Valdivia.

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. Originando la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférico para la comuna de Valdivia<sup>7</sup>. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> por debajo de los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

La comuna de Valdivia se encuentra ubicada en la provincia de Valdivia, región de Los Ríos, y posee una población estimada para el año 2015 de 167.421 habitantes, con una población urbana de 154.787 al mismo año<sup>8</sup>.

### 1.1 Concentración de Material Particulado

A continuación (Figura 1 y Figura 2) se presentan los datos de concentración monitoreados en la estación ubicada en el Parque Kramer, tanto para las concentraciones de MP<sub>10</sub> como MP<sub>2,5</sub>, en sus temporalidades anuales y diarias, que respaldan la declaración de zona saturada.

De este modo, la meta del presente plan es cumplir las normas de calidad tanto para MP<sub>10</sub> como para MP<sub>2,5</sub>. El presente informe se enfoca en la métrica diaria del MP<sub>2,5</sub> al constituir la restricción más estricta en la zona<sup>9</sup>.

<sup>4</sup> Zona Saturada: Aquella en la que una o más normas de calidad ambiental se encuentra superada.

<sup>5</sup> La normativa para MP<sub>10</sub>, corresponde al D.S 20/2013 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica, que establece una concentración anual máxima de 50 mg/m<sup>3</sup>N y una concentración diaria de 150 mg/m<sup>3</sup>N.

<sup>6</sup> La normativa para MP<sub>2,5</sub> corresponde al D.S. 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece una concentración anual máxima permitida de 20 mg/m<sup>3</sup>N y una concentración diaria de 50 mg/m<sup>3</sup>N.

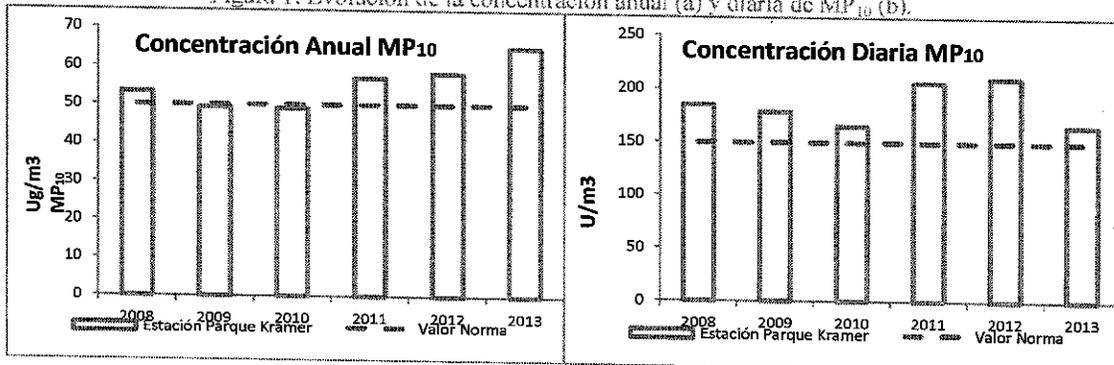
<sup>7</sup> Plan de Descontaminación es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada.

<sup>8</sup> Proyecciones Censo 2002.

<sup>9</sup> Es importante mencionar que el límite de la normativa de MP<sub>10</sub> es más bajo, por lo que para el caso de la comuna de Valdivia, el cumplimiento de la norma de MP<sub>2,5</sub> siempre implicará el cumplimiento de la norma de MP<sub>10</sub>.

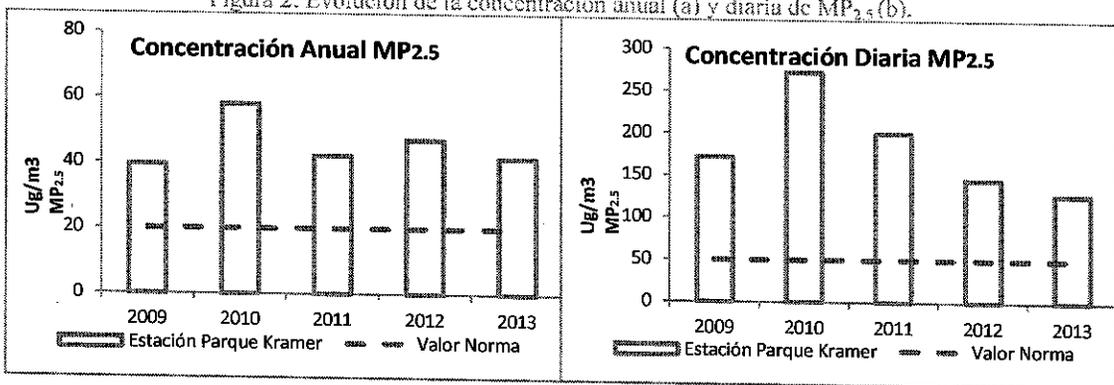
AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

Figura 1: Evolución de la concentración anual (a) y diaria de MP<sub>10</sub> (b).



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Seremi del Medio Ambiente Región de Los Ríos.

Figura 2: Evolución de la concentración anual (a) y diaria de MP<sub>2.5</sub> (b).



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Seremi del Medio Ambiente Región de Los Ríos.

## 1.2 Emisiones en la comuna de Valdivia.

La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones calculado para los distintos sectores de la zona estudiada. El mayor emisor corresponde al sector residencial, con un 90% y un 94% de las emisiones de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> respectivamente, producto del uso de biomasa para calefacción y cocción.

Tabla 1: Inventario de Emisiones calculado para el modelo de costo-beneficio. Año base 2013

Sector	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	CO
Residencial	7.375	7.171	55	359	304	178.457
Quemas e Incendios Forestales	22	21	1	7	0	128
Fuentes Fijas	439	376	293	670	0	292
Móviles en ruta	16	15	3	490	11	704
Fugitivas	282	41	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>8.134</b>	<b>7.624</b>	<b>352</b>	<b>1.526</b>	<b>316</b>	<b>179.581</b>

Fuente: Elaboración Propia en Base a datos AGIES.

### 1.3 Concentraciones atmosféricas.

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones utilizadas para la modelación, las cuales corresponden a valores medidos por la estación Parque Krammer, y los que se utilizan como base para el cálculo de reducción, de las medidas. Los criterios utilizados representan el escenario de mayor concentración con el fin de ser conservadores en el análisis del AGIES.

Tabla 2: Concentraciones utilizadas en la modelación.

Medida	MP10	MP2.5	Criterio
Diaria	184,9	183,4	Promedio de los años 2008 al 2013 para MP <sub>10</sub> , 2009-2013 para MP <sub>2.5</sub> .
Anual	54,3	44,6	Promedio de los tres últimos promedios trianuales, MP <sub>10</sub> 2009 al 2014 y MP <sub>2.5</sub> 2009 al 2014.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.4 Medidas Evaluadas

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

Tabla 3: Resumen de medidas consideradas en la evaluación

Sector	Medida
<b>Residencial. Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos y leña</b>	Recambio de calefactores a leña por calefactores a leña cumple norma
	Recambio de calefactores a leña por calefactores a pellet
	Prohibición de uso de chimeneas de hogar abierto
	Requisitos para la comercialización de la leña
	Prohibición al uso calefactores a leña que no cumplan norma (6° año).
<b>Residencial. Referida al mejoramiento Térmico de las viviendas</b>	Implementación de una nueva norma de cocinas a leña.
	Subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas existentes
<b>Quemas</b>	Requisitos de aislación térmica viviendas nuevas
	Prohibición quemas entre el 1° de mayo al 30 de septiembre de cada año
<b>Fuentes Fijas</b>	Límite de emisión para MP y SOx.
	Compensación de emisiones en el marco del SEIA
<b>Transporte</b>	Recambio de buses en el transporte público
<b>GEC</b>	En pre-emergencia: Restricción al uso de calefactores, cocinas a leña y el funcionamiento de calderas de potencia superior a 75 kWt con emisiones mayores que 30 mg/m <sup>3</sup> N en el horario comprendido entre las 18:00 y las 6:00 hrs, en los polígonos seleccionados, para los distintos años de implementación de cada medida (2019, 2020 y 2021).
	En emergencia: Restricción al uso de calefactores, cocinas a leña y el funcionamiento de calderas de potencia superior a 75 kWt con emisiones mayores que 30 mg/m <sup>3</sup> N durante las 24 horas, en los polígonos seleccionados, para los distintos años de implementación de cada medida (2019, 2020 y 2021).

Fuente: Elaboración propia.

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. Las medidas no evaluadas corresponden a las asociadas con la regulación de fuentes de calefacción institucionales y del comercio, programas de educación, campañas comunicacionales, generación de estudios, programas de capacitación,

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

entre otras. Mayor detalle de éstas se puede encontrar en la Sección 6.4 de Anexos. El detalle sobre las medidas y los resultados de la evaluación se presentan en las secciones 6.2 y 6.3 de Anexos.

## 2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Boardman *et al.*, 2006; Hanley and Spash, 1993; Layard and Glaister, 1994). La reducción de emisiones asociadas a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados a continuación<sup>10</sup>.

Las reducciones de emisiones son atribuibles a las medidas definidas en el Anteproyecto, las cuales 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>11</sup>, evitando así sobredimensionar la reducción de emisiones y evaluar la efectividad de cada una de las medidas de forma realista. Mayor detalle ver el Anexo 6.5.1.

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 concentración-respuesta basado en estudios epidemiológicos<sup>12</sup> y un modelo económico de valorización de los beneficios. Paralelamente se integra la información de los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el análisis costo-beneficio (ver Figura 3).

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

En relación a los costos, se incorporan lo relacionado a inversión y costos de operación, incluyendo los subsidios a otorgar por el Estado.

Se incorpora un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar quiénes perciben los beneficios y los costos de la regulación. En primer lugar, se analiza el impacto

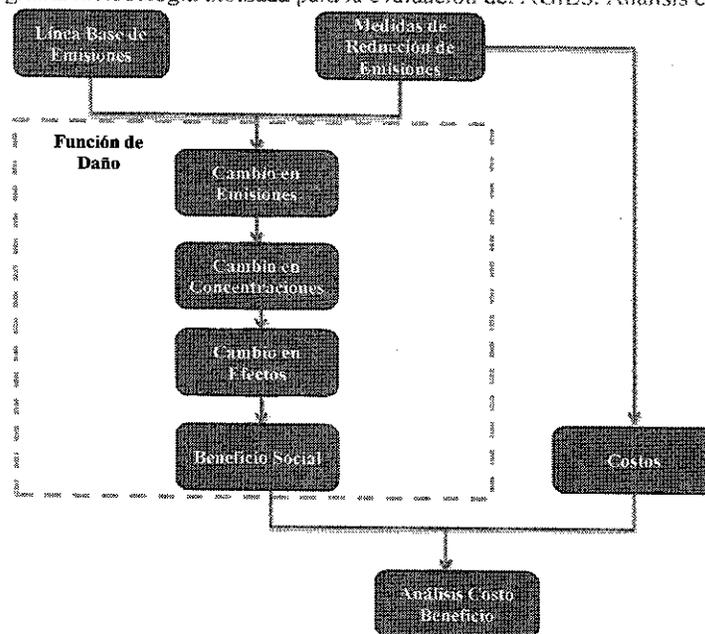
<sup>10</sup> Para mayor detalle de la metodología utilizada, referirse a la sección 7.5 del presente informe.

<sup>11</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>12</sup> Epidemiología se define como el estudio de la distribución y determinantes de estados de salud o eventos en poblaciones determinadas y la aplicación de este estudio para controlar los problemas de salud. Fuente: Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). *Epidemiology: beyond the basics*, Jones & Bartlett Publishers.

en los diferentes agentes de la sociedad involucrados, y posteriormente, se realiza un análisis de los beneficios focalizado por grupos socioeconómicos en el área de influencia del PDA.

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



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

Dentro de las limitaciones del análisis se mencionan los beneficios por reducción de MP que no fueron valorizados tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, efectos en la salud en otras comunas del país y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*<sup>13</sup>. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o falta de información base.

Finalmente es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante 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>14</sup>, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras<sup>15</sup>.

<sup>13</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>14</sup> En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

<sup>15</sup> D.S.38 y 39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros por la Sustentabilidad los cuales intentan incorporar los aspectos mencionados.

### 3. Resultados

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 6.5, anexos.

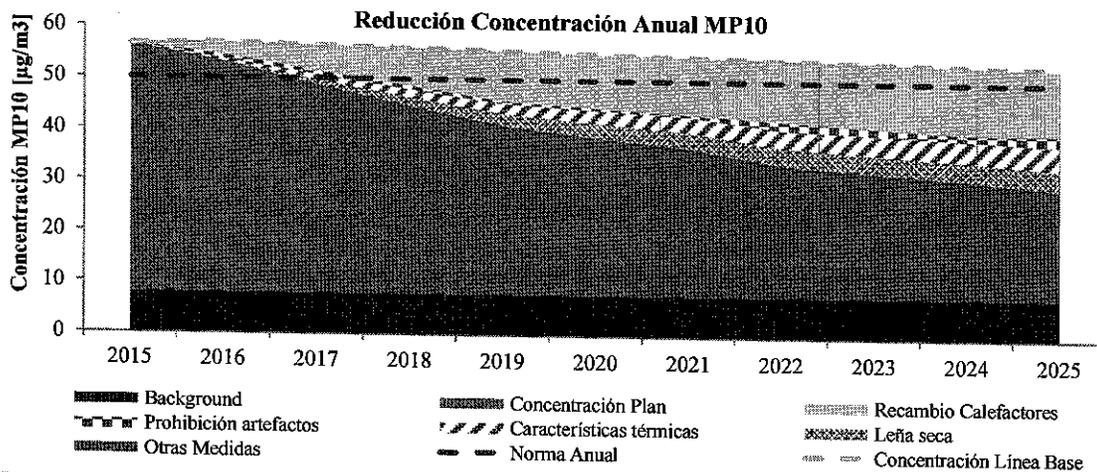
Para el caso de las reducciones en concentraciones que generan las medidas de este plan, se presentarán los resultados tanto de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> con la finalidad de mostrar el cumplimiento del plan dentro del plazo establecido. Sin embargo el análisis de los resultados de costos y beneficios se realizará para MP<sub>2,5</sub>.

#### 3.1 Efectos en Calidad del Aire

La implementación de las medidas se estima a partir del año 2016, y por ende el plan comprenderá un periodo de 10 años (2016-2025), considerando un año calendario (1 de enero a 31 de diciembre).

La Figura 4 y Figura 5 muestran la reducción estimada de concentración atmosférica de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> en su métrica anual, asociada a las distintas medidas evaluadas.

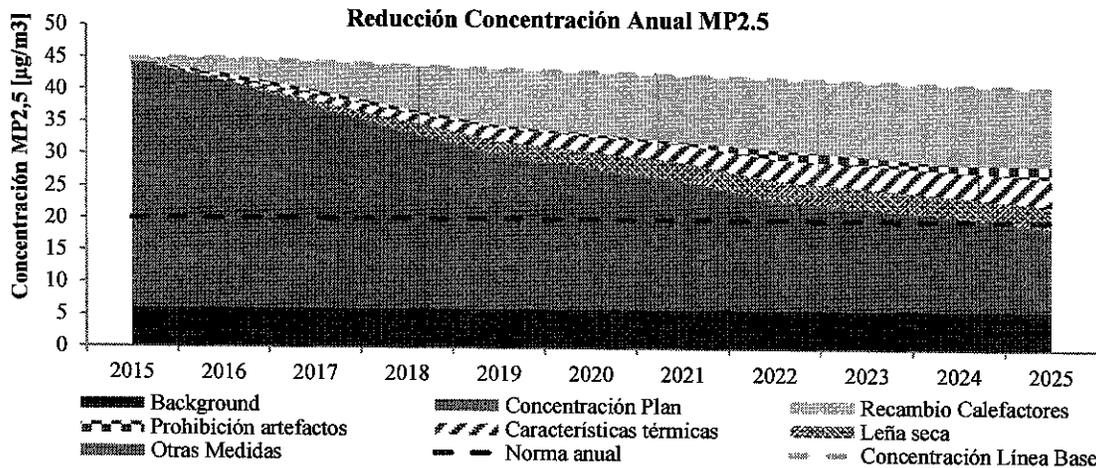
Figura 4: Evolución de concentración Anual de MP<sub>10</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], para línea base y reducción medidas.



Otras medidas incluye: Prohibición de quemas, límite de emisión calderas (institucionales y otras), compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y la nueva norma de cocinas a leña.

Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013; MMA 2013).

Figura 5: Evolución de concentración Anual de MP<sub>2,5</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], para línea base y reducción medidas.



Otras medidas incluye: prohibición de quemas, límite de emisión calderas (institucionales y otras), compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y la nueva norma de cocinas a leña.

Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013; MMA 2013).

Se aprecia en las figuras anteriores que se cumple la norma anual (serie “Concentración Plan”), sin embargo esta norma no es la restricción activa, ya que el problema de la contaminación alcanza una situación crítica durante el invierno, mientras que en verano la calidad del aire mejora sustancialmente.

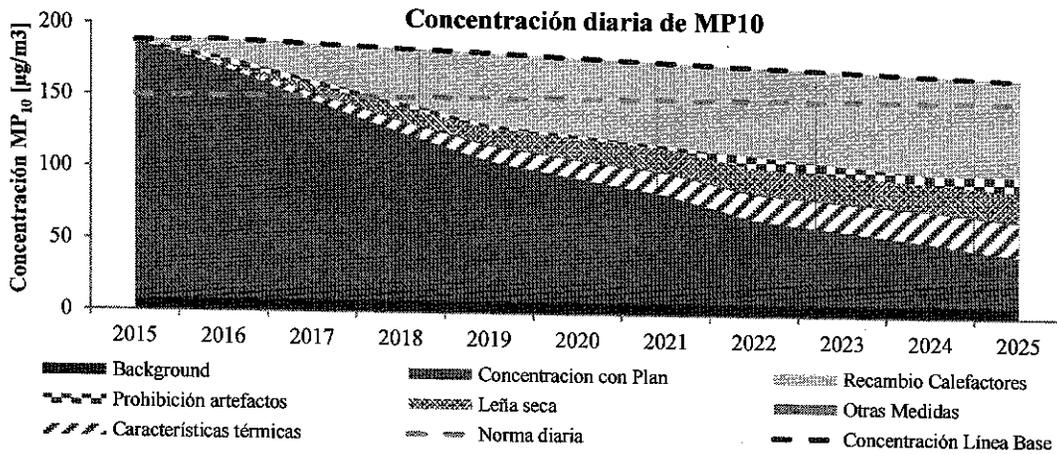
Adicionalmente, se puede observar el aporte de los diferentes sectores regulados en la disminución de concentración para la norma anual, en donde el programa de recambio de calefactores es la medida con un mayor impacto estimado, seguida por los subsidios de aislación térmica, y el aumento en el uso de leña seca.

De esta forma se estima que el cumplimiento de la norma anual de MP<sub>10</sub> se realizaría el año 2017, teniendo para el año 2025 cuando finaliza la vigencia del plan, una concentración estimada de 28,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . El temprano cumplimiento se explica principalmente por la entrada de medidas como la prohibición de chimeneas, por la aplicación de subsidios al recambio de calefactores y a la aislación térmica. Por su parte para MP<sub>2,5</sub> el cumplimiento se generará el año 2025 con una concentración de 18,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

Para el caso del cumplimiento de la norma diaria, la Figura 6 y la Figura 7 presentan las reducciones estimadas para la concentración atmosférica, según las medidas establecidas.

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

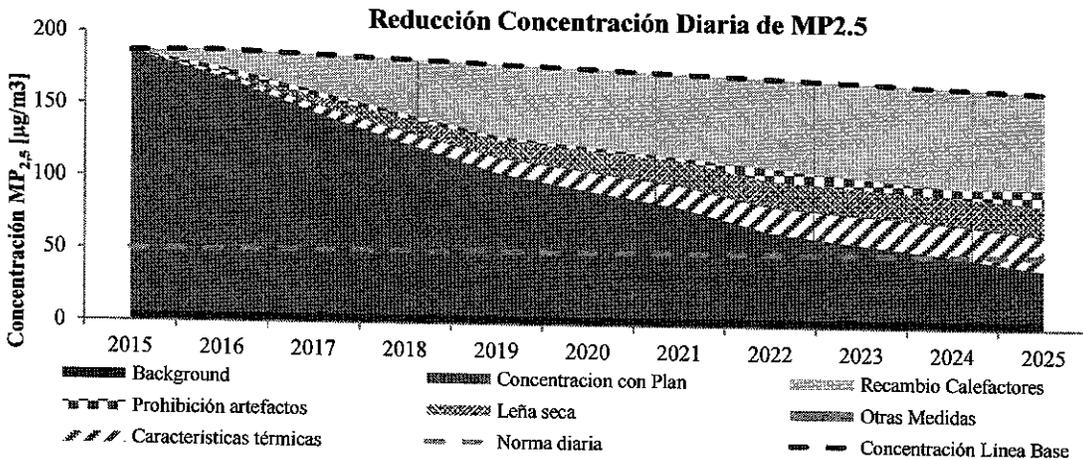
Figura 6: Evolución de concentración diaria de MP<sub>10</sub> [µg/m<sup>3</sup>], para línea base y reducción medidas.



Otras medidas incluye: prohibición de quemas, límite de emisión calderas (institucionales y otras), compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y la nueva norma de Cocinas a leña.

Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013).

Figura 7: Evolución de concentración diaria de MP<sub>2.5</sub> [µg/m<sup>3</sup>], para línea base y reducción medidas.



Otras medidas incluye: Límite de emisión de viviendas nuevas, prohibición de quemas, límite de emisión calderas (institucionales y otras), compensaciones en el marco del SEIA y programa de recambio de buses de transporte público.

Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013).

Se estima que la norma diaria para MP<sub>10</sub> se cumple a partir del año 2017, para alcanzar el año 2025 una concentración de 43,4 µg/m<sup>3</sup>N, mientras que para MP<sub>2,5</sub> el cumplimiento se alcanzaría el año 2024, logrando una concentración de 40,6 µg/m<sup>3</sup>N para el año 2025. Estos valores suponen un descenso de los niveles establecidos por la norma, por consiguiente se considerará un cumplimiento en los objetivos del PDA de Valdivia.

Mayor detalle de las medidas y sus reducciones de emisión se encuentra en las secciones 6.2 de Anexos.

## 3.2 Reducción de Emisiones y de Concentraciones

000562

En la Tabla 4 se presentan las emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> de línea base asociadas a los sectores residencial, quemas, industria, transporte y fugitivas, así como las reducciones para el año 2025 derivadas de la implementación de las medidas del plan para dichos sectores.

Tabla 4: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> con respecto a la línea base, año 2025.

Sector	Línea Base 2025		Reducción (Δ) Año 2025		Reducción Sector	Reducción Total
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [μg/m <sup>3</sup> ]	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [μg/m <sup>3</sup> ]	% Emisión.	% Conc.
Residencial	6,253	27.6	5,006	21.65	80%	78%
Quemas	21	0.10	6	0.03	29%	31%
Industria	451	3.79	91	0.40	20%	11%
Transporte	8	1.19	1	0.10	13%	8.6%
Fugitivas*	49	2	0	0	0%	0%
<b>Total</b>	<b>6,783</b>	<b>35</b>	<b>5,104</b>	<b>22.2</b>	<b>75%</b>	<b>64%</b>

\* Fuentes fugitivas incluye polvo caminos, polvo generado en actividades de construcción, preparación de suelos agrícolas, entre otras. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> anual y diaria por medida, año 2025.

Medida	Diario		Anual	
	Reducción de concentración (μg/m <sup>3</sup> N)	Reducción de concentración (%)	Reducción de concentración (μg/m <sup>3</sup> N)	Reducción de concentración (%)
Recambio estufas a Pellet	34.9	28.5%	6.2	28.0%
Recambio estufas cumple norma	31.6	25.9%	5.6	25.2%
Reacondicionamiento térmico	22.9	18.7%	4.2	18.8%
Uso de leña seca	20.0	16.4%	3.6	16.2%
Prohibición gradual calefactores	9.8	8.0%	1.7	7.9%
Prohibición chimeneas	1.2	1.0%	0.2	1.0%
Compensaciones SEIA	0.9	0.8%	0.4	1.7%
Estándares térmico para viviendas nuevas	0.6	0.5%	0.1	0.5%
Norma cocinas	0.2	0.1%	0.03	0.1%
Quemas agrícolas	0.02	0.02%	0.03	0.1%
Límite de emisiones MP, NOx, SO2	0.02	0.01%	0.02	0.1%
Recambio de buses	0.01	0.01%	0.1	0.5%
<b>Total</b>	<b>122.2</b>	<b>100.0%</b>	<b>22.2</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las mayores reducciones de emisiones corresponden al sector residencial, con 5.006 ton/año el año 2025, lo que equivale a una reducción de un 78%. Esto se debe principalmente a los 26.000 recambios de equipos de calefacción en un plazo de 8 años respectivamente, equivalentes a un 54,4% de reducción diaria en el total de las medidas. Adicionalmente sobre este sector aplicará la prohibición de chimeneas desde la entrada en vigencia del plan y la prohibición de artefactos que no cumplan con la norma de emisión<sup>16</sup> progresivamente, aportando con un 9 % de a las reducciones totales. En tercer lugar el reacondicionamiento térmico de viviendas que contempla subsidios para 18.000 viviendas y la exigencia de características térmicas específicas de para viviendas nuevas, esta medida aporta con un 18,7% de la reducción.

<sup>16</sup> Decreto Supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente

202009

000562 VTA

*AGIES Plan de Desccontaminación Atmosférica Valdivia*

Otra de las medidas de importancia es la correspondiente al mejoramiento de la calidad de la leña, esta medida implica aumentar hasta un 65% la oferta de la leña seca<sup>17</sup>, lo cual implicará una reducción de un 16,4 % de las emisiones del sector residencial.

Por su parte, los sectores de Quemados, Industria y Transporte, si bien tienen reducciones importantes comparadas con sus emisiones de línea base, su aporte es marginal si se compara con el sector Residencial (aporta con un 0,8% de las reducciones).

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

Para entender mejor los beneficios monetarios en salud presentados en la sección anterior, se muestra una estimación del número de casos evitados por tipo de evento para el año 2025 debido a la menor concentración esperada de MP<sub>2,5</sub>. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 6.6 de Anexos.

Cabe destacar los casos de mortalidad prematura que se evitarían con la implementación de las medidas del plan, los que se estiman en 83 para el año 2025, con un total de 547 casos evitados entre los años 2016 y 2025.

Tabla 6: Número de casos evitados al año 2025 y durante la vigencia del plan (casos/año)

Evento	Tipo	Casos evitados 2025 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2025 (Percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	Largo Plazo	83	[52 - 122 ]	547	[346 - 808 ]
Admisiones hospitalarias	Asma (crónica)	2	[1 - 3 ]	13	[9 - 18 ]
	Cardiovascular	29	[22 - 36 ]	193	[147 - 236 ]
	Respiratorias crónicas	4	[0 - 8 ]	24	[0 - 51 ]
	Neumonía	16	[7 - 25 ]	103	[44 - 162 ]
Visitas Salas de Emergencia	Asma	2.402	[785 - 4.018 ]	15.878	[5.191 - 26.566 ]
Productividad perdida	Días laborales	15.913	[14.171 - 17.328 ]	105.202	[93.682 - 114.555 ]
	Días de actividad restringida	68.635	[65.109 - 73.236 ]	453.743	[430.431 - 484.160 ]
	Días de actividad restringida menor	132.828	[115.184 - 141.750 ]	878.115	[761.474 - 937.096 ]

Fuente: Elaboración propia

<sup>17</sup> Se considera leña seca, aquella que posee un contenido de humedad ≤ al 25% en base seca.

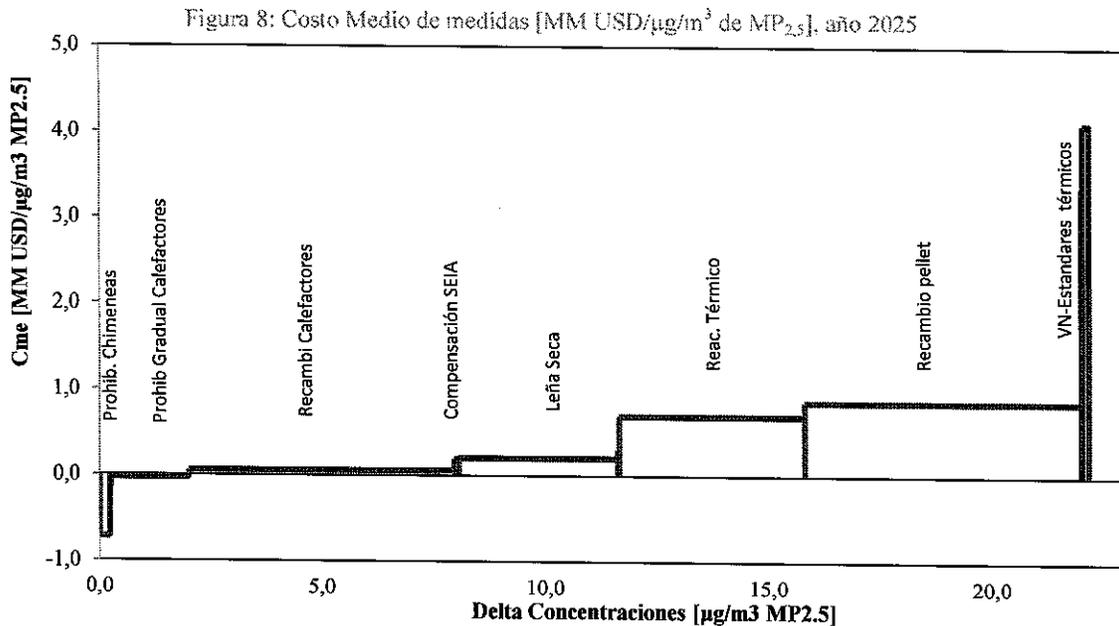
### 3.4 Indicadores Económicos

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la metodología establecida en el capítulo 2 del presente informe, en la sección 6.5 y según los supuestos indicados en la sección 6.3 de anexos. En primer lugar el análisis costo-eficiencia de las medidas, posteriormente el análisis costo-beneficio y análisis distributivos.

#### 3.4.1 Costo eficiencia de las medidas del PDA<sup>18</sup>

Se presentan para cada medida 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 mantenimiento<sup>19</sup>.

Se puede observar en Figura 8 que la prohibición de artefactos, corresponde al grupo de medidas más costo-efectiva<sup>20</sup>. Otras medidas como el recambio de calefactores y el acondicionamiento térmico de viviendas también presentan un alto grado de efectividad, Esto se debe a un menor consumo de leña derivado de la disminución en la demanda energética de viviendas, ya que estas poseen mejores estándares de aislación. Otras medidas como el recambio de equipos a pellet presentan un costo medio mayor pero junto con el recambio de calefactores son los que generan un mayor nivel de reducción de la concentración.



El gráfico considera la inversión, costos variables y ahorros de operación anualizados, sin incluir los beneficios

<sup>18</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>19</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.

<sup>20</sup> Utilizando datos de MINVU (2007)

000000

000563 VTA

#### *AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

en salud. Los valores corresponden al año 2025, en que todas las medidas establecidas se encuentran vigentes.

Prohibición de calefactores incluye las medidas de prohibición de salamandras, cámara simple y otros artefactos que no cumplan norma. Subsidios térmicos incluye viviendas que son objeto de subsidio PPPF.

Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013)

Las medidas orientadas a mejorar el parque de equipos de calefacción (recambios) dan cuenta de una reducción de un 54,4% de la concentración de material particulado fino, con costos medios que van desde los US\$ 0,06 a 0,86 millones de dólares por unidad de concentración<sup>21</sup>. Esta diferencia en los costos, se explica por el alto costo del recambio a estufas a pellet y la eficiencia en el consumo de combustible.

Finalmente, la leña seca es también una medida efectiva en la reducción de concentración, pues afecta a todo el parque de equipos a leña, alcanzando una reducción del 16,4% de reducción final, para el año 2025 y la cual posee costos muy bajos de implementación.

#### **3.4.2 Análisis Costo-Beneficio**

La Figura 9 presenta en valor presente de los beneficios y costos asociados a la implementación del plan, así como la distribución de estos entre el Estado, privados, emisores y población en general.

El beneficio social neto es de US\$ 320 millones de dólares para el periodo de evaluación, con beneficios cercanos a seis veces los costos. Se puede observar que los beneficios en salud asociados a las distintas medidas evaluadas, dan cuenta del 93,7%<sup>22</sup> de los beneficios del plan, destacando el aporte de las medidas de recambio de calefactores y reacondicionamiento térmico de viviendas, ya que implican las mayores reducciones de emisiones.

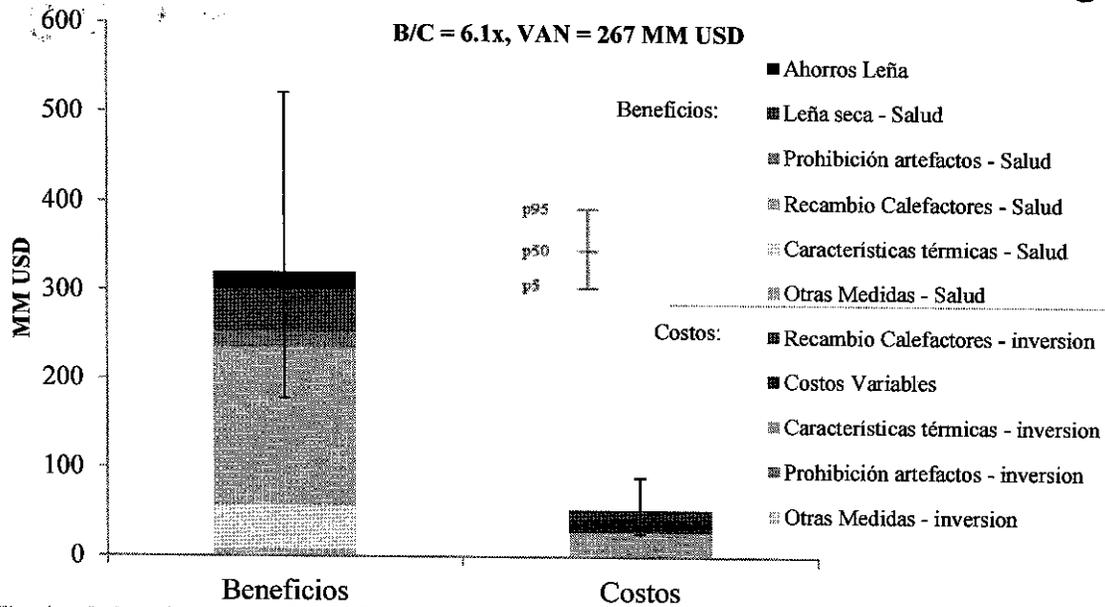
A su vez, dentro de los beneficios en salud, la reducción de riesgos de muerte prematura refleja el 90% de los beneficios, mientras que el resto se divide en los costos evitados en el tratamiento de enfermedades y productividad perdida 3,3%.

Se determinó que el costo total del plan corresponde a US\$ 53 millones de dólares para el período de evaluación, los subsidios de aislación térmica dan cuenta del 51% de estos costos, esto debido al alto número de subsidios y al alto costo relativo de cada uno. Los costos variables presentan el segundo mayor valor de los costos del plan correspondiendo a un 29%, esto incluye los costos de abatimiento de calderas (calculado utilizando costos medios por tonelada), mayores costos de operación del uso de artefactos, mayor costo de la leña seca y el costo de la prohibición de quemas agrícolas.

<sup>21</sup> MM USD/ug/m<sup>3</sup>

<sup>22</sup> 92% corresponden a beneficios en salud y 8% corresponden a beneficios en ahorros.

Figura 9: Valor presente de beneficios, costos, beneficio neto y razón B/C (MMUSD)



El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 14,910 UF al año 2014, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF<sup>23</sup>. 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%. Valor presente considera flujos hasta año 2025. Costos Variables corresponde a los mayores costos de la leña seca, del uso de pellets, los costos de prohibición de quemas y costos de abatimiento en calderas industriales e institucionales.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 10 se desprende que la gran parte de los beneficios se asocian a la población (91,8%), debido principalmente a casos evitados de mortalidad prematura, y en una menor cantidad (6,3%) a los emisores, por ahorros derivados en el consumo de combustible debido a una mayor eficiencia de los equipos nuevos y menor demanda energética asociada a la aislación térmica.

Con respecto a los costos, el estado financia un 62%, por concepto de subsidio a los recambios de calefactores y subsidios de aislación térmica. Por su parte, los emisores financian el 38% restante, y al contrastar con los beneficios que derivan del plan, se obtiene un beneficio neto.

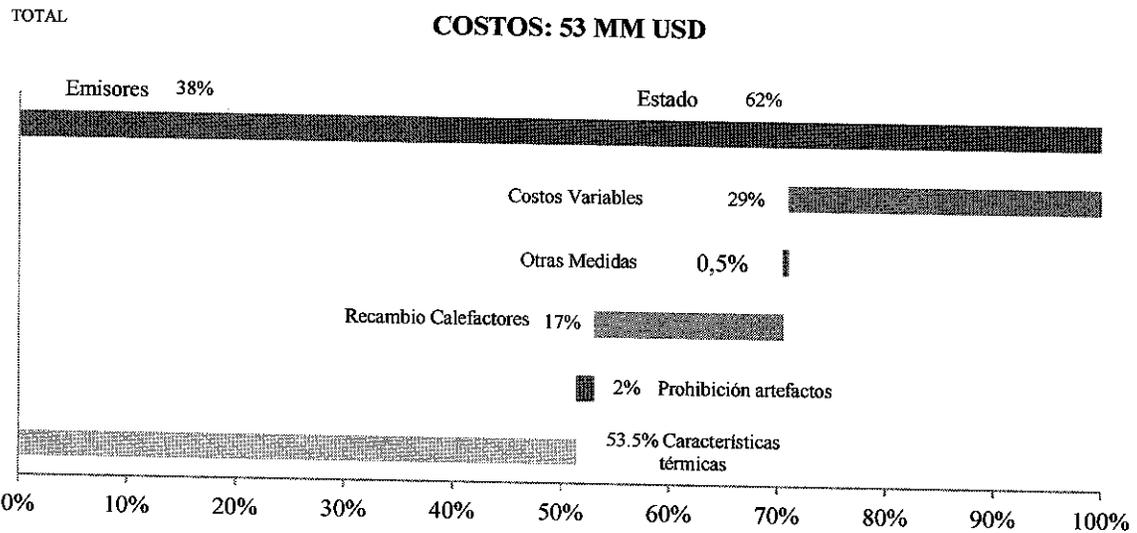
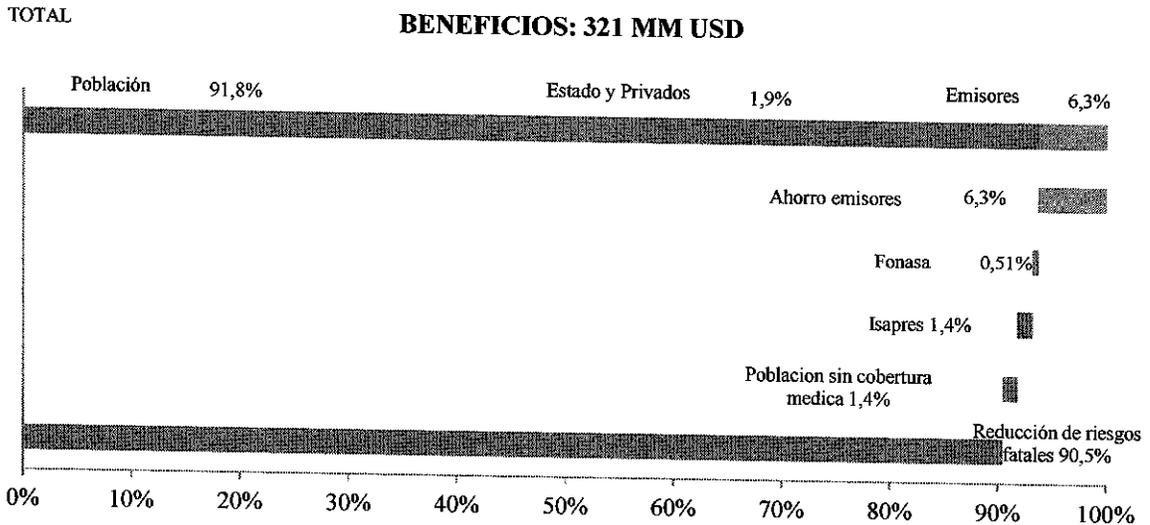
<sup>23</sup> MMA (2012). Nuevos Elementos para la Inclusión de la Distribución de Beneficios en la Elaboración de AGIES, Preparado por GreenLabUC, Licitación Pública 608897-143-LE11, para Ministerio del Medio Ambiente.

000000

000564 VTA

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

Figura 10: Distribución de beneficios y costos



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Distribución de beneficios por nivel socioeconómico

Adicionalmente se determina el efecto distributivo de los beneficios por nivel socioeconómico en la población afectada. Para ello, se consideran los beneficios económicos directos sobre la población por conceptos de ahorros en costos médicos, es decir, sin incluir la valorización de mortalidad. La cifra valorizada a 2015 ascienden a US\$ 1,78 MMUS\$, donde el 62% corresponde a Fonasa, 18% otros (FFAA y de Orden), 8% a particulares, y 12% a Isapres. Al distribuir estos beneficios por quintil de acuerdo a la participación de cada sistema previsional, se observa que la distribución es bastante homogénea, con un valor cercano al 20%.

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

Los beneficios anuales para los hogares representan en promedio US\$38, correspondiente a un 3% del ingreso promedio mensual<sup>24</sup> de la comuna, sin embargo, el impacto de los beneficios varía considerablemente de acuerdo a cada quintil. En efecto, mientras en el quintil de mayores ingresos es cercano al 1% de los ingresos mensuales, en el quintil de menores ingresos representa en torno a 12%. De esta manera se puede concluir que el Anteproyecto de PDA de Valdivia, adicionalmente a generar beneficios totales en la población, estos poseen un impacto mayor en los sectores de menor ingresos en comparación con los de mayor ingreso.

Tabla 7: Distribución de beneficios por quintil.

Quintil	Valor (miles de US\$)					Distribución
	Fonasa	Isapre	Otros	Particular	Total	
i	267,1	3,8	12,0	25,3	308,1	17%
ii	268,1	4,1	29,6	11,5	313,4	18%
iii	234,7	16,3	111,6	33,3	395,9	22%
iv	203,2	67,8	52,0	34,3	357,2	20%
v	140,9	129,2	106,8	30,9	407,8	23%
<b>Total</b>	<b>1.114,0</b>	<b>221,1</b>	<b>312,0</b>	<b>135,4</b>	<b>1.782,5</b>	<b>20%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN 2011

### 3.6 Episodios Críticos

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para  $MP_{2,5}$  se establecen en el D.S. N°12 del año 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma primaria de calidad ambiental para dicho contaminante, y se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8: Rangos de concentración [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] para episodios críticos por  $MP_{2,5}$

Nivel	Concentración 24 horas $MP_{2,5}$
Alerta	80-109
Preemergencia	110-169
Emergencia	170 o superior

Fuente: DS12 del año 2011, MMA

En el caso del presente PDA, las medidas establecidas para episodios críticos que implican reducción de emisiones corresponden a la prohibición de humos visibles y a la prohibición del uso de más de un artefacto por vivienda (mayor detalle de las medidas se encuentra en la sección 6.2 de Anexos).

La Figura 11 muestra la reducción en concentraciones para diferentes tipos de fuentes emisoras asociadas a la Gestión de Episodios Críticos (GEC). Para el caso del sector residencial el recambio de calefactores genera un impacto de las medidas estructurales del plan, hasta el año 2019 en donde las se aumentan las restricciones, dado que afectan a una menor cantidad de fuentes, el quiebre en la tendencia se da el año 2019 debido a las nuevas exigencias impuestas para la GEC, sin embargo las reducciones en concentración continúan

<sup>24</sup> El ingreso mensual promedio de la Comuna de Valdivia equivale a US\$961,5 (En base a Casen 2011 y actualizado a enero de 2015).

800000

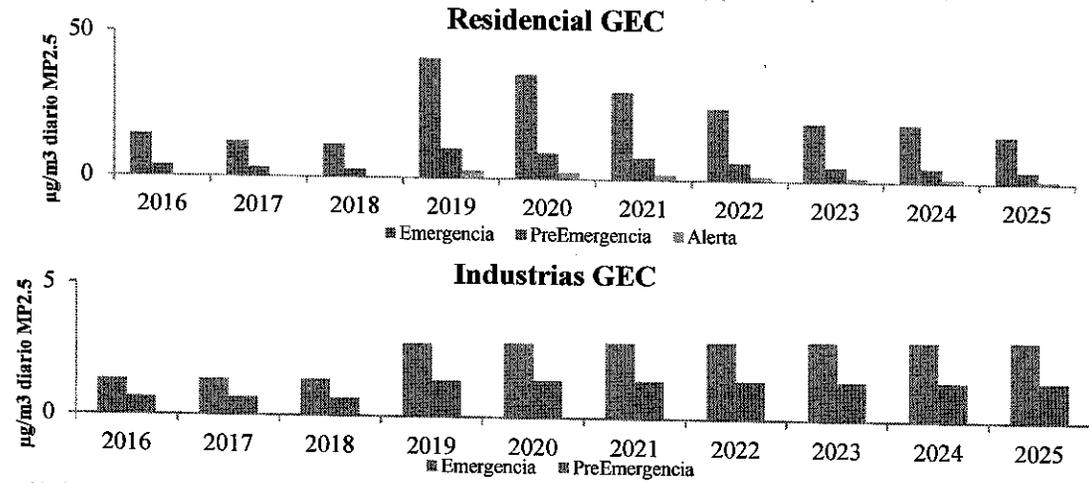
000565 VTA

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

con la tendencia debido al menor número de artefactos que se afecta cada año a medida que se implementa el PDA en Valdivia.

Para el caso del límite de emisión de industrias, pese a que los valores son muy bajos, el incremento de la concentración reducida debido al GEC se genera por la utilización de tazas de proyección del crecimiento de la economía, lo que se traduce en nuevas instalaciones industriales en la comuna, suponiendo un aumento en las emisiones y por consiguiente mayores efectos de la GEC.

Figura 11: Reducción de concentración diaria de MP<sub>2,5</sub> para un episodio crítico



\*la implementación de la Gestión de episodios críticos en el Plan, corresponde a una decisión de aplicación gradual de las medidas propuestas.

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2013)

Cabe mencionar que las medidas asociadas a los episodios críticos no se contabilizan en los resultados del plan, ya que no corresponden a reducciones de emisión predecibles ni permanentes en el tiempo.

#### 4. Conclusiones

La comuna de Valdivia evidencia una amplia superación de la norma diaria de  $MP_{2,5}$ , observándose valores de alrededor de 5 veces la normativa vigente, y de alrededor de 3 veces la norma anual de  $MP_{2,5}$ . Adicionalmente la norma anual y diaria de  $MP_{10}$  también es sobrepasada.

En esta zona, el mayor emisor de  $MP_{2,5}$  corresponde al sector residencial, debido a la amplia utilización de leña para calefacción, dando cuenta de más de un 94% de las emisiones. Por esto, para dar cumplimiento a la norma de calidad, las medidas más relevantes del presente plan corresponden a este sector, aunque también incluye medidas para quemas, calderas industriales y medidas asociadas a fuentes móviles.

Para la evaluación del plan se realizó un análisis costo-beneficio, en que se cuantificaron los beneficios en salud, los costos de las diferentes medidas y los ahorros generados en el sector residencial cuando se reducía su consumo de combustible.

Del análisis, se desprende que el beneficio social total del plan es de US\$ 320 millones de dólares en valor presente. Estos beneficios 93,7% del beneficio total. El restante corresponde a ahorros en consumo de leña y a costos evitados en tratamientos de enfermedades. Estos beneficios resultan en gran parte de la aplicación de medidas en el sector residencial, que aporta el 99% de la reducción de concentración de  $MP_{2,5}$ .

Los costos totales se estiman en US\$ 53 millones de dólares. Las medidas de recambio de calefactores cumple norma poseen los menores costos medios, generando ahorros netos. Los demás sectores tienen un costo medio mayor, esto es, cada unidad de concentración reducida es más costosa. El Estado es quien debe financiar la mayor parte del plan, alcanzando un 62%, debido principalmente al alto número de subsidios de aislación térmica y a al alto número recambio de calefactores (50% calefactores cumple norma y 50% calefactores a pellet) implementados. Por otra parte los emisores aportan con el 38% 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 2024 y en el caso de la norma anual, se llegaría a niveles de concentración por debajo de  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2025.

Se recomienda evaluar el desempeño del plan a lo menos cada cinco años, y en caso de requerirse, actualizar o incorporar nuevas medidas para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental.

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.

202000

000566'VTA

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

**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.

Noel de Nevers and J. Roger Morris (1975). "Rollback Modeling: Basic and Modified." *Journal of the Air Pollution Control Association* 25(9): 943-947.

Sistam (2013). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial, Solicitado por Ministerio del Medio Ambiente, ID licitación 608897-60-LE13.

000567

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

Szko, 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.

000567  
NTA

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

## 6. Anexos

## 6.1 Inversión del Estado

La Tabla 9 muestra una estimación de la inversión en la que debería incurrir el estado por concepto de subsidios establecidos en el plan.

Tabla 9: Inversión del Estado (millones de pesos)

	Valor unitario (CLP)	Valor Subsidio (CLP)	Cantidad al año	MM CLP/año	VP Costo (MM CLP)	
Recambio artefactos a norma cumple	428,657	385,792	1500	557	3,792	*12.000 recambios por 9 años
Recambio artefactos a pellet	1,220,429	1,098,386	889	1,587	10,795	*8.000 recambios por 9 años
Aislación Térmica de viviendas	3,292,441	2,140,087	1800	5,926	43,619	*18.000 subsidios por 10 años a viviendas con avalúo < a 650 UF. Correspondiente al programa PPPF.
TOTAL				8,071	58,206	

Fuente: Elaboración propia

Supuestos: Valor UF de 24627. Valor del dólar 606. Valor equipo pellet de 44.13 UF. Valor equipo cumple norma de 15.5 UF. Costo chatarrización de 0.517 UF. El valor para recambio de cocinas considera también el costo de una cocina a gas en el 37% de los casos, de 5 UF. El porcentaje subsidiado corresponde a un 75% en caso de equipos cumple norma y de 90% en caso de pellets. El subsidio a la aislación térmica se considera de un 100% para viviendas PPPF.

000568

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

## 6.2 Resultados por Medida

La Tabla 10 y la Figura 12 muestran los costos, Beneficios e indicadores económicos para las medidas evaluadas.

Tabla 10: Resultados por medida, MM USD, Valor presente

	Costos Variables Netos		Costos Inversión		Beneficios Salud	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total	Razón B/C
	Privado	Estado	Privado	Estado	Total				
Lena Seca	2.6	0.0	0.0	0.0	46.6	44.0	46.6	2.6	17.8
Prohibición Gradual Calefactores	-0.1	0.0	0.5	0.0	9.0	9.2	9.7	0.5	18.1
Puntuales DEA - Limite de Emisiones	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.9
Recambio de Buses	-0.2	0.3	0.0	0.3	1.7	1.6	1.9	0.3	7.5
Recambio Estufas e/n	-2.3	1.8	0.2	1.8	85.2	85.6	87.6	2.0	44.4
Recambio Pellet	13.0	6.6	0.7	6.6	92.9	73.4	92.9	19.6	4.7
Prohibición Chimeneas	-1.8	0.0	0.3	0.0	9.0	10.8	11.1	0.3	33.3
Viviendas Nuevas - Nueva Norma	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.6	0.7	0.1	9.1
Quemas Agrícolas	0.1	0.0	0.0	0.0	4.9	4.8	4.9	0.1	47.4
Puntuales DEA - Compensaciones	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	21.3
Norma Cocinas	-13.9	24.4	0.0	24.4	48.3	37.7	62.1	24.4	2.5
Reacondicionamiento Térmico	2.1	0.0	2.9	0.0	1.8	-0.2	2.6	2.9	0.9
<b>Total general</b>	<b>-0.2</b>	<b>33.0</b>	<b>4.7</b>	<b>33.0</b>	<b>300.5</b>	<b>267.7</b>	<b>320.7</b>	<b>53.0</b>	<b>6.1</b>

Fuente: Elaboración propia.

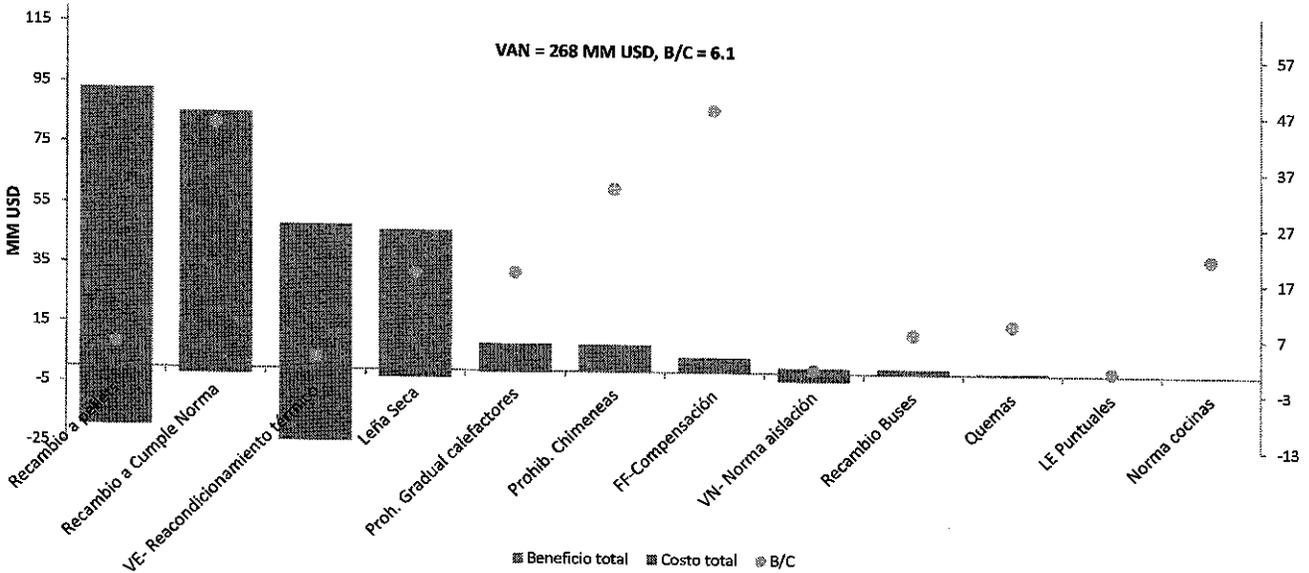
Notas: VN: vivienda nueva. VE: vivienda existente. LE: Límite de emision. Prohibición de calefactores incluye las medidas de prohibición de salamandra, Cámara simple y otros artefactos que no cumplan norma. Subsidios térmicos incluye tanto viviendas que son objeto de subsidio PPPF como las que no lo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

850000

000568' VTA

AGHES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

Figura 12. Resultados por medida para  $MP_{2.5}$



Fuente: Elaboración Propia

El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 14.910 UF al año 2014 y se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. El bien utilizado (de largo plazo) para adultos sigue una distribución normal, con media de 0.93%. Valor presente considera flujos hasta año 2030

000569

### 6.3 Fichas de Medidas Evaluadas

#### 6.3.1 Referidas al Uso y Mejoramiento de la Calidad de los Artefactos

1 Norma Emisión Calefactores (L.B)			
Descripción	Norma de emisión para calefactores nuevos de combustión a biomasa. D.S. N° 39. de 2011. Ministerio del Medio Ambiente.		
	Potencia (kW)	Emisión de MP (gr/h)	Eficiencia (%)
	Menor o igual a 8	2.5	70
	Mayor a 8 y menor o igual a 14	3.5	70
	Mayor a 14	4.5	70
	Nota: Valores de normativa consideran leña seca.		
Supuestos	Vida útil equipos de calefactor: 20 años Se puede abastecer 10m <sup>2</sup> /kW. Distribución de potencia en base a m <sup>2</sup> viviendas. en que m <sup>2</sup> viviendas se obtienen de encuesta CASEN.		
Resultados	La reducción de emisiones no se atribuye al plan. si no que se consideran parte de la línea base.		
Referencias Bibliográficas	Nch3173-2009. FE: (DICTUC 2008).(MMA 2013)		

2 Uso y mejoramiento de la calidad de la leña								
Descripción	Comercialización de leña que cumpla la NCh 2907/2005 del INN. Esto significa cumplir con un contenido de humedad menor o igual al 25% en base seca							
	Plazo: Entrada en Vigencia del Plan.							
Supuestos	Precio de la leña (\$/Kg): 0.00227 UF/Kg = 1 UF/m <sup>3</sup>							
	Costo secado leña semi-húmeda: 0.182 UF/m <sup>3</sup>							
	Costo secado leña húmeda: 0.363 UF/m <sup>3</sup>							
	Densidad Leña: Seca 411 kg/m <sup>3</sup> . semi-húmeda: 432 kg/m <sup>3</sup> . húmeda: 453 kg/m <sup>3</sup>							
	Humedad de la leña: seca: 25%. semi-húmeda: 30%. húmeda: 40%							
	<b>Humedad considerada de Línea Base:</b>							
			2016	2018	2020	2022	2024	2025
	Seca		6%	6%	6%	6%	6%	6%
	Semi húmeda		70%	70%	70%	70%	70%	70%
	Húmeda		24%	24%	24%	24%	24%	24%
<b>Humedad alcanzada con la Medida:</b>								
		2016	2018	2020	2022	2024	2025	
Seca		6%	19%	32%	45%	58%	65%	
Semi húmeda		70%	60%	50%	40%	30%	25%	
Húmeda		24%	21%	18%	15%	12%	10%	
Resultados	Reducción MP <sub>2.5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Costo	CMe		
	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>	
	Leña Seca	824	3,57	46,6	0,00	2,62	0,20	

830000

000569 VTA.

## AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

	Reducción de emisiones. Concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios. Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(Universidad De Chile 2009; MMA 2013a)

<b>Prohibición al uso de Calefactores</b>																													
<b>Descripción</b>	Se prohíbe el uso de calefactores a leña del tipo <b>salamandras, chimeneas, estufas de combustión simple</b> , dentro del límite urbano de la zona saturada desde la puesta en marcha del plan. Y <b>cualquier artefacto que no cumpla con el Norma de emisión para calefactores</b> nuevos de combustión a biomasa. D.S. N° 39. de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, a partir del noveno año.																												
<b>Supuestos</b>	<p><b>Cumplimiento:</b></p> <p>Chimeneas: 100%.</p> <p>Calefactores hechizos y Salamandras: 80%</p> <p>Calefactores no cumple norma: 80%</p> <p>Vida útil equipos de calefacción: 20 años</p> <p><b>Valor calefactor</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Doble Combustión 2.5 g/h</td> <td>15.5 UF/eq</td> </tr> <tr> <td>Pellets</td> <td>44.13 UF/eq</td> </tr> <tr> <td>Cocina a Gas Natural</td> <td>5 UF/eq</td> </tr> </table>	Doble Combustión 2.5 g/h	15.5 UF/eq	Pellets	44.13 UF/eq	Cocina a Gas Natural	5 UF/eq																						
Doble Combustión 2.5 g/h	15.5 UF/eq																												
Pellets	44.13 UF/eq																												
Cocina a Gas Natural	5 UF/eq																												
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2.5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Ahorro Neto</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2.5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proh. Gradual calefactores</td> <td>406</td> <td>1,75</td> <td>9,0</td> <td>0,68</td> <td>0,54</td> <td>-0,03</td> </tr> <tr> <td>Proh. Chimeneas</td> <td>50</td> <td>0,22</td> <td>9,0</td> <td>2,15</td> <td>0,33</td> <td>-0,72</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones. Concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios. Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP <sub>2.5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>	Proh. Gradual calefactores	406	1,75	9,0	0,68	0,54	-0,03	Proh. Chimeneas	50	0,22	9,0	2,15	0,33	-0,72
	Reducción MP <sub>2.5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																							
Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>																							
Proh. Gradual calefactores	406	1,75	9,0	0,68	0,54	-0,03																							
Proh. Chimeneas	50	0,22	9,0	2,15	0,33	-0,72																							
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)																												

<b>Programa de recambio de artefactos a leña</b>	
<b>Descripción</b>	La SEREMI del Medio Ambiente de la Región de los Ríos ejecutará un programa de recambio voluntario de artefactos existentes ( <b>calefactores</b> ) que combustionen leña o derivados de la madera Vigencia: Desde la publicación del plan.
<b>Supuestos</b>	<p>13.000 recambios de calefactores que cumplan la norma (D.S. N° 39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente) y 13.000 recambios por calefactores a pellet. ambos durante los 8 primeros años del plan (2015-2025)</p> <p>Valor equipo cumple norma: 15.5 UF/eq</p> <p>Valor equipo pellet: 44.13 UF/eq</p> <p>Costo chatarrización equipo recambiado: 0.517 UF/eq</p> <p>Costo cocina a gas (licuado o natural): 5 UF/eq</p> <p>Vida útil equipos de calefacción: 20 años</p> <p>Copago beneficiario: 25% para equipos que cumplen norma y 10% para pellets.</p>
<b>Resultados</b>	

	Reducción MP <sub>2.5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe		
	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD		USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>
	Recambio a Cumple Norma	1.305	5,58	85,2	2,46	1,97	0,06	0.07
	Recambio a pellets	1.439	6,20	92,9	0.00	19,58	0,86	0.96
Reducción de emisiones. Concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.								
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)							

Norma de Cocinas							
<b>Descripción</b>	El Ministerio de medio Ambiente elaborará una norma técnica, los estándares mínimos las cocinas. Vigencia: 3 años desde la entrada en vigencia del plan						
<b>Supuestos</b>	la nueva norma apuntara a la aplicación de los estándares A+						
	Eficiencia: 0,6%						
	Factor de Emisión para MP <sub>2.5</sub> : 8.1						
	Costos del equipo: 16.1 UF						
La entrada de la nueva norma de cocinas a leña, un 80% optara por recambio a cocinas a gas y un 20% por cocinas a leña A+							
<b>Resultados</b>	Reducción MP <sub>2.5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>
	Nueva Norma de Cocinas	7	0,03	0,2	0,02	0,01	-0,15
Reducción de emisiones. Concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.							
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)						

000000

000570 VTA

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

6.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas

Subsidio al acondicionamiento térmico de viviendas existentes									
<b>Descripción</b>	<p>La SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará al menos 1.800 subsidios anuales para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes bajo el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF)..</p> <p>Se deberá dar cumplimiento al menos a los siguientes parámetros adicionales a la normativa vigente en la zona:</p>								
	U <sub>s</sub>		2016	2018	2025				
	Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre		0,33	0,33	0,33				
	Transmitancia térmica para el Complejo de Muro		0,45	0,45	0,5				
	Transmitancia térmica para ventanas		5,8	3,6	3,6				
	Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas		0	1,7	1,7				
<b>Supuestos</b>	<p>Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados</p> <td>0,5</td> <td>0,5</td> <td>0,5</td>						0,5	0,5	0,5
	<p>Vida útil Aislación Térmica: 25 años, Subsidios desde el año 2016 a 2025, con un total de 18,000 subsidios en 10 años, Vidriado de 3,6 W/m2K desde el año 2016</p> <p>Costos: Se utilizaron los costos promedios calculados para el Plan de Descontaminación de Temuco y Padre las Casas, El costo promedio utilizado para el acondicionamiento térmico de viviendas nuevas es de 115,47 UF/vivienda, Se asume subsidio de 100% en viviendas PPPF. No se evalúa sellado de infiltraciones, extracción de aire en baño y cocina ni superficie de ventanas por orientación.,</p>								
	<b>Línea base de subsidios:</b>								
	<u>Año</u>		<u>Cantidad</u>						
	2009		967						
	2010		1.620						
	2011		484						
	2012		967						
	2013		529						
	2014		1.127						
Fuente: División de Calidad del Aire, MMA,									
<b>Resultados</b>	<b>Reducción MP<sub>2,5</sub></b>		<b>Beneficios Salud</b>	<b>Ahorro Neto</b>	<b>Inversión</b>	<b>CMe</b>			
	<b>Medida</b>	<b>Ton/año</b>	<b>µg/m3</b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>			
	<b>Reacondicionamiento Térmico</b>	944	4,16	48,3	13,87	24,39			
<p>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></p> <p>0,69</p> <p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025, CMe corresponde al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados,</p>									
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MINVU 2007), (MMA 2013a), (GreenLabUC 2013)								

Aislación térmica viviendas nuevas						
<b>Descripción</b>	Las viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de los siguientes estándares:					
	U <sub>s</sub>		2016	2018	2025	

	Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre	0,33	0,33	0,33																							
	Transmitancia térmica para el Complejo de Muro	0,45	0,45	0,45																							
	Transmitancia térmica para ventanas	5,8	3,6	3,6																							
	Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas	0	1,7	1,7																							
	Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados	0,5	0,5	0,5																							
	Las viviendas deberán contemplar ventilación mecánica centralizada, dimensionada a través de la norma NCh 3308 o NCh 3309, según corresponda, Las infiltraciones de aire de la vivienda no deberán superar las 5 medidas a 50Pa, Las ventanas y puertas no deberán superar las 10 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> medidas a 100Pa.																										
<b>Supuestos</b>	Vida útil Aislación Térmica: 25 años, Supuesto: Vigente desde 2016 La restricción de superficie de ventanas por orientación no fue evaluada, debido a la falta de información de línea base, No se evalúan medidas de infiltraciones, Costos: Valores obtenidos en función de los costos generados para el Plan de Descontaminación de la Ciudad de Temuco y Padre Las Casas, El costo promedio utilizado para la aislación térmica de viviendas nuevas es de 77,20 Uf/vivienda																										
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2,5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Ahorro Neto</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aislación térmica viviendas nuevas</td> <td>30,34</td> <td>0,14</td> <td>1,8</td> <td>0,79</td> <td>2,86</td> <td>4,11</td> </tr> </tbody> </table>							Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>	Aislación térmica viviendas nuevas	30,34	0,14	1,8	0,79	2,86	4,11
	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																					
Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>																					
Aislación térmica viviendas nuevas	30,34	0,14	1,8	0,79	2,86	4,11																					
<b>Referencias Bibliográficas</b>	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados, (MMA 2013), (GreenLabUC 2013)																										

### 6.3.3 Quemadas Agrícolas, Forestales y Domiciliarias

Quemadas agrícolas, forestales y domiciliarias																											
<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 de la región de Los Ríos, desde el 1° de Mayo hasta el 30 de Septiembre,																										
<b>Supuestos</b>	Sólo se consideran los datos reportados a CONAF como quemadas legales (no se consideran quemadas ilegales ni incendios forestales), por lo que esta medida podría tener un potencial de reducción de emisiones mayor, La medida de restricción de superficies, se considera parte de la línea base, debido a que corresponde a una Exigencia de CONAF impuesta anteriormente al PDA de Valdivia 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 de (INE 2012).																										
<b>Resultados</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP<sub>2,5</sub></th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Ahorro Neto</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m<sup>3</sup></th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Quemadas agrícolas</td> <td>6</td> <td>0,03</td> <td>0,7</td> <td>0,00</td> <td>0,07</td> <td>0,31</td> </tr> </tbody> </table>							Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>	Quemadas agrícolas	6	0,03	0,7	0,00	0,07	0,31
	Reducción MP <sub>2,5</sub>		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																					
Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2,5</sub>																					
Quemadas agrícolas	6	0,03	0,7	0,00	0,07	0,31																					
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025, CMe corresponde al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados, Las proyecciones consideran un 100% de cumplimiento, en el caso de la prohibición por mes se considera el uso de tecnología alternativa y no la postergación de la quema, Costos en base a (Villena, Villena et al, 2007) actualizados de acuerdo a inflación. Se trabajó con los datos de 2011 para la proyección de la línea base y cómo tasa de proyección se																										

## AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

	utilizó la variación anual promedio de los últimos 3 años,
<b>Referencias Bibliográficas</b>	CONAF, Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas, (INE 2012), (MMA 2011a), (Villena, Villena et al. 2007) (MMA 2013a)

## 6.3.4 Calderas de Uso Residencial, Industrial y Comercial

La base de datos utilizada corresponde al estudio (Sistam 2013), Para los rubros "Caldera Calefacción" y "Caldera Industrial", se registra un total de 479 unidades de emisión en el año 2012,

Límite de emisión calderas nuevas y existentes								
<b>Descripción</b>	Las calderas nuevas, menores a 75 kWt, deberán cumplir con los límites máximos de emisión que se indican a continuación:							
	<b>Potencia Térmica</b>	<b>MP (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>					
	< 75 kWt	50	≥90					
	Plazo: Fuentes existentes en un plazo de 48 meses y fuentes nuevas a partir de la publicación del PDA en el Diario Oficial,							
	Vigencia fuentes existentes: 2017, fuentes nuevas: 2016							
	Las fuentes nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para Material Particulado,							
	<b>Potencia Térmica</b>	<b>Límite Máximo de MP</b>		<b>Límite máximo SO<sub>2</sub></b>				
		<b>Caldera existente</b>	<b>Caldera nueva</b>	<b>Caldera Nueva</b>	<b>Caldera Existente</b>			
				<b>Desde año 1</b>	<b>Desde año 1</b>	<b>Desde año 4</b>	<b>Desde año 6</b>	<b>Desde año 8</b>
	≥ 75 kWt a <300 kWt	100	50	400	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica
≥ 300 kWt a < 1 MWt	50	50	400	No Aplica	800	800	600	
≥ 1 MWt a < 3 MWt	50	30	400	No Aplica	800	800	600	
≥ 3 MWt a < 20 MWt	50	30	400	No Aplica	800	800	600	
≥ 20MWt a < 50 MWt	50	30	200	No Aplica	600	600	400	
≥ 50 MWt	50	30	200	No Aplica	600	400	400	
<b>Supuestos</b>	Para estimar los costos de esta medida se utilizan los siguientes costos medios por tonelada:							
	<b>Contaminante</b>	<b>UF/ton</b>	<b>USD/Ton</b>					
	MP <sub>2,5</sub> *	6,4	220					
SOx**	84,6	2,898						
(*) Para MP <sub>2,5</sub> se asume uso de precipitador electrostático húmedo, (**) Para SOx se supone Desulfurizador de Gases de Salida,								
<b>Resultados</b>	<b>Reducción MP<sub>2,5</sub></b>		<b>Beneficios Salud</b>	<b>Ahorro Neto</b>	<b>Inversión</b>	<b>CMe</b>		
	<b>Medida</b>	<b>Ton/año</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>	<b>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></b>	
	Compensaciones	90	0,38	4,9	0,00	0,10	0,06	
	Límite de Emisiones MP, NOx, SO2	2	0,02	0,2	0,00	0,27	3,38	
Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025,								

	CMe corresponde al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados, Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados,
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(USEPA 2010)

### 6.3.5 Sector Transporte

Programa de renovación de buses						
<b>Descripción</b>	Recambio de un mínimo de 80 buses en un período de 5 años, para la zona saturada					
<b>Supuestos de evaluación</b>	Se considera un recambio de 8 buses anuales hasta el año 2025,					
	Tasa de recambio natural de 4%,					
	El estándar de entrada corresponde a buses Euro V, se asume una vida útil de 20 años					
	Se considera un costo de chatarrización de 50 UF por bus, asumido por el estado,					
	Se estima un monto subsidiado de 4,5 millones de pesos (~194 UF) por bus, y un costo de inversión para el privado igual a cero,					
Una antigüedad máxima de 15 años permitiría cumplir con la meta de reducir las emisiones de MP y NOx provenientes del transporte público en un 40% y 35% respectivamente, en un plazo de 7 años,						
		<b>Reducción MP<sub>2,5</sub></b>	<b>Beneficios Salud</b>	<b>Ahorro Neto</b>	<b>Inversión</b>	<b>CMe</b>
<b>Medida</b>	<b>Ton/año</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>	<b>MM USD</b>	<b>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub></b>
Transporte	1	0,10	1,7	0,23	0,25	0,19
Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025, CMe corresponde al año 2025, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados,						
<b>Referencias Bibliográficas</b>	Reporte 2005-2009(MMA 2011b), Análisis Técnico-Económico de la Aplicación de Nuevas Normas de Emisión para Fuentes Móviles a Nivel Nacional (MMA 2012a), (MMA 2013a)					

### 6.3.6 Gestión de Episodios Críticos

Medidas sector residencial GEC	
<b>Descripción</b>	<p><b>Alerta:</b> desde el 1 de abril del 2020, se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por hogar en el área urbana de la zona saturada desde las 18:00 hasta las 6:00 hrs</p> <p><b>Pre emergencia:</b> En las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, de 18:00 a 06:00 horas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hasta el 30 de septiembre del 2020: no se permitirá el uso de más de un artefacto por vivienda sólo se permitirá la emisión de humos visibles, durante un máximo de 15 minutos continuos en la operación de calefactores y cocinas a leña</li> <li>Desde el 1 de abril del 2021: se prohibirá el uso de artefactos a leña, se prohibirá el funcionamiento de calderas con una potencia mayor a 75 kWt.</li> </ul> <p><b>Emergencia:</b> Dentro del límite urbano de la zona saturada, durante 24 horas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hasta el 30 de septiembre de 2020; se prohibirá el uso de artefactos a leña entre las 18:00pm y las 6:00 am. Se prohíbe el funcionamiento de calderas a leña &lt;75kWt</li> </ul>

372030

000572 VTA

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde</li> <li>sólo se permitirá la emisión de humos visibles, durante un máximo de 15 minutos continuos en la operación de calefactores y cocinas a leña</li> </ul>																																	
<b>Supuestos</b>	Se asume un cumplimiento del 90%, Se asume que habrá una sustitución de los equipos de calefacción apagados, en un 50% por Kerosene y en un 50% por gas licuado, Para cocción son reemplazados por gas licuado, Para la línea base se considera que calefactores operan 270 días por año y cocinas 365 días por año.																																	
<b>Resultados</b>	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio, Cocinas y Estufas. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> <th>2020</th> <th>2021</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Preemergencia</td> <td>1,168</td> <td>1,012</td> <td>988</td> <td>1,878</td> <td>1,688</td> <td>1,479</td> <td>1,253</td> <td>1,049</td> <td>1,085</td> <td>919</td> </tr> <tr> <td>Emergencia</td> <td>4,672</td> <td>4,049</td> <td>3,953</td> <td>7,511</td> <td>6,751</td> <td>5,916</td> <td>5,012</td> <td>4,195</td> <td>4,340</td> <td>3,676</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Preemergencia	1,168	1,012	988	1,878	1,688	1,479	1,253	1,049	1,085	919	Emergencia	4,672	4,049	3,953	7,511	6,751	5,916	5,012	4,195	4,340	3,676
Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025																								
Preemergencia	1,168	1,012	988	1,878	1,688	1,479	1,253	1,049	1,085	919																								
Emergencia	4,672	4,049	3,953	7,511	6,751	5,916	5,012	4,195	4,340	3,676																								
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)																																	

<b>Medidas Calderas GEC</b>																																		
<b>Descripción</b>	<p><b>Alerta:</b> No se permitirá la emisión de humos visibles de calderas a leña con una potencia térmica nominal menor a 75 kWt, entre las 18:00 y las 6:00.</p> <p><b>Pre emergencia:</b> En las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, de 18:00 a 06:00 horas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desde la entrada en vigencia del PDA y hasta el 30 de septiembre del 2020: no se permitirá el uso de más de un artefacto por vivienda sólo se permitirá la emisión de humos visibles, durante un máximo de 15 minutos continuos en la operación de calefactores y cocinas a leña</li> <li>Desde el 1 de abril del 2021: se prohibirá el uso de artefactos a leña.</li> </ul> <p><b>Emergencia:</b> Dentro del límite urbano de la zona saturada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desde la entrada en vigencia y hasta el 30 de septiembre de 2020; se prohibirá el uso de artefactos a leña entre las 18:00pm y las 6:00 am</li> <li>A partir del 1 de abril de 2021. se prohibirá el uso de artefactos a leña, durante las 24hrs.</li> </ul>																																	
<b>Supuestos de evaluación</b>	Se estima la reducción de emisiones de acuerdo a la probabilidad de que la fuente se encuentre operando para el episodio crítico, calculada como las horas de funcionamiento al año sobre las horas totales de un año calendario.																																	
<b>Resultados</b>	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio, <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> <th>2020</th> <th>2021</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Preemergencia</td> <td>110</td> <td>115</td> <td>121</td> <td>254</td> <td>267</td> <td>281</td> <td>295</td> <td>311</td> <td>326</td> <td>343</td> </tr> <tr> <td>Emergencia</td> <td>220</td> <td>231</td> <td>243</td> <td>509</td> <td>535</td> <td>562</td> <td>591</td> <td>621</td> <td>653</td> <td>686</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Preemergencia	110	115	121	254	267	281	295	311	326	343	Emergencia	220	231	243	509	535	562	591	621	653	686
Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025																								
Preemergencia	110	115	121	254	267	281	295	311	326	343																								
Emergencia	220	231	243	509	535	562	591	621	653	686																								
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(Sistam 2013)																																	

6:4 Medidas no Evaluadas

La Tabla 11 detalla las medidas que no han sido evaluadas para el presente plan,

Tabla 11: Medidas del plan no evaluadas

Sector	Medida
Prohibición de artefactos	Prohibición de artefactos unitarios a leña en edificios residenciales.
	Todas las regulaciones destinadas a artefactos de uso comercial e institucional.
Educación Ambiental	Todas las medidas de capacitación y/o educación ambiental en el marco del PDA de Valdivia.
Control de emisiones de calderas de uso residencial, comercial e industrial	Eficiencia mayor o igual a un 90% de calderas cuya potencia sea menor a 75 kWt.
	Eficiencia mayor o igual a un 90% en calderas automáticas que utilizan pellet o chips.
	Excepción Límite máximo de emisión de So <sub>2</sub> , para calderas que ocupen combustible con un contenido de azufre menor o igual a 50 ppm (partes por millón)
	Recambio voluntario de calderas de calefacción en establecimientos públicos y educacionales.
	Excepción límite máximo de emisión de So <sub>2</sub> , para calderas que demuestren una eficiencia térmica igual o mayor al 80%.
Demanda energética	Programa de eficiencia energética en establecimientos localizados en la zona saturada (industrias, hoteles, centros turísticos, restaurantes, centros comerciales y educacionales entre otros)
	Programas a la cogeneración en industrias
Quemas	Quemas de hojas secas y todo tipo de residuo en la vía pública.
Transporte	Medidas de Ciclo vías.
	Medidas de ordenamiento de transporte público.
GEC	Emisión de humos visibles por 15 minutos.
	Excepción de paralización de actividades para viviendas que se calefaccionen a través de un sistema de calefacción distrital y los establecimientos asistenciales, Establecimientos de larga estadía de adultos mayores, Hogares de menores y establecimientos educacionales,
	Actividades de fiscalización de episodios críticos.
	Prohibición sobre calderas cuya potencia sea menor a 75 kWt.
	Prohibición al uso de más de un artefacto por vivienda.

Fuente: Elaboración propia en base a Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Valdivia.

## 6.5 Metodología AGIES

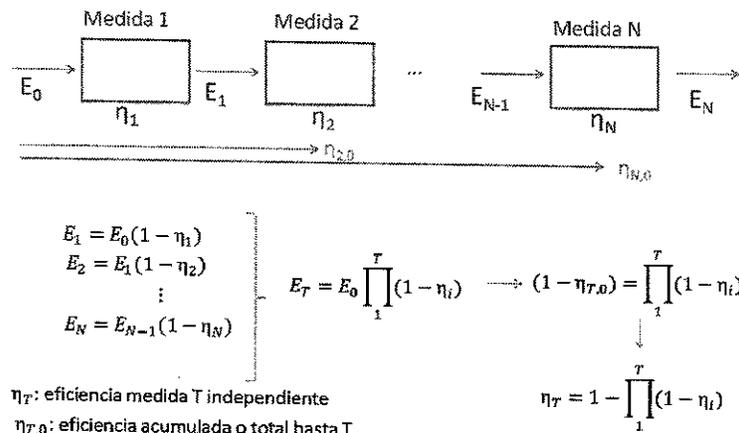
### 6.5.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

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 13 se 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 13: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas.

### Eficiencia medidas en serie



Fuente: Elaboración propia

### 6.5.2 Beneficios en salud

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

Tabla 12: 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>, COVs, 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<sub>p</sub>: Factor emisión concentración para contaminante p, [(ton/año)/(µg/m<sup>3</sup>)],

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

E<sub>p</sub>: Emisión del contaminante p [ton/año],

173000

000574 VTA

*AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia*

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:

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

Dónde:

$CT_{MP_i}$ : Concentración ambiental total de  $MP_{10}$  o  $MP_{2,5}$ , [ $\mu g/m^3$ ],

$F_{MP_i,p}$ : 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 2009, obteniéndose un valor de  $245 \text{ ton}/\mu g/m^3$ ,

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:

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

Dónde:

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

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

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

$P_{ijp}$ : 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>25</sup> la expresión anterior de obtiene:

<sup>25</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

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

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

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

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

Dónde:

- Beneficio<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),

### 6.5.3 Evaluación de costos

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

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

La tasa de descuento utilizada en la evaluación es de 6%, según se recomienda para proyectos sociales (MIDEPLAN 2011),

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

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

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

275000

000575 VTA

*AGIES Plan de Desccontaminación Atmosférica Valdivia*

**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 O<sub>y</sub>M<sub>t</sub>: Costos de Operación y Mantenición realizados en el año t [\$/año],
- CMe<sub>m</sub>: Costo Medio de la medida m  $\left[ \frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$  o  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p} \right]$ ,
- Red<sub>p</sub>: Reducción del contaminante p de la medida m en  $[\text{ton p}]$  o  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ p} \right]$ ,
- r: Tasa de descuento utilizada,
- n: Vida útil de la inversión [años],
- T: Horizonte de Evaluación de las medidas [años],

## 6.6 Valores unitarios de beneficios

Tabla 13: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2025, 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)

## 6.7 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 14 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino,

Tabla 14: Coeficientes de riesgo unitario para  $MP_{2.5}$

		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)

000576 VTA

AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica Valdivia

6.8 Ficha del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Plan de Descontaminación Atmosférica de Valdivia
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de zona saturada: Decreto Supremo N° 17 de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Agosto 2015,
	Alcance geográfico	Comuna de Valdivia
	Instrumento nuevo o revisión	Instrumento Nuevo.
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos.
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013)
	Normativas consideradas de línea base	Sector residencial: Norma emisión calefactores (DS N°39 de 2012, MMA) Sector transporte: Norma de emisión para fuentes móviles (Revisión DS N°54 de 1994, DS N°55 de 1994, DS N°211 de 1991, Ministerio de Transporte)
	Nivel de evaluación de beneficios	Valorados beneficios en salud
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 14
	Tasas de incidencia	(MMA 2011)
	Valor de la vida estadística	14,910 UF al año 2014, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF
	Modelo de dispersión	FEC transferido de DICTUC, Co-beneficios de la Mitigación de GEI, Santiago de Chile, Reporte preparado para el Ministerio del Medio Ambiente, 2011,
	Beneficios marginales por concentración de MP <sub>2,5</sub>	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro (Diario)	Año 2025: MP <sub>10</sub> : 41 [µg/m <sup>3</sup> ], MP <sub>2,5</sub> : 38.28 [µg/m <sup>3</sup> ]
Reducción de emisiones por parámetro	Año 2025: MP <sub>2,5</sub> : 5203 ton/año	
Años de evaluación	2016-2025	
Parámetros	Valor del dólar	606,8 pesos/dólar
	Valor de la UF	24.627 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	53
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	320
	Valor actual neto en MM USD	267