

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL  
**ANTEPROYECTO DE PLAN DE DESCONTAMINACION DEL VALLE CENTRAL  
DE LA PROVINCIA DE CURICÓ POR MP<sub>2.5</sub>**

---

*Nicolás Trivelli<sup>(1)</sup>, Sandra Briceño<sup>(2)</sup>, Paulina Schulz<sup>(2)</sup>  
6 de Enero de 2017*

## Presentación

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

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

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

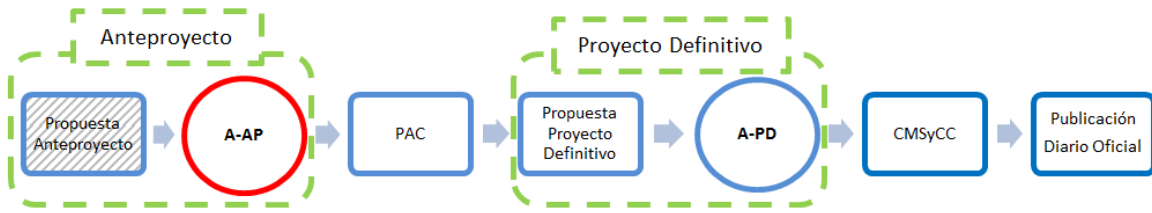
Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad, y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana (PAC), el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, no obstante, no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación, correspondiendo a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión, como también lo son los antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la más relevante es la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde a una evaluación de Costos y Beneficios para el Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1), en el cual se actualizará la estimación de los beneficios cuantificables y los costos identificados según la información disponible por el MMA a la fecha de evaluación.

<sup>(1)</sup> Profesional del departamento de Economía Ambiental, Coordinador del AGIES,

<sup>(2)</sup> Revisores.

Figura 1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

Este análisis evalúa el cumplimiento de la norma diaria de  $MP_{2.5}$  ( $50 \text{ ug/m}^3$ ) y estima los beneficios valorizables producto de la reducción de casos de mortalidad, y morbilidad en la población, así como también estima los costos identificados de las principales medidas implementadas. Esta información es sustancial para el proceso de participación ciudadana, en donde la población debe hacer sus observaciones con toda la información sustancial del proceso.

## 1. Resumen

El presente documento presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) del Valle Central de la Provincia de Curicó<sup>1</sup> y tiene como objetivo evaluar los costos y beneficios asociados a las medidas propuestas en el Anteproyecto dentro de un plazo de 10 años (2017-2026).

Las concentraciones ambientales de material particulado respirable fino (MP2,5) superan las normas de calidad primaria diaria, situación por la que se origina la declaración de zona saturada mediante Decreto Supremo N°53/2016 MMA que declara zona saturada por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración de 24 horas, al valle central de la provincia de Curicó. Posteriormente mediante Resolución N°168/2016 del MMA se da inicio al proceso de elaboración del PDA.

El principal sector emisor es el residencial el cual se estima aporta cerca del 73% de las concentraciones de MP2,5. Consecuentemente, las medidas 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 y (iii) 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 y quemas agrícolas.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir tanto las normas diaria como anual de MP2,5 en el año 2023, antes de finalizar el periodo de evaluación (2026)<sup>2</sup> (Figura A y Figura B).
- La reducción de emisiones generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud; y reducciones en consumo de combustible para calefacción (Figura D). Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$100 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años<sup>3</sup>. Es importante destacar que la mayoría de estos beneficios (87.2%) son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad (Figura D y Figura F).
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$52 millones y corresponden a: reacondicionamiento térmico de viviendas, subsidios para el recambio de calefactores y renovación de artefactos que utilicen leña como combustible y a costos de fiscalización del plan por la institucionalidad ambiental. Un 58% 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>4</sup> en valor presente a 10 años se estiman en US\$ 48 millones, lo que constituye una razón beneficio-costos de 1.9 (Figura E).

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

<sup>1</sup> El valle central de la provincia de Curicó, contiene las comunas de Curicó, Teno, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Molina.

<sup>2</sup> La norma de concentración anual de MP2,5 se cumple en 2019 y concentración diaria de MP2,5 se cumple en 2020.

<sup>3</sup> Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10,850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 684 CLP / Tipo cambio UF: 25.115 CLP.

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

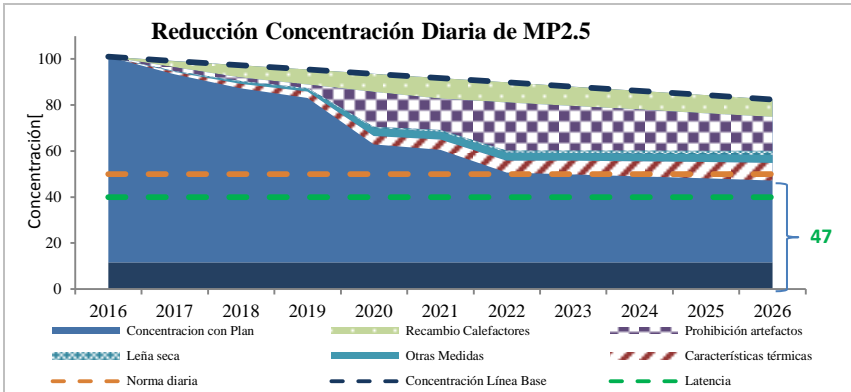


Figura A: Reducción concentración diaria MP<sub>2.5</sub>.

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> en el año 2023. El conjunto de medidas con mayor reducción corresponde a la prohibición al uso de artefactos (40.7%), seguido del recambio por pellet (21.6%) y del reacondicionamiento térmico de las viviendas (20.4%), el resto de las medidas presentan una reducción menores 18% aprox. 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 2026 y con plena implementación del plan, las comunas del PDA alcanzarán una concentración del aire estimada de 47.17 µg/m<sup>3</sup> para la norma diaria.

Medida	Diario	
	Reducción de concentración (µg/m <sup>3</sup> N)	Reducción de concentración (%)
Prohibición artefactos	14.3	40.7%
Recambio pellet	7.6	21.6%
Reacondicionamiento térmico	7.2	20.4%
Límite de emisiones MP, NOx, SO2	2.6	7.3%
Uso de leña seca	1.9	5.3%
Quemas agrícolas	0.8	2.3%
Estandares de aislación para viviendas nuevas	0.4	1.2%
Prohibición chimeneas	0.4	1.1%
Compensaciones SEIA	0.02	0.1%
<b>Total</b>	<b>35.3</b>	<b>100.0%</b>

Figura B: Reducción concentración diaria por medida para MP<sub>2.5</sub>, con plena implementación del plan.

La importancia de cada medida según sus reducciones en concentración y su porcentaje, para la métrica diaria en el año 2026 atribuible a cada medida, y ordenadas descendientemente según su importancia en reducciones para el último año del plan (plena implementación).

Efecto	N° casos evitados (2026)	IC al 90%	N° Casos evitados 2017-2026	IC al 90%
Mortalidad	22	[14 - 31]	171	[107 - 233]
AH - Asma	0	[0 - 1]	3	[2 - 4]
AH - Cardiovascular	5	[4 - 6]	36	[31 - 48]
AH - Respiratorias crónicas	1	[0 - 1]	5	[1 - 10]
AH - Neumonía	4	[2 - 7]	32	[14 - 51]
VSE: Asma	706	[231 - 1182]	5372	[1756 - 8988]

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

Número de casos evitados durante el año 2026, y para todo el período de implementación del plan (2017-2026), atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 10%.

AH = Admisiones hospitalarias  
VSE = Visitas sala de emergencias

Medida	Beneficios (MM USD)		Costo Total (MM USD)	B/C
	Salud	Ahorros		
Recambio Pellet	25.56	1.70	1.55	17.6
Prohib. Chimeneas	3.02	0.42	0.48	7.1
Proh. Gradual calefactores	39.75	1.79	4.95	8.4
VE- Reacondicionamiento térmico	15.29	5.25	32.97	0.6
VN- Norma aislación	0.84	0.44	4.93	0.3
Leña Seca	3.43	0.00	0.15	22.6
Quemas	0.16	0.00	0.22	0.7
LE Puntuales	2.61	0.00	5.80	0.4
FF-Compensación	0.02	0.00	0.00	21.4
Fiscalización Plan	0.00	0.00	0.98	0.0
<b>Total</b>	<b>100.26</b>	<b>52.0</b>	<b>1.9</b>	

Figura D: Beneficios, costos y razón B/C por medida

Relación entre Beneficios (salud y ahorros), costos totales y La razón beneficio-costos para cada una de las medidas evaluadas en el PDA.

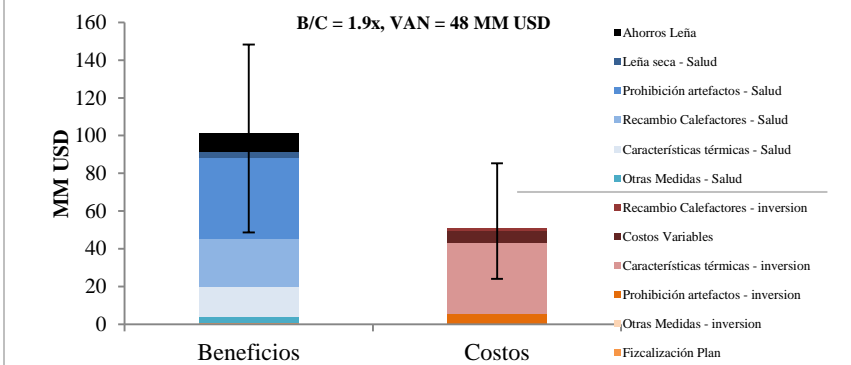


Figura E: Beneficios y Costos del Plan

La razón beneficio costo (B/C) de 1,9 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 48 MMUSD representa la diferencia entre beneficio (100,3 MMUSD) y los costos (52 MMUSD).

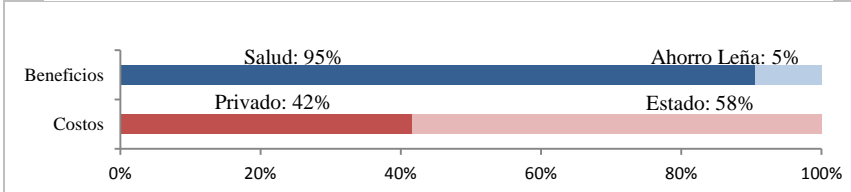


Figura F: Distribución de los beneficios y los costos por agente.

De los beneficios obtenidos con la implementación del PDA, un 95% será debido a ahorros en salud y un 5% será por 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 (58%) principalmente por la implementación de recambios de calefactores y reacondicionamientos térmicos.

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
2.1 CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS .....	6
2.2 CONCENTRACIONES ESTIMADAS PARA EL PDA .....	6
2.3 MEDIDAS EVALUADAS.....	7
<b>3. METODOLOGÍA DEL AGIES.....</b>	<b>8</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>10</b>
4.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	10
4.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES .....	11
4.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS.....	12
4.4 INDICADORES ECONÓMICOS .....	13
4.4.1 Costo eficiencia de las medidas del PDA .....	13
4.4.2 Análisis Costo-Beneficio.....	14
4.4.3 Costos de Fiscalización SMA. ....	16
4.5 EPISODIOS CRÍTICOS .....	17
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>23</b>
7.1 INVERSIÓN DEL ESTADO .....	23
7.2 RESULTADOS POR MEDIDA .....	24
7.3 FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS .....	26
7.3.1 Referidas al Uso y Mejoramiento de la Calidad de los Artefactos.....	26
7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas .....	28
7.3.3 Quemadas Agrícolas, Forestales y Domiciliarias .....	30
7.3.4 Calderas de Uso Residencial, Industrial y Comercial.....	31
7.3.5 Gestión de Episodios Críticos .....	32
7.4 MEDIDAS NO EVALUADAS .....	34
7.5 METODOLOGÍA AGIES .....	35
7.5.1 Metodología sector residencial .....	35
7.5.2 Metodología sector Industrial .....	36
7.5.3 Metodología sector quemadas agrícolas.....	37
7.5.4 Sinergias de medidas de reducción de emisiones .....	37
7.5.5 Beneficios en salud .....	39
7.5.6 Evaluación de costos .....	41
7.6 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS .....	43
7.7 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO .....	43
7.8 ANTECEDENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADA .....	44
7.9 FICHA DE ELABORACIÓN DEL AGIES.....	45

## 2. Antecedentes

El PDA para el Valle Central de la provincia de Curicó abarca las comunas de Curicó, Teno, Rauco, Romeral, Sangrada Familia y Molina, comunas ubicadas en la Provincia de Curicó, Región del Maule. Según proyecciones del INE, al año 2017, la población en estas comunas asciende a 262,992 habitantes, equivalentes al 24.9% de la región del Maule y al 1.4% de la población total del país.

El Decreto Supremo N° 53 de 10 de noviembre de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada<sup>5</sup> por Material Particulado Fino Respirable (MP<sub>2,5</sub>) como concentración de 24 horas, al Valle Central de la Provincia de Curicó, razón por la cual, mediante la Resolución Exenta N° 0168 de 8 de marzo de 2016 se da inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA).

Estas declaraciones dan 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 el valle central de la Provincia de Curicó<sup>6</sup>. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración MP<sub>2,5</sub>, por debajo de los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

### 2.1 Concentraciones atmosféricas.

En la Tabla 1 se presentan las concentraciones utilizadas para la modelación, las cuales corresponden a valores medidos en la estación Curicó. Estos valores son utilizados como línea base y para los cuales se calcula la reducción en concentración de las medidas y el cumplimiento del plan. Los criterios utilizados para la elección del valor corresponde a la data más actual existente a la fecha.

Tabla 1: Concentraciones utilizadas en la modelación.

Medida	MP <sub>2,5</sub>	Criterio
Diaria	99	Percentil 98 para los datos de concentración del año 2016

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2 Concentraciones estimadas para el PDA.

La Tabla 2 presenta las concentraciones estimadas para los distintos sectores de la zona estudiada, para el año 2016. El mayor aporte lo genera el sector residencial, con un 73% de aporte a las concentraciones de MP<sub>2,5</sub>, producto del uso de la biomasa en calefacción.

<sup>5</sup> Zona Saturada: Aquella en la que una o más normas de calidad ambiental se encuentra superada.

<sup>6</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.

Tabla 2 : Concentraciones base calculadas para MP<sub>2.5</sub> en el Modelo Costo-beneficio.

Sector	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Residencial	78.37	76.52	74.68	72.84	71.00	69.15	67.31	65.47	63.63	61.78	59.94
Quemas Agrícolas	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Puntual - Industria	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.22	7.22	7.22	7.22
Móviles	1.09	1.05	1.01	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79	0.75	0.71	0.66
Fugitivas	1.62	1.64	1.66	1.69	1.71	1.74	1.76	1.79	1.82	1.85	1.87
Background	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59	11.59
Total	101.01	99.15	97.29	95.43	93.57	91.71	89.85	87.99	86.14	84.28	82.42

Fuente: Elaboración Propia en base fuentes de información Anexo 7.8.

## 2.3 Medidas Evaluadas

En la Tabla 3 se presentan 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
Residencial: Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos y leña	Recambio de calefactores a leña por calefactores que utilicen combustible distinto a leña (pellet).
	Prohibición al uso de chimeneas de hogar abierto
	Prohibición al uso de Salamandras y estufas hechizas (3° año)
	Prohibición al uso calefactores a leña del tipo cámara simple (sin templador) (4°)
	Prohibición al uso calefactores a leña que no cumplan norma (5° año).
Residencial: Mejoramiento Térmico de las viviendas	Subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas existentes
	Requisitos de aislación térmica viviendas nuevas
Mejoramiento Leña	Comercialización de leña seca.
Quemas	Prohibición quemas en los meses de invierno.
Fuentes Fijas	Límite de emisión para MP y SOx.
	Compensación de emisiones en el marco del SEIA

Fuente: Elaboración propia en base a medidas del Anteproyecto.

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, entre otras. Mayor detalle de éstas se puede encontrar en la Sección 7.4 de Anexos. El detalle sobre las medidas y los resultados de la evaluación se presentan en las secciones 7.2 y 7.3 de Anexos.

### 3. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Boardman *et al.*, 2006; Hanley and Spash, 1993; Layard and Glaister, 1994). La reducción de emisiones asociadas a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados a continuación<sup>7</sup>.

Las reducciones de emisiones 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>8</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 7.5.4.

El AGIES es elaborado mediante una secuencia de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las emisiones de línea base con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el modelo integra una sección de emisiones, un modelo de emisión-calidad, modelo de concentración-respuesta basado en estudios epidemiológicos<sup>9</sup> y un modelo económico de valorización de los beneficios. Paralelamente se integra información sobre costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el análisis costo-beneficio (ver Figura 2).Szklo and Nieto (2014)

Los beneficios valorizados de las medidas del plan corresponden a impactos en la salud de la población expuesta debido a la disminución de concentración ambiental de MP2,5 producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida. Adicionalmente se valoran los beneficios por ahorros en el uso de combustible destinado a calefacción debido a medidas que mejoran la eficiencia o reducen la demanda del mismo.

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

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

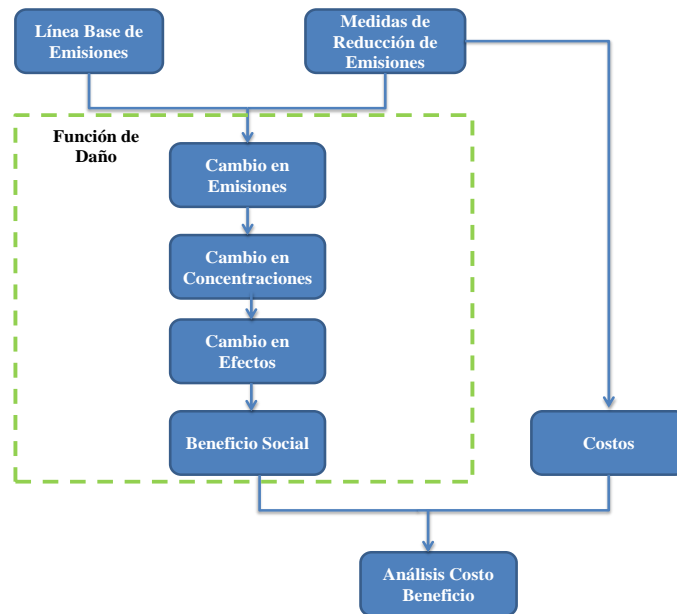
<sup>8</sup> Por ejemplo, si dos medidas con eficiencias del 70% y 80% son aplicadas sobre una misma fuente emisora, el orden que implemente la medida afecta la efectividad de cada una de ellas, no así el valor de la reducción total de emisiones, que en este caso correspondería a  $1 - (1-0,7) \cdot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

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



Además, se realiza un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar quiénes perciben los beneficios y los costos de la regulación. Así, se analiza el impacto 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 2. Diagrama metodológico para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



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

Dentro de las limitaciones del análisis se mencionan los beneficios por reducción de MP que no fueron valorizados tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, efectos en la salud en otras comunas del país y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*<sup>10</sup>. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o falta de información base.

Finalmente es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante 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>11</sup>, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmosfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.

<sup>11</sup> En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP10 y MP2,5, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

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

## 4. Resultados

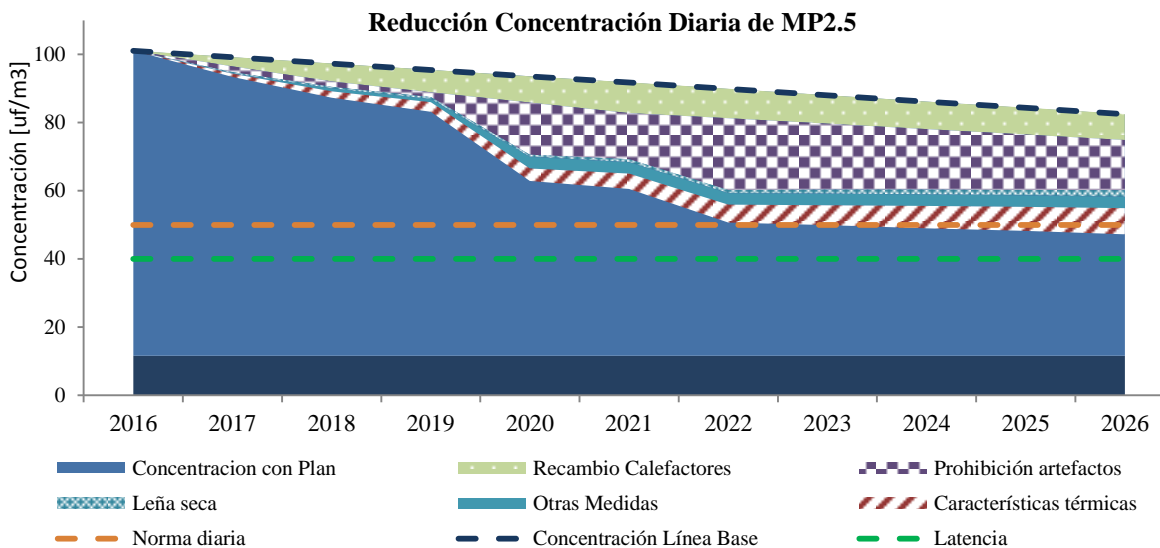
En esta sección se presentan los resultados de las medidas evaluadas para la reducción de la concentración atmosférica. También se calculan los costos de implementación, ahorros en combustible y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración, según la metodología detallada en el punto 3 y la sección 7.5 de anexos.

### 4.1 Efectos en Calidad del Aire

La implementación de las medidas se estima a partir del año 2017, y por ende el plan comprenderá un periodo de 10 años (2017-2026), considerando años calendario (1 de enero a 31 de diciembre).

La Figura 3 presenta las reducciones estimadas para la concentración atmosférica de MP2,5 en su métrica diaria, según las medidas establecidas.

Figura 3: Evolución de concentración diaria de MP2.5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], 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.

Se estima que la norma diaria para para MP2,5 se cumplirá el año 2023, logrando una concentración de  $47.17 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  al año 2026. Estos valores suponen un descenso de los niveles establecidos por la norma, por consiguiente se considerará un cumplimiento en los objetivos del PDA de la provincia de Curicó.

Mayor detalle de las medidas y sus reducciones de emisión se encuentra en las secciones 7.2 de Anexos.

## 4.2 Reducción de Emisiones y de Concentraciones

Tabla 4 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 2026 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 2026.

Sector	Línea Base 2026		Reducción Año 2026		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.
<b>Residencial</b>	996	9.5	529	5.06	53%	96.59%
<b>Quemas</b>	53	0.01	38	0.01	72%	0.15%
<b>Industria</b>	276	0.48	99	0.17	36%	3.26%
<b>Transporte</b>	25	0.19	0	0.00	0.0%	0.00%
<b>Fugitivas*</b>	72	1	0	0	0%	0%
<b>Total</b>	<b>1,422</b>	<b>11</b>	<b>666</b>	<b>5.2</b>	<b>49%</b>	<b>100%</b>

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

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las mayores reducciones de emisiones corresponden al sector residencial, con 529 ton/año el año 2026. Esto se debe principalmente a los 5.000 recambios de equipos de calefacción a la prohibición de chimeneas y la prohibición de artefactos que no cumplan con la norma de emisión<sup>13</sup>. El reacondicionamiento térmico de viviendas que contempla subsidios para 23.000 viviendas y la exigencia de características térmicas específicas para viviendas nuevas ayudan a generar esta alta reducción en las emisiones del sector.

Las reducciones en concentración para cada medida al año 2026 junto con su reducción porcentual se presentan en la Tabla 5, donde se observa que las medidas más importantes en reducción corresponden a medidas asociadas al sector residencial.

<sup>13</sup> Decreto Supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente

Tabla 5: Reducción de emisiones y concentraciones de MP<sub>2,5</sub> diaria por medida, año 2026.

Medida	Diario	
	Reducción de concentración (ug/m3N)	Reducción de concentración (%)
Prohibición artefactos	14.3	40.7%
Recambio pellet	7.6	21.6%
Reacondicionamiento térmico	7.2	20.4%
Límite de emisiones MP, NOx, SO2	2.6	7.3%
Uso de leña seca	1.9	5.3%
Quemas agrícolas	0.8	2.3%
Estandares de aislación para viviendas nuevas	0.4	1.2%
Prohibición chimeneas	0.4	1.1%
Compensaciones SEIA	0.02	0.1%
<b>Total</b>	<b>35.3</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que es el sector residencial, a través de la implementación de medidas tales como el Recambio de calefactores, la prohibición de calefactores y el reacondicionamiento térmico es el que genera las mayores reducciones globales. El sector industrial, también posee reducciones considerables para este PDA, aportando con un 7.3% de las reducciones globales de MP<sub>2,5</sub> en su métrica diaria.

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

Para entender mejor los beneficios monetarios en salud presentados en la sección de Indicadores Económicos, se muestra una estimación del número de casos evitados por tipo de evento para el año 2026 debido a la menor concentración esperada de MP<sub>2,5</sub>. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 7.6 de Anexos.

Cabe destacar que pese a que este PDA está enfocado en MP<sub>2,5</sub> en su métrica diaria, las medidas implementadas tendrán efectos en la reducción de la concentración anual. Debido a esto último se contabilizan los casos de mortalidad (crónica) que se evitarían con la implementación de las medidas del plan, se estiman en 22 para el año 2026, con un total de 171 casos evitados entre los años 2017 y 2026.

Tabla 6: Número de Casos evitados año 2026 y totalidad el Plan (2017-2026).

Evento	Tipo	Per50	IC90	Per50	IC90
<b>Mortalidad</b>	<i>Largo Plazo</i>	22	[14 - 31 ]	171	[107 - 233 ]
<b>Admisiones hospitalarias</b>	<i>Asma</i>	0	[0 - 1 ]	3	[2 - 4 ]
	<i>Cardiovascular</i>	5	[4 - 6 ]	36	[31 - 48 ]
	<i>Respiratorias crónicas</i>	1	[0 - 1 ]	5	[1 - 10 ]
	<i>Neumonía</i>	4	[2 - 7 ]	32	[14 - 51 ]
<b>Visitas Salas de Emergencia</b>	<i>Asma 2</i>	706	[231 – 1.182 ]	5.372	[1.756 – 8.988 ]
<b>Productividad perdida</b>	<i>Días laborales</i>	3.936	[3.726 – 4.401 ]	29.929	[28.335 – 33.467 ]
	<i>Días de actividad restringida</i>	19.187	[18.430 – 21.042 ]	146.021	[140.260 – 160.142 ]
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	36.045	[34.374 – 40.133 ]	274.327	[261.598 – 305.438 ]

Fuente: Elaboración Propia en base fuentes de información Anexo 7.8

#### 4.4 Indicadores Económicos

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la metodología establecida en el capítulo 3 del presente informe, en la sección 7.5 y según los supuestos indicados en la sección 7.3 de anexos. En primer lugar el análisis costo-eficiencia de las medidas, posteriormente el análisis costo-beneficio y análisis distributivos.

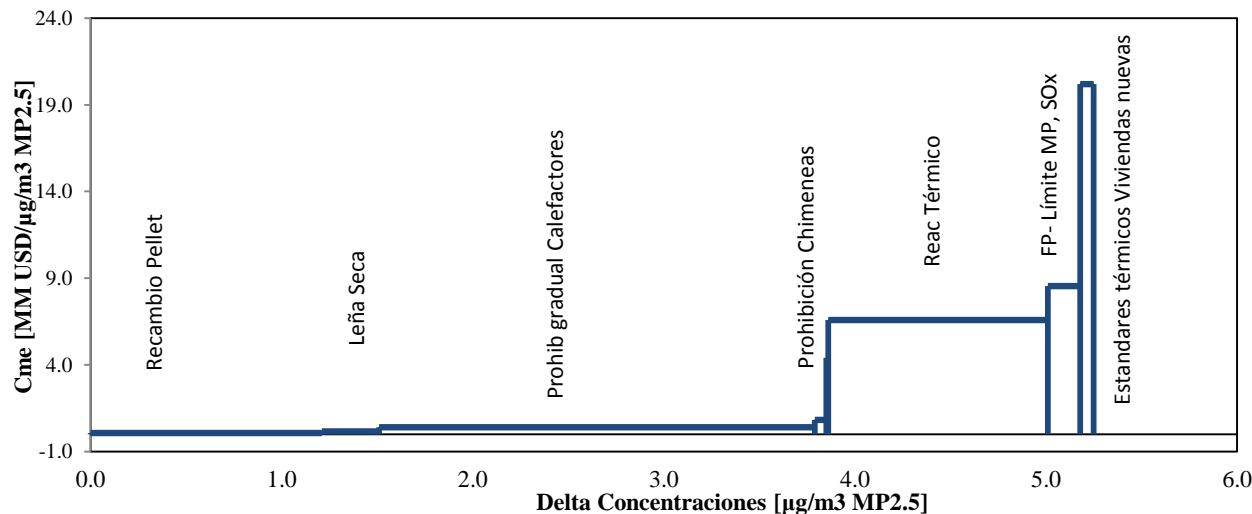
##### 4.4.1 Costo eficiencia de las medidas del PDA<sup>14</sup>

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 mantención<sup>15</sup>.

Se puede observar en Figura 4 que el Recambio de calefactores por calefactores que utilicen combustible distinto a leña (en este caso pellet), la comercialización de leña seca y la prohibición gradual de calefactores corresponden al grupo de medidas más costo-efectiva. Otras medidas como el Reacondicionamiento térmico de viviendas y los límites de emisión incurren en costos presentando un alto grado de reducciones.

<sup>14</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>15</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.

Figura 4: Costo Medio de medidas [MM USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{MP}_{2.5}$ ], año 2026


El gráfico considera la inversión, costos variables y ahorros de operación anualizados, sin incluir los beneficios en salud. Los valores corresponden al año 2026, 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 que generan una mayor cantidad de reducciones de concentración (Prohibición gradual de calefactores, leña seca, recambio de calefactores, reacondicionamiento térmico y límite de emisión para fuentes puntuales) presentan costos medios que varían entre los USD\$ 0.07 a 20.19 millones de dólares.

#### 4.4.2 Análisis Costo-Beneficio

La Figura 5 muestra en valor presente 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\$ 145 millones de dólares para el periodo de evaluación, con beneficios cercanos a 3.5 veces los costos. Se puede observar que los beneficios en salud asociados a las distintas medidas evaluadas, dan cuenta del 95%<sup>16</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.

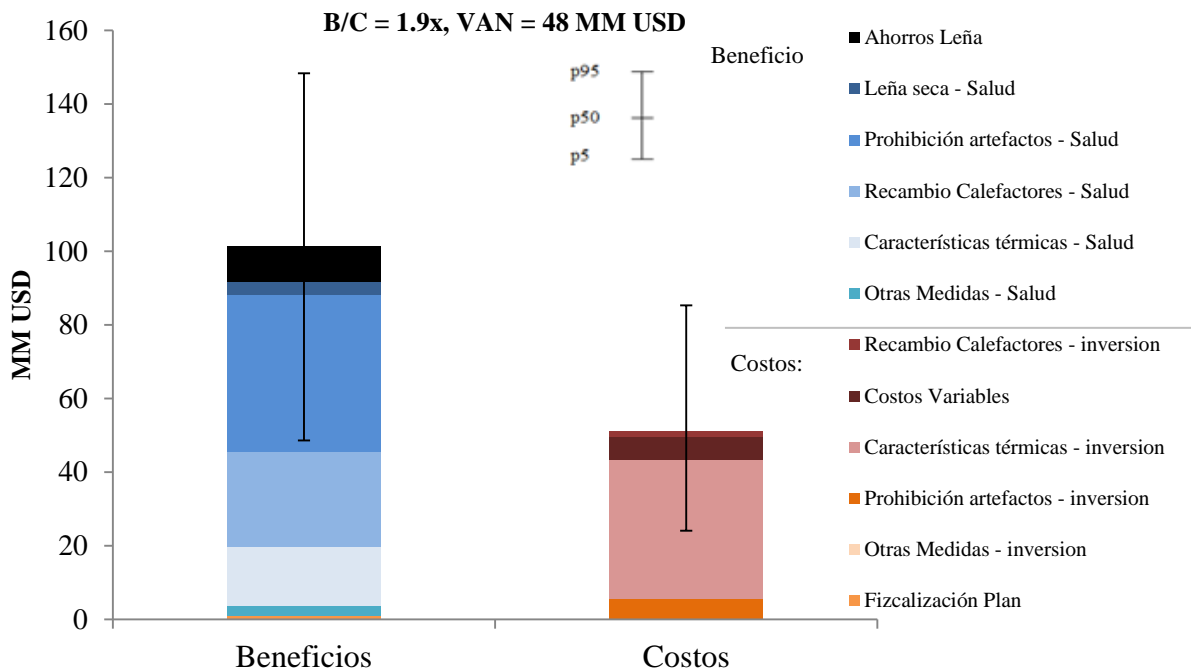
A su vez, dentro de los beneficios en salud (95%), la reducción de riesgos de muerte prematura refleja el 91.5% de los beneficios, mientras que el resto se divide en los costos evitados en el tratamiento de enfermedades y productividad perdida 3.5%.

<sup>16</sup> 95% corresponden a beneficios en salud y 5% corresponden a beneficios en ahorros.

Se determinó que el costo total del plan corresponde a US\$ 58 millones de dólares para el período de evaluación, los subsidios de aislación térmica dan cuenta del 62% 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 19%, 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.

Se incluyen en este análisis los costos declarados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), para la fiscalización del plan, los cuales corresponden a un 1.8% de los costos totales del plan.

Figura 5: 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>17</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 2026. 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.

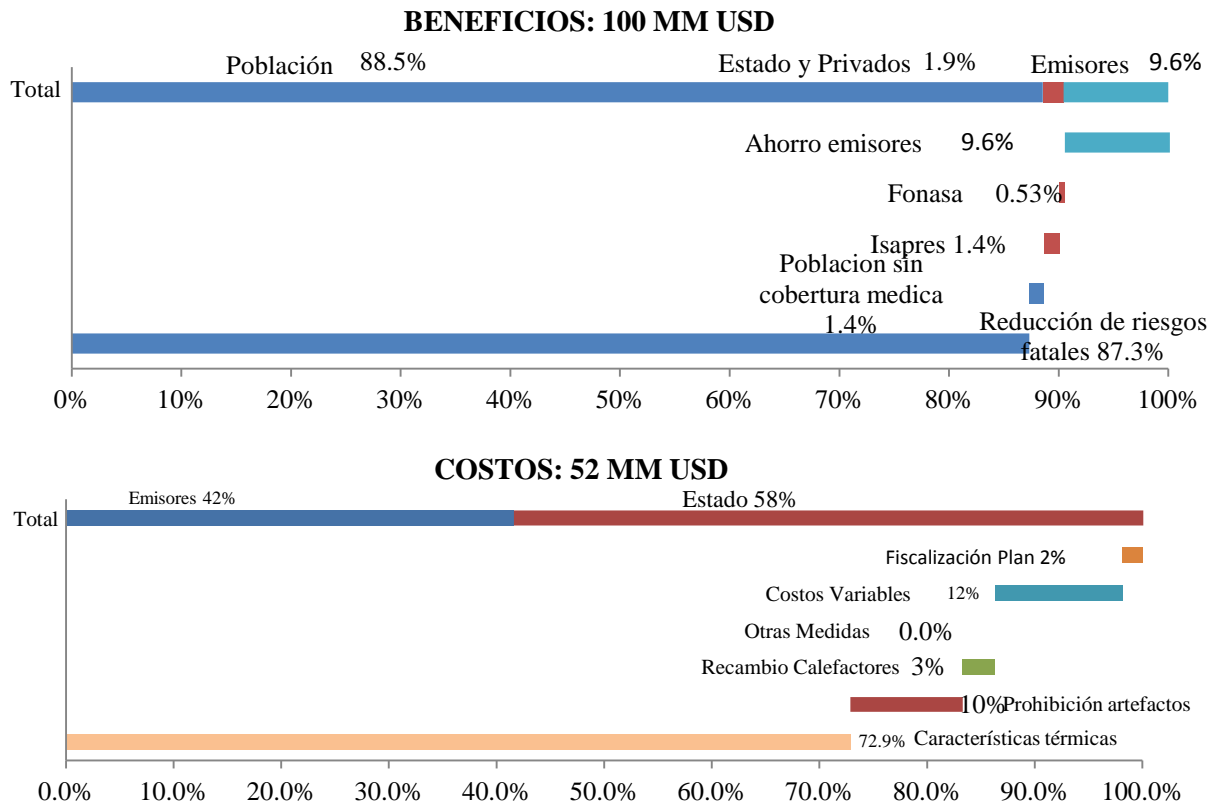
De la Figura 6 se desprende que la gran parte de los beneficios se asocian a la población (87.27%), debido a casos evitados de mortalidad prematura, mientras que un 3.2% se asocian a casos de morbilidad y actividad restringida, una menor cantidad (3.17%) de los beneficios corresponde a los emisores, por ahorros derivados en el consumo de combustible

<sup>17</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.

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 58%, por concepto de subsidio a los recambios de calefactores y subsidios de aislación térmica. Por su parte, los emisores financian el 42% restante principalmente por costos de prohibición de artefactos y abatimiento de fuentes fijas. Al contrastar con los beneficios que derivan del plan, se obtiene un beneficio neto.

Figura 6: Distribución de beneficios y costos



Fuente: Elaboración propia.

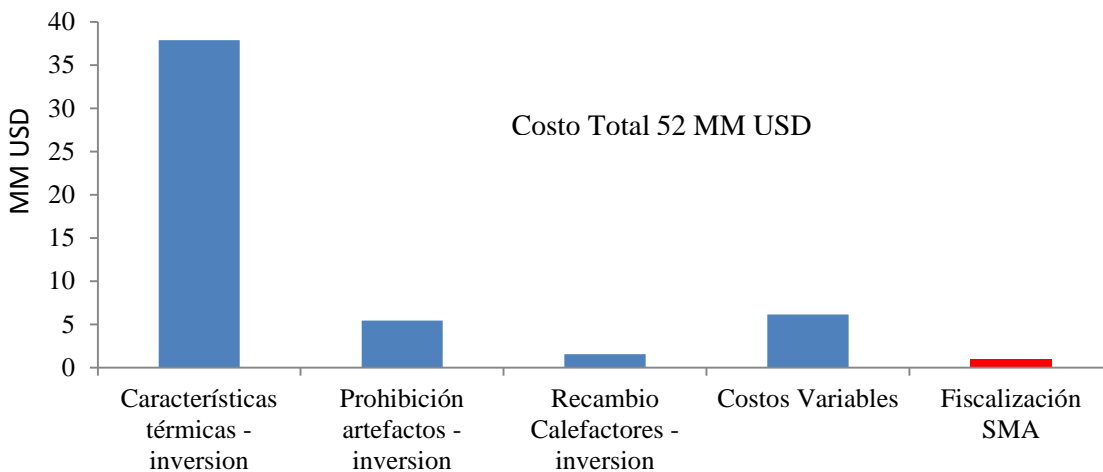
#### 4.4.3 Costos de Fiscalización SMA

Se presentan los costos de fiscalización entregados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) para el Plan de Descontaminación de la Provincia de Curicó. Estos costos corresponden a los costos asociados a las principales medidas de fiscalización, límites de emisión MP y SO<sub>2</sub>, compensaciones de emisiones, seguimiento GEC, etc. además de los costos variables que contempla el arriendo de vehículos, equipos etc.

El Valor Presente Neto calculado para el periodo del plan (10 años) corresponde a 0.98 MM USD, un 1.8% aprox de los costos totales del plan. En la Figura 7 se presentan los costos de inversión de todo el plan de manera de compararlos.



Figura 7: Costos identificados en el plan, incluyendo costos de Fiscalización, valor presente



Fuente: elaboración en base a información SMA y resultados del AGIES.

#### 4.5 Episodios Críticos

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para MP2,5 corresponden a aquéllos en que la concentración de 24 horas se encuentre dentro de los rangos que da cuenta la Tabla 7 y son los que 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.

Tabla 7: Rangos de concentración [µg/m3] para episodios críticos por MP2.5

Nivel	Concentración 24 horas MP <sub>2.5</sub>
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, la prohibición al uso de calefactores y la restricción del funcionamiento de fuentes puntuales (mayor detalle de las medidas se encuentra en la sección 7.2 de Anexos).

La Figura 8 muestra la reducción en concentraciones para diferentes tipos de fuentes emisoras asociadas a la Gestión de Episodios Críticos (GEC). Para el caso del programa de recambio de calefactores, se puede observar un menor impacto de las medidas estructurales del plan, esto se debe a que se afecta a una menor cantidad de fuentes a medida que se implementan las medidas del PDA.

Para el caso de las fuentes puntuales, pese a que los valores son muy bajos, la mayor reducción está dada antes del año 2019, a partir de este año se generará el cumplimiento

de la medida de límites de emisión, lo que implicaría menores reducciones del sector llegando a niveles muy bajos de reducción desde el año 2022 en adelante.



\*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.

## 5. Conclusiones

En esta zona, el mayor emisor de MP<sub>2,5</sub> corresponde al sector residencial, debido a la amplia utilización de leña para calefacción, dando cuenta de más de un 90% de las concentraciones medidas. 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 calderas industriales y quemas agrícolas.

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

Del análisis, se desprende que el beneficio social total del plan es de US\$ 48 millones de dólares en valor presente. Estos beneficios se concentran principalmente en la reducción de riesgos fatales, siendo alrededor de un 87.2% del beneficio total. El restante corresponde a ahorros en consumo de leña, y a costos evitados en tratamientos de enfermedades y días con actividad restringida. Estos beneficios resultan en gran parte de la aplicación de medidas en el sector residencial, que aporta el 90% de la reducción de concentración de MP<sub>2,5</sub>.

Los costos totales se estiman en US\$ 52 millones de dólares. Las medidas de prohibición de artefactos poseen los menores costos, la medida de recambio de calefactores y reacondicionamientos térmicos pese a que incurre en costos posee un alto nivel de reducción. Los demás sectores tienen un costo medio mayor, esto es, cada unidad de concentración reducida es más costosa. Los costos de fiscalización corresponden a un 2% del costo total y se estiman en US\$ 0.98 millones de dólares para los 10 años de vigencia del plan. El aporte del Estado alcanza un 58% de los costos, este valor se debe principalmente a un alto número de subsidios de aislación térmica y al alto número de recambio de calefactores implementados. Por otra parte los emisores aportan con el 42% 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<sub>2,5</sub> en el año 2023, llegando a niveles de concentración cercanos a los 47 µg/m<sup>3</sup>N en el año 2026.

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.

## 6. 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.

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

- T. Y. Chang, B. W. (1975). "Generalized Rollback Modeling for Urban Air Pollution Control." Journal of the Air Pollution Control Association **25**(10): 1033-1037.
- 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.

## 7. Anexos

### 7.1 Inversión del Estado

La Tabla 8 muestra una estimación de la inversión en la que debería incurrir el estado por concepto de subsidios establecidos en el plan.

Tabla 8: Inversión del Estado (millones de pesos)

	<u>Valor unitario (CLP)</u>	<u>Valor Subsidio (CLP)</u>	<u>Cantidad al año</u>	<u>MM CLP/año</u>	<u>VP Costo (MM CLP)</u>	
<b>Recambio artefactos (pellet)</b>	1,220,429	1,812,518	1000	1,098	4,627	*5000 recambios por 5 años (1.000 recambios anuales)
<b>Aislación Térmica de viviendas</b>	3,292,441	12,496,063	2300	7,573	55,735	*23000 subsidios por 10 años a viviendas con avalúo < a 650 UF, correspondiente al programa PPPF.
<b>TOTAL</b>				8,671	60,362	

Fuente: Elaboración propia

Supuestos: Valor UF de 26172. Valor del dólar 657, 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 que cumplen la norma y de 90% en caso de pellets. El subsidio a la aislación térmica se considera de un 100% para viviendas PPPF.

## 7.2 Resultados por Medida

La Tabla 9 y la Figura 9 muestran los costos, beneficios e indicadores económicos para las medidas evaluadas.

Tabla 9: Resultados por medida. MM USD. Valor presente

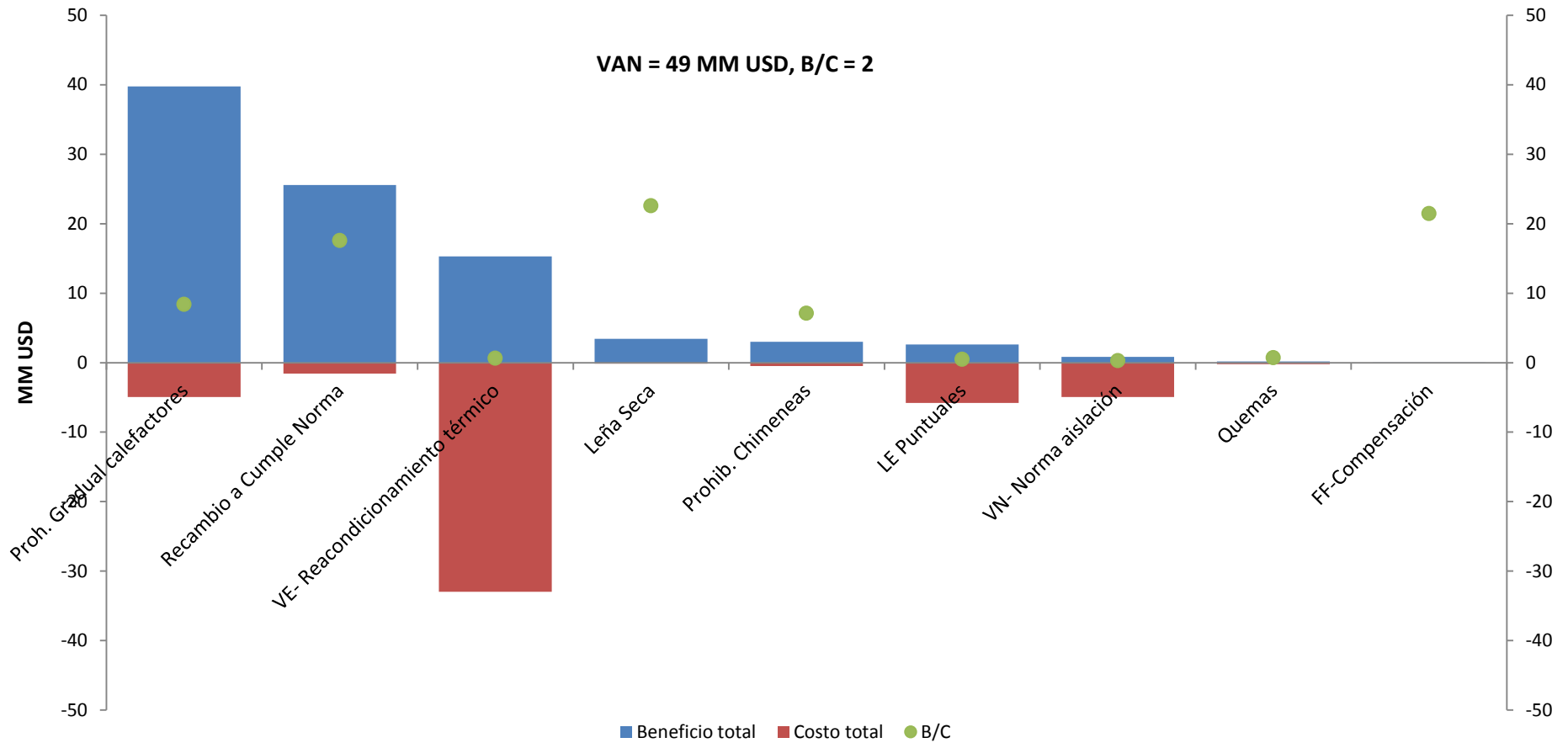
	Costos Variables Netos		Costos Inversión		Beneficios Salud	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total	Razón B/C
	Privado	Estado	Privado	Estado					
Lena Seca	0.2	0.0	0.0	0.0	3.4	3.3	3.4	0.2	22.6
Prohibición Gradual Calefactores	3.2	0.0	5.0	0.0	39.8	36.6	41.5	5.0	8.4
Puntuales DEA - Límite de Emisiones MP, NOx, SO2	5.8	0.0	0.0	0.0	2.6	-3.2	2.6	5.8	0.4
Recambio pellet	-1.5	1.4	0.2	1.4	25.6	25.7	27.3	1.6	17.6
Prohibición Chimeneas	0.1	0.0	0.5	0.0	3.0	2.9	3.4	0.5	7.1
Quemas - Restricción Meses	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.7
Puntuales DEA - Compensaciones	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4
Viviendas Nuevas - Viviendas nuevas	4.5	0.0	4.9	0.0	0.8	-3.6	1.3	4.9	0.3
Reacondicionamiento Térmico - Viviendas Existentes	-0.3	28.0	4.9	28.0	15.3	-12.4	20.5	33.0	0.6
Fiscalización Plan	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
<b>Total general</b>	<b>12.1</b>	<b>30.4</b>	<b>15.5</b>	<b>29.4</b>	<b>90.7</b>	<b>49.2</b>	<b>100.3</b>	<b>52.0</b>	<b>2.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

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



Figura 9: Resultados por medida para MP<sub>2.5</sub>



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 beta utilizado (de largo plazo) para adultos sigue una distribución normal con media de 0.93%. Valor presente considera flujos hasta año 2030.

## 7.3 Fichas de Medidas Evaluadas

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

<b>Norma Emisión Calefactores (LB)</b>													
<b>Descripción</b>	Norma de emisión para calefactores nuevos de combustión a biomasa. D.S. N° 39. de 2011. Ministerio del Medio Ambiente.												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencia (kW)</th> <th>Emisión de MP (gr/h)</th> <th>Eficiencia (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Menor o igual a 8</td> <td>2.5</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 8 y menor o igual a 14</td> <td>3.5</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 14</td> <td>4.5</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table>	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
	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.													
<b>Supuestos</b>	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.												
<b>Resultados</b>	La reducción de emisiones no se atribuye al plan, si no que se consideran parte de la línea base.												
<b>Referencias Bibliográficas</b>	Nch3173-2009. FE: (DICTUC 2008).(MMA 2013)												

<b>Prohibición al uso de Calefactores</b>																											
<b>Descripción</b>	Se prohíbe el uso de calefactores a leña del tipo <b>chimeneas de hogar abierto</b> desde el inicio del plan; Cocinas a leña y calefactores a leña del tipo salamandras y hechizos_a partir del tercer año; Queda prohibido el uso de calefactores a leña del tipo cámara simple (sin templador) desde el cuarto año de vigencia del PDA; <b>Queda prohibido el uso de</b> todos los calefactores que <b>no cumplan con la Norma de emisión</b> de Material Particulado para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera, D.S. N°39, de 2011 MMA, en el plazo de 5 años. Dentro del límite urbano de la zona saturada desde la puesta en marcha del plan.																										
<b>Supuestos</b>	<p><b>Cumplimiento:</b></p> <p>Chimeneas de hogar abierto: 100%. Calefactores hechizos y Salamandras: 80% Calefactores no cumple norma: 80% Vida útil equipos de calefacción: 20 años</p> <p><b>Valor calefactor</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </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>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>USD/µg/m<sup>3</sup> MP<sub>2.5</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proh. Gradual calefactores</td> <td>238</td> <td>2.28</td> <td>39.8</td> <td>1.7901</td> <td>4.95</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>Proh. Chimeneas</td> <td>7</td> <td>0.06</td> <td>3.0</td> <td>0.4163</td> <td>0.48</td> <td>0.82</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones y Concentración corresponden al año 2026. CMe corresponde al año 2026. 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	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>	Proh. Gradual calefactores	238	2.28	39.8	1.7901	4.95	0.40	Proh. Chimeneas	7	0.06	3.0	0.4163	0.48	0.82
	Reducción MP <sub>2.5</sub>	Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																						
Medida	Ton/año	µg/m <sup>3</sup>	MM USD	MM USD	USD/µg/m <sup>3</sup> MP <sub>2.5</sub>																						
Proh. Gradual calefactores	238	2.28	39.8	1.7901	4.95	0.40																					
Proh. Chimeneas	7	0.06	3.0	0.4163	0.48	0.82																					
<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 del Maule ejecutará un programa de recambio voluntario de artefactos existentes (calefactores) que combustione leña o derivados de la madera Vigencia: Desde la publicación del plan.						
<b>Supuestos</b>	5.000 recambios por calefactores a pellet (1,000 anuales) durante los 5 primeros años del plan (2017-2022). Valor equipo pellet: 44.13 UF/eq Costo chatarrización equipo recambiado: 0.517 UF/eq Costo cocina a gas (licuado o natural): 5 UF/eq Vida útil equipos de calefacción: 20 años Copago beneficiario: 25% para equipos que cumplen norma y 10% para pellets.						
<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>
	Recambio a pellets	126	1.21	25.6	1.6969	1.55	0.07
	Reducción de emisiones. Concentración corresponden al año 2026. CMe corresponde al año 2026. Beneficios. Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)						

### 7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas

Subsidio al acondicionamiento térmico de viviendas existentes							
<b>Descripción</b>	La SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará al menos 23,000 durante todo el plan para el Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes bajo el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF). Se deberá dar cumplimiento al menos a los siguientes parámetros adicionales a la normativa vigente en la zona:						
	$U \leq$		2017	2018	2026		
	Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre		0.38	0.38	0.38		
	Transmitancia térmica para el Complejo de Muro		0.8	0.8	0.8		
	Transmitancia térmica para ventanas		1	1	1		
	Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas		0	1.7	1.7		
Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados		0.6	0.6	0.6			
<b>Supuestos</b>	Vida útil Aislación Térmica: 25 años, Subsidios desde el año 2017 a 2026, con un total de 23,000 subsidios en 10 años. Vidriado de 3.6 W/m <sup>2</sup> K desde el año 2017 Costos: Se utilizaron los costos promedios informados por MINVU los cuales corresponden a 124.4 UF para viviendas 3pf (<650 UF) y de 177 UF para viviendas > 650 UF. Se asume subsidio de 100% en viviendas PPPF. No se evalúa extracción de aire en baño y cocina ni superficie de ventanas por orientación. 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/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>
	<b>Reacondicionamiento Térmico</b>	120	1.15	15.3	5.2460	32.97	6.58
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2026. CMe corresponde al año 2026, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MINVU 2007), (MMA 2013a), (GreenLabUC 2013)						

<b>Aislación térmica viviendas nuevas</b>						
<b>Descripción</b>	Las viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de los siguientes estándares:					
	U <sub>≤</sub>		2017	2018	2026	
	Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre		0.38	0.38	0.38	
	Transmitancia térmica para el Complejo de Muro		0.8	0.8	0.8	
	Transmitancia térmica para ventanas		1	1	1	
	Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas		0	1.7	1.7	
	Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados		0.6	0.6	0.6	
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 8 medidas a 50Pa.						
<b>Supuestos</b>	Vida útil Aislación Térmica: 25 años. Supuesto: Vigente desde 2017					
	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, Osorno y Valdivia, El costo promedio utilizado para la aislación térmica de viviendas nuevas es de 77.20 UF/vivienda					
<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>Aislación térmica viviendas nuevas</b>		7	0.07	0.8	0.4421	4.93
Reducción de emisiones y concentración corresponden al año 2026. CMe corresponde al año 2026, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013)					

### 7.3.3 Quemias Agrícolas, Forestales y Domiciliarias

<b>Quemias agrícolas, forestales y domiciliarias</b>						
<b>Descripción</b>	Se prohíbe el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal de las comunas que conforman el PDA del valle central de la Provincia de Curicó, desde el 1° de Abril hasta el 31 de Agosto.					
<b>Supuestos</b>	Sólo se consideran los datos reportados a CONAF como quemias legales (no se consideran quemias ilegales ni incendios forestales), por lo que esta medida podría tener un potencial de reducción de emisiones mayor. Se utilizaron los FE extraídos de (MMA 2011a) ponderados por Ciudad de acuerdo a la participación de las especies producidas en cada una según datos de (INE 2012).					
<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>
	Quemias agrícolas	38	0.01	0.2	0.0000	0.22
	<p>Reducción de emisiones y concentración corresponden al año 2026.</p> <p>CMe corresponde al año 2026, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p> <p>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.</p> <p>Costos en base a (Villena, Villena et al, 2007) actualizados de acuerdo a inflación.</p> <p>Se trabajó con los datos de 2011 para la proyección de la línea base y cómo tasa de proyección se utilizó la variación anual promedio de los últimos 3 años.</p>					
<b>Referencias Bibliográficas</b>	CONAF, Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemias Controladas, (INE 2012), (MMA 2011a), (Villena, Villena et al, 2007) (MMA 2013a)					

### 7.3.4 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 391 unidades de emisión en el año 2012.

Límite de emisión calderas nuevas y existentes								
Descripción	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	≥85					
	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: 2017							
	Las fuentes nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para Material Particulado.							
		Límite Máximo de MP		Límite máximo SO <sub>2</sub>				
	<b>Potencia Térmica</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	
Supuestos	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					
	SO <sub>x</sub> **	84.6	2,898					
(*) Para MP <sub>2,5</sub> se asume uso de precipitador electrostático húmedo. (**) Para SO <sub>x</sub> se supone Desulfurizador de Gases de Salida.								
Resultados	<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	1	0.00	0.0	0.0000	0.00	0.15	
	Límite de Emisiones MP, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	98	0.17	2.6	0.0000	5.80	8.54	
Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2026, Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados,								
Referencias Bibliográficas	(USEPA 2010)							

### 7.3.5 Gestión de Episodios Críticos

Medidas GEC evaluadas.																									
Descripción	<p><b><u>Alerta:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prohibición al uso de calefactores entre las 18:00 y las 23:59 hrs. Se exceptuaran de esta prohibición los calefactores a leña que pertenezcan a los programa de recambio y aquellos que cumplan con la norma de emisión de material particulado D.S N°39 de 2011.</li> <li>Solo se permite la emisión de humos visibles provenientes de viviendas, durante 15 minutos continuos para el encendido de artefactos.</li> </ul> <p><b><u>Preemergencia:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solo se permite la emisión de humos visibles provenientes de viviendas, durante 15 minutos continuos para el encendido de artefactos.</li> <li>Prohibición al uso de calefactores entre las 18:00 horas y hasta las 06:00 horas Se exceptuaran de esta prohibición los calefactores a leña que pertenezcan a los programa de recambio y aquellos que cumplan con la norma de emisión de material particulado D.S N°39 de 2011.</li> <li>Se prohíbe, desde las 18:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas a leña o carbón con una potencia térmica nominal menor a 75 kWt y que presenten emisiones mayores a 30 mg/m3N de material particulado.</li> <li>A contar del tercer año de entrada en vigencia, se prohíbe, desde las 06:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas a leña o carbón con una potencia térmica nominal menor a 75 kWt y de hornos a leña o carbón vegetal</li> </ul> <p><b><u>Emergencia:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prohibición al uso de calefactores durante 24 horas. Se exceptuaran de esta prohibición los calefactores a leña que pertenezcan a los programa de recambio y aquellos que cumplan con la norma de emisión de material particulado D.S N°39 de 2011.</li> <li>Se prohíbe, desde las 18:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas a leña o carbón con una potencia térmica nominal menor a 75 kWt y de hornos a leña o carbón vegetal.</li> <li>Se prohíbe, desde las 06:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas con una potencia térmica nominal mayor a 75 kWt y que presenten emisiones mayores a 20 mg/m3N de material particulado.</li> <li>A contar del segundo año de entrada en vigencia del plan, se prohíbe, desde las 06:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas con una potencia térmica nominal mayor a 75 kWt y que presenten emisiones mayores a 30 mg/m3N de material particulado</li> </ul>																								
	<p>Se asume un cumplimiento del 90%.</p> <p>Se asume solo 1 zona y en ella se aplican todas las medidas.</p> <p>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.</p> <p>Para la línea base se considera que calefactores operan 270 días por año y cocinas 365 días por año.</p>																								
Resultados	<p>Reducción mg/m3N año por categoría y por sector (residencial, industrial).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sector</th> <th>Categoría</th> <th>2017</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>2026</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residencial</td> <td>Alerta</td> <td>1.66</td> <td>1.50</td> <td>1.38</td> <td>0.73</td> <td>0.70</td> <td>0.15</td> <td>0.14</td> <td>0.14</td> <td>0.13</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>	Sector	Categoría	2017	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2026	Residencial	Alerta	1.66	1.50	1.38	0.73	0.70	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12
	Sector	Categoría	2017	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2026													
Residencial	Alerta	1.66	1.50	1.38	0.73	0.70	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12														



		Preemergencia	29.93	27.07	24.86	13.10	12.51	2.70	2.59	2.47	2.35	2.23
		Emergencia	4.99	4.51	4.14	2.18	2.09	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37
	Industrial	Alerta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Preemergencia	0.86	0.86	0.83	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
		Emergencia	0.86	0.86	0.83	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
<b>Referencias Bibliográficas</b>	(MMA 2013a)											

## 7.4 Medidas no Evaluadas

La Tabla 10 detalla las medidas que no han sido evaluadas para el presente plan,

Tabla 10: Medidas del plan no evaluadas

Sector	Medida
<b>Sector Comercial</b>	Todas las regulaciones destinadas a artefactos de uso comercial e institucional.
<b>Educación Ambiental</b>	Todas las medidas de capacitación y/o educación ambiental en el marco del PDA.
<b>Control de emisiones de calderas de uso residencial, comercial e industrial</b>	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%.
<b>Quemas</b>	Quemas de hojas secas y todo tipo de residuo en la vía pública.
<b>Transporte</b>	Medidas destinadas a la reducción e opacidad.
	Implementación de Ciclovías.
<b>GEC</b>	Excepción de paralización de actividades para viviendas que se calefacciones 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.

Fuente: Elaboración propia en base a Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Provincia de Curicó.

## 7.5 Metodología AGIES

### 7.5.1 Metodología sector residencial

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

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

Dónde:

*Emisiones*: Emisiones [gr/año]

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

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

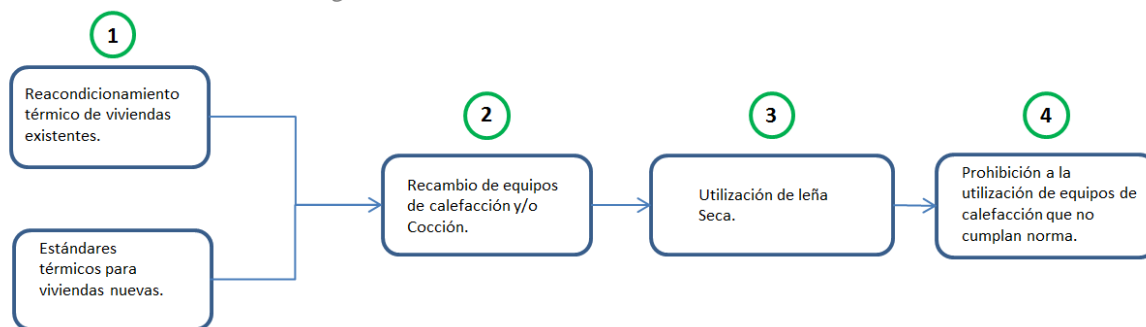
*Demanda de calor*: Demanda de calor de la vivienda j [MJ/vivienda-año]

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

La reducción de emisiones<sup>18</sup> corresponde a las emisiones finales menos las iniciales. Las emisiones finales consideran una mejora en el factor de emisión y eficiencia de los equipos, además de un incremento en el poder calorífico del combustible utilizado. La demanda de calor de la vivienda se mantiene constante.

En este sector, la estimación de la reducción de emisiones debe considerar que las medidas presentan interacciones, por lo que no pueden ser evaluadas independientemente sino que en forma secuencial. La Figura 10 muestra la metodología descrita que se implementa con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones en el sector.

Figura 10: Interacción medidas sector residencial.



Fuente: Elaboración Propia.

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

<sup>18</sup> O emisiones evitadas dado que son las emisiones que no se emitirán en el escenario con Plan.

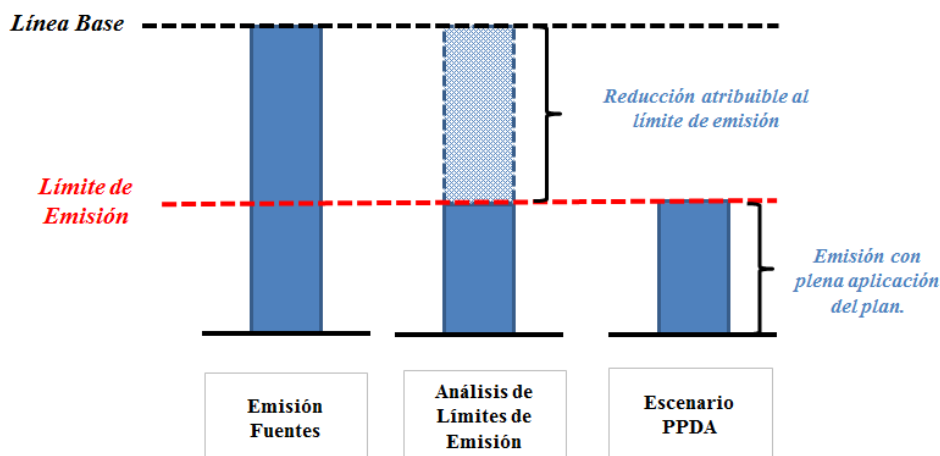
La metodología para la estimación de beneficios en salud asociados a la disminución de concentración de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> se detalla en el capítulo 7.5.5 de anexos.

### 7.5.2 Metodología sector Industrial

a) Evaluación de Límites de emisión MP, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, para calderas y procesos.

La evaluación de las medidas de límite de emisión MP, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> considera la reducción de emisiones corresponde a las emisiones de línea base declaradas para MP y estimadas para SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> menos el límite de emisión propuesto para cada contaminante, tal como lo representa la Figura 11.

Figura 11: Cálculo de reducción de emisiones para el sector industrial.



Fuente: Elaboración Propia.

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

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

Para el cálculo de las compensaciones de emisiones en el marco del SEIA, se utilizó el parque existente de calderas<sup>19</sup> como base para la estimación de nuevas fuentes, para esto, se asumirá que las nuevas fuentes poseerán iguales características (potencia, uso de combustible, y emisiones) que las calderas existentes. Adicionalmente, se asumirá un crecimiento de emisiones similar al PIB industrial de la región en donde se implemente el plan<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Base de datos Seremi de Salud de la RM según declaración de emisión RES 15.027/1994, actualizado al 2014, del Ministerio de Salud.

<sup>20</sup> O la mayor desagregación del PIB que se pueda lograr, adicionalmente se podrá considerar cuando los datos lo permitan el crecimiento histórico del parque.

El sistema en el que las empresas compensen, se registrará según lo que establecerá cada Plan de Descontaminación Ambiental.

### 7.5.3 Metodología sector quemas agrícolas

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

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

Dónde:

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

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

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

*FE<sub>i</sub>*: Factor de emisión por cultivo *i* [kg contaminante/Ton]

Con respecto a la fuente de la información utilizada, el número de hectáreas quemadas por cultivo y mes se obtiene del Reporte de Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas de CONAF<sup>21</sup>. El factor de carga y factores de emisión provienen de la recopilación hecha por (MMA 2013a).

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

### 7.5.4 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

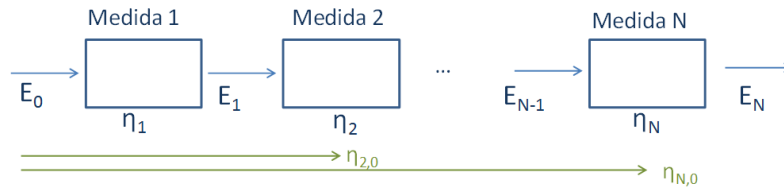
Se consideraron los efectos combinados o sinergias que poseen las medidas del PDAC, tanto en la reducción de emisiones como en los costos variables en combustible del sector residencial, fuente emisora con múltiples medidas que la afectan, De otro modo, se estaría haciendo un doble conteo tanto en reducción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

La Figura 12 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.

<sup>21</sup> <http://saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=17539376715682de64a49eb>

Figura 12: Diagrama conceptual de medidas aplicadas en serie para considerar sinergias entre ellas,

## Eficiencia medidas en serie



$$\begin{aligned}
 E_1 &= E_0(1 - \eta_1) \\
 E_2 &= E_1(1 - \eta_2) \\
 &\vdots \\
 E_N &= E_{N-1}(1 - \eta_N)
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_N \end{aligned}} \right\} E_T = E_0 \prod_{i=1}^T (1 - \eta_i) \rightarrow (1 - \eta_{T,0}) = \prod_{i=1}^T (1 - \eta_i)$$

$$\eta_T = 1 - \prod_{i=1}^T (1 - \eta_i)$$

$\eta_T$ : eficiencia medida T independiente  
 $\eta_{T,0}$ : eficiencia acumulada o total hasta T

Fuente: Elaboración propia

### 7.5.5 Beneficios en salud

La Tabla 11 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 11: 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],

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

Para el presente plan de descontaminación, dada la baja importancia de los precursores de  $MP_{2.5}$  comparada con las emisiones directas, estas no se consideran en la estimación del FEC, el cual fue calculado con respecto a las emisiones y concentración del año 2009, obteniéndose un valor de  $245 \text{ ton}/\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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:

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

Donde:

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

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

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

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

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

Al linealizar<sup>22</sup> la expresión anterior se obtiene:

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

<sup>22</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.



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

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

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

Donde:

- Beneficio<sub>p</sub>: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP<sub>2,5</sub>
- VU<sub>j</sub>: Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

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

### 7.5.6 Evaluación de costos

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

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

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

Se considera la inversión anualizada de acuerdo a su vida útil y los costos de operación y mantención. Los diferentes flujos de costos asociados a las diferentes medidas son llevados a valor presente. A su vez, el valor presente de los costos corresponde a la sumatoria del costo medio de las medidas multiplicado por la reducción de emisiones asociada para cada periodo.

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

Donde:

- VP CT: Valor presente de los Costos Totales realizadas un horizonte de T años, para todas las medidas [\\$].
- Inversión<sub>m,t</sub>: Inversión de la medida m realizada en el año t [\\$].
- Costos OyM<sub>t</sub>: Costos de Operación y Mantención realizados en el año t [\$/año].

- $CMe_m$ : Costo Medio de la medida m  $\left[ \frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$  o  $\left[ \frac{\$}{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p}} \right]$ .
- $Red_p$ : Reducción del contaminante p de la medida m en  $[\text{ton p}]$  o  $\left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ p} \right]$ .
- r: Tasa de descuento utilizada.
- n: Vida útil de la inversión [años].
- T: Horizonte de Evaluación de las medidas [años].

## 7.6 Valores unitarios de beneficios

Tabla 12: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2026, 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)

## 7.7 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 13 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino.

 Tabla 13: Coeficientes de riesgo unitario para MP<sub>2.5</sub>

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

Fuente: (MMA 2011)

## 7.8 Antecedentes de Información Utilizada

Tabla 14: Fuente de información Utilizada.

Sector	Fuente de información
<b>Concentración Estaciones</b>	Información utilizada, disponible en <a href="http://sinca.mma.gob.cl/">http://sinca.mma.gob.cl/</a>
<b>Inventario de Emisiones</b>	Información utilizada descrita en: 1.-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. 2.-MMA (2013b). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.
<b>Sector Residencial</b>	Descripción del parque residencial en: 1.-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. 2.-MMA (2013b). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente. 3.- Encuesta Casen , disponible en <a href="http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/basededatoscasen.php">http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/basededatoscasen.php</a>
<b>Sector Industrial</b>	Información sobre fuentes fijas: 1.-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
<b>Sector Quemadas Agrícolas</b>	Información obtenida a través de: 1.-Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas, Corporación Nacional Forestal (CONAF), disponible en: <a href="http://saq.conaf.cl/">http://saq.conaf.cl/</a>
<b>Beneficios</b>	Información obtenida a través de: 1.- MMA (2015) Actualización de tasas de incidencia base, valores unitario por evento de morbilidad y análisis de funciones dosis- respuesta para contaminación atmosférica. Chile, Ministerio del Medio Ambiente. 2.- 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. 3.- MMA (2013b). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente. 4.-MMA (2011b). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.
<b>Costos</b>	Costos utilizados descritos en: 1.-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. 2.- MMA (2013b). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente. 3.- Costos de Fiscalización, entregados por la Superintendencia del Medio Ambiente.
<b>General</b>	Precios Sociales: 1.-MDS (2015). Precios Sociales Vigentes 2015, Ministerio de Desarrollo Social. Gobierno de Chile 2.-MIDEPLAN (2011). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos, División de Planificación. Santiago, Chile.

Fuente: elaboración propia.

## 7.9 Ficha de elaboración del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Provincia de Curicó
	Versión de AGIES	Versión 3, “Incorporación de nuevos valores sobre el N° de recambio de calefactores e información de costos de fiscalización”
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de zona saturada: Decreto Supremo N° 53 de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente.
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	1 de Diciembre de 2016
	Alcance geográfico	Comunas de Curicó, Teno, Rauco, Romeral, Sagrada Familia, Molina.
	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)
	Nivel de evaluación de beneficios	Valorados beneficios en salud
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 13
	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	Año 2026: MP <sub>2,5</sub> 11.19 mg/m <sup>3</sup> N
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2026: MP <sub>2,5</sub> : 789 ton/año
Años de evaluación	2017-2026	
Parámetros	Valor del dólar	657 pesos/dólar
	Valor de la UF	26172 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	51
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	100
	Valor actual neto en MM USD	49