



**División de Información y Economía Ambiental
Ministerio del Medio Ambiente**

MEMORÁNDUM N°214/2014

De : Sr. Francisco Donoso Galdames
Jefe(S) División de Información y Economía Ambiental

A : Sr. Sebastian Tolvett Caro
Jefe División de Calidad del Aire

Mat. : Envío del documento "AGIES Plan de Descontaminación Atmosférica de Talca y Maule"

Fecha : 17 de diciembre de 2014

Junto con saludarlo, informo a usted que el Departamento de Economía Ambiental hace entrega oficial del documento "Análisis General de Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación Atmosférica por MP10 para las comunas de Talca y Maule".

Dicho documento se adjunta a este memo.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

**FRANCISCO DONOSO GALDAMES
JEFE(S) DIVISIÓN DE INFORMACIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL**

PSA/lr

c.c.: Archivo División Información y Economía Ambiental
Roberto Martínez, División de Calidad del Aire
María Ellana Vega Fernández, SEREMI región del Maule.



UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
DIVERSITY AND INCLUSION

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
DIVERSITY AND INCLUSION



000495

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL ANTEPROYECTO
PLAN DE DESCONTAMINACION ATMOSFÉRICA PARA TALCA Y MAULE POR
MP10 ANUAL Y DIARIA**

Diciembre 2014

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica de las comunas de Talca y Maule, 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.

1. Resumen

El presente informe presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) de las comunas de Talca y Maule. Este tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas en el anteproyecto.

Las comunas de Talca y Maule registran concentraciones de contaminantes que superan la norma diaria y anual de MP₁₀ y MP_{2,5}, aunque la declaración de zona saturada y el presente plan de descontaminación corresponden al primero. El principal sector emisor es el residencial, aportando cerca del 47% de las emisiones de MP₁₀ y alrededor del 76% de MP_{2,5}. Consecuentemente, las medidas propuestas en este anteproyecto han sido diseñadas con énfasis en la emisión doméstica mediante: i) el mejoramiento térmico de viviendas, ii) el recambio por equipos más eficientes de calefactores, iii) la mejora en las condiciones de humedad de 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 en el transporte público.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas en el Anteproyecto lograrían reducir emisiones y concentración de contaminantes, cumpliendo las normas diarias y anuales de MP_{2,5} al año 2025 y en el caso de MP₁₀, el año 2018.
- La reducción de emisiones atribuible a las medidas propuestas en el PDA generarán los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana¹ con la consecuente disminución de costos en salud; 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.
- Los beneficios se estiman en US\$374 millones², para un horizonte de evaluación de 10 años. Es importante destacar que los beneficios totales se concentran en la disminución de mortalidad (94%).
- Los costos asociados a la implementación del plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$67 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.
- La valoración de los beneficios y costos del PDA indica que la implementación es altamente rentable desde la perspectiva social. Los beneficios netos³ se estiman en US\$307 millones, lo que constituye una razón beneficio-costo⁴ de 5,6.

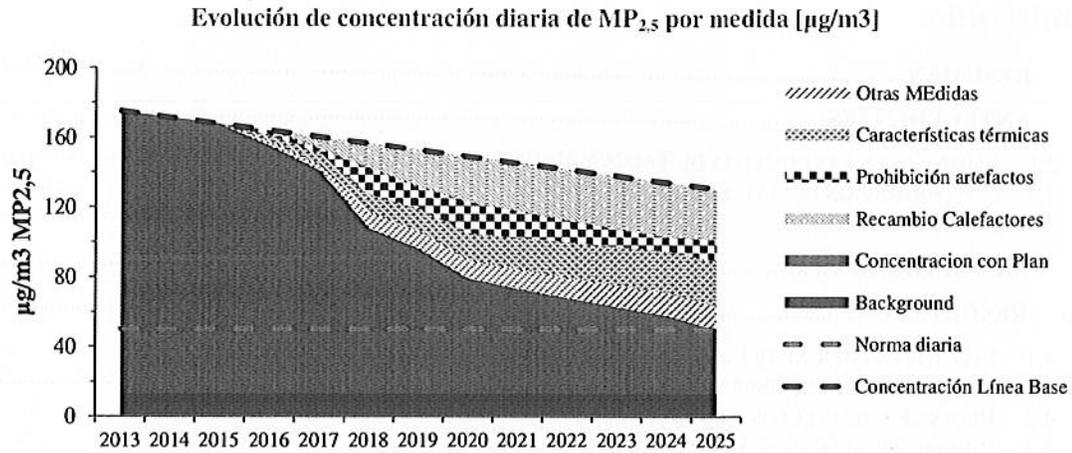
Finalmente, la mejora en calidad del aire tiene efectos significativos en la equidad ambiental asociados a los ahorros en costos médicos que alcanzan los US\$11 millones. Si bien son proporcionalmente bajos en relación a los beneficios totales (3% de los beneficios en salud), estos representan el 2% del ingreso mensual de un hogar del quintil de mayores ingresos, mientras que en el quintil de menores ingresos llegan a representar el 8%. Este análisis concluye que el PDA de Talca y Maule, 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.

¹ Asma, problemas cardiovasculares, neumonía, entre otras enfermedades cardiorrespiratorias.

² 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.

³ Beneficios menos costos.

⁴ Beneficios dividido en costos.



Emisiones y reducciones de emisiones por sector (ton/año)

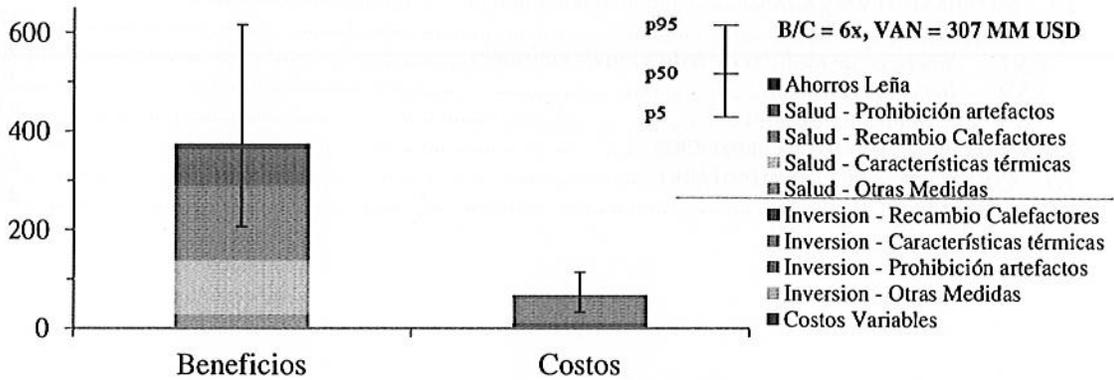
Sector	Emisiones base	Emisiones Anteproyecto	Reducción (%)
Residencial	717	117	84%
Quemas	206	188	9%
Industria	368	126	66%
Transporte	15	13	13%
Fugitivas	591	591	0%
Background	S/I	S/I	-
Total	1897	1034	45%

Reducciones de efectos en salud (Percentil 50, IC90%)

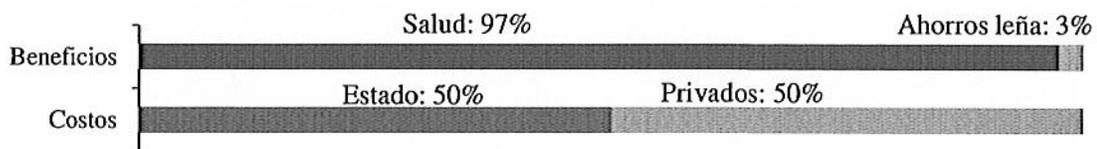
Efecto	Nº casos evitados
Mortalidad	110
AH - Asma	1
AH - Cardiovascular	26
AH - Respiratorias crónicas	1
AH - Neumonía	11
VSE: Asma	2.880

AH: Admisiones hospitalarias
VSE: Visitas a salas de emergencia

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



Análisis distributivo



Contenido

1.	RESUMEN	2
2.	ANTECEDENTES.....	5
2.1	EMISIONES EN LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE.....	5
2.2	CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	6
2.3	MEDIDAS EVALUADAS	7
3.	METODOLOGÍA.....	8
4.	RESULTADOS	10
4.1	EFFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	10
4.2	REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES.....	13
4.3	REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS.....	13
4.4	INDICADORES ECONÓMICOS.....	14
4.4.1	<i>Costo eficiencia de las medidas del PDA.....</i>	<i>14</i>
4.4.2	<i>Análisis Costo-Beneficio.....</i>	<i>15</i>
4.4.3	<i>Distribución de beneficios por nivel socioeconómico.....</i>	<i>17</i>
4.5	EPISODIOS CRÍTICOS.....	18
5.	CONCLUSIONES.....	20
6.	REFERENCIAS.....	21
7.	ANEXOS.....	23
7.1	INVERSIÓN DEL ESTADO	23
7.2	RESULTADOS POR MEDIDA.....	24
7.3	FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS	26
7.3.1	<i>Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos</i>	<i>26</i>
7.3.2	<i>Mejoramiento térmico de las viviendas.....</i>	<i>30</i>
7.3.3	<i>Quemas agrícolas, forestales y domiciliarias.....</i>	<i>32</i>
7.3.4	<i>Fuentes fijas industriales y comerciales.....</i>	<i>33</i>
7.3.5	<i>Sector transporte</i>	<i>35</i>
7.3.6	<i>Gestión de episodios críticos.....</i>	<i>36</i>
7.4	MEDIDAS NO EVALUADAS.....	37
7.5	METODOLOGÍA AGIES.....	38
7.5.1	<i>Sinergias de medidas de reducción de emisiones.....</i>	<i>38</i>
7.5.2	<i>Beneficios en salud.....</i>	<i>39</i>
7.5.3	<i>Evaluación de costos.....</i>	<i>41</i>
7.6	VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS	43
7.7	COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO	43
7.8	FICHA DEL AGIES.....	44

2. Antecedentes

Mediante el Decreto Supremo N° 12 de 2010, el Ministerio Secretaría General de la Presidencia, declaró a las comunas de Talca y Maule zona saturada⁵ por material particulado respirable MP10⁶, como concentración anual y de 24 horas.

Esta declaración da conformidad al procedimiento y a las etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300, modificada por la Ley 20.417 del Ministerio Secretaria de la Presidencia y en el Decreto Supremo N° 39 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, que da origen a la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférico⁷ para Talca y Maule, en adelante PDATM. Mediante este instrumento, el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, llevando los niveles de concentración de contaminantes a niveles inferiores a los máximos establecidos en la normativa vigente: 20 y 50 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la norma anual y diaria (24 horas) de MP₁₀ respectivamente.

Las comunas de Talca y Maule, se encuentran ubicadas en la provincia de Talca, región del Maule. Talca tiene una población estimada para el año 2014 de 257.483 habitantes, de lo que 247.222 corresponde a población urbana y 10.261 a población rural. Por su parte, Maule posee 22.815, de los cuales 9.132 corresponden a población urbana y 13.683 a población rural al mismo año⁸.

2.1 Emisiones en las comunas de Talca y Maule

En las comunas del presente plan, el mayor emisor corresponde al sector residencial, el que aporta cerca de un 50% de las emisiones de MP₁₀ y alrededor de un 75% de las emisiones de MP_{2,5} debido a la combustión de biomasa. La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones para las comunas de Talca y Maule.

Tabla 1: Inventario de Emisiones de Talca y Maule en Escenario Base 2012

Tipo de Fuente	MP ₁₀ (ton/año)	MP ₁₀ (%)	MP _{2,5} (ton/año)	MP _{2,5} (%)
Fuentes fijas	188	9,0%	134	10,7%
Calefacción residencial leña	975	46,7%	948	75,6%
Incendios forestales	8	0,4%	7	0,5%
Quemas agrícolas	68	3,2%	57	4,6%
Caminos sin pavimentar*	818	39,2%	82	6,5%
Fuentes móviles	33	1,6%	26	2,1%
Total	2088	100,0%	1254	100,0%

* Los caminos sin pavimentar corresponden en su gran mayoría en caminos rurales distribuidos en toda la zona Saturada (no sólo en área urbana) por lo que su efecto en la concentración es relativamente bajo.

Fuente: Ambiosis (2009) y (IIT UdeC 2014)

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

⁶ La normativa para MP₁₀ corresponde al D.S. 20/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece una concentración diaria máxima permitida de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

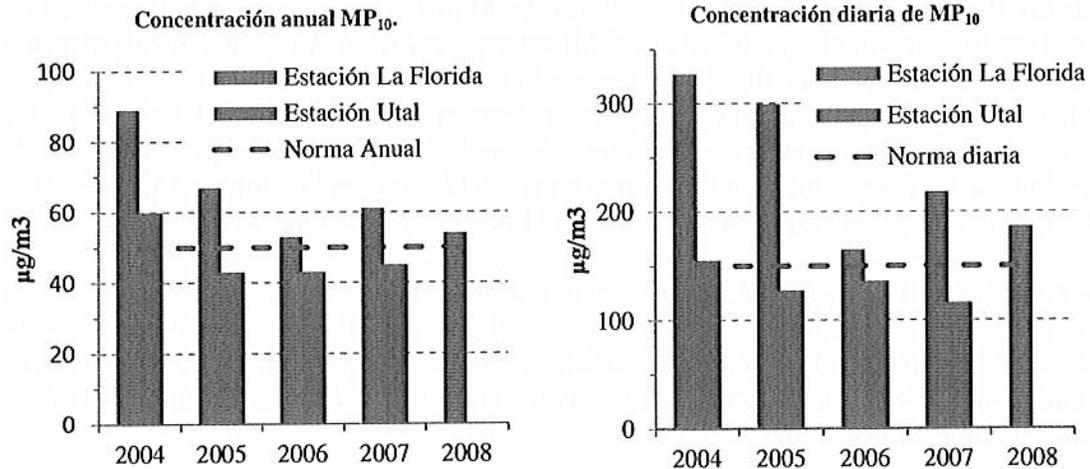
⁷ Plan de Descontaminación es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada.

⁸ Proyecciones Censo 2002.

2.2 Concentración de material particulado

Las figuras siguientes exhiben las concentraciones anuales y diarias de MP₁₀ en Talca, para las estaciones de La Florida y Utal, encontrándose la primera por sobre los niveles normativos en todos los años de medición.

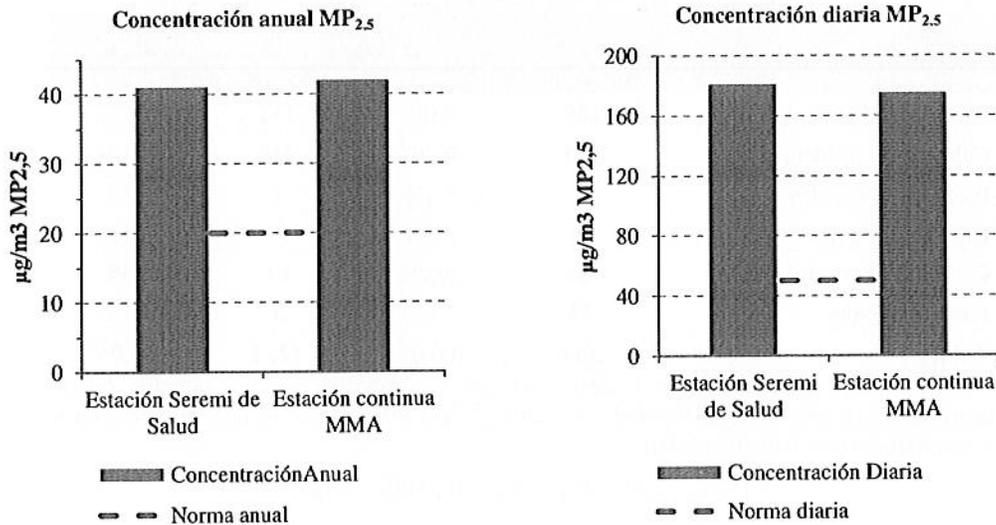
Figura 1: concentraciones anuales y diarias de MP₁₀



Fuente: IIT UdeC (2014)

En el caso de MP_{2,5}, si bien no se ha procedido a declarar zona saturada, las mediciones indican que esta normativa también se encontraría sobrepasada, tanto en su métrica anual como diaria, como se observa en la Figura 2.

Figura 2: Información concentración MP_{2,5}



Nota: Estación Seremi de Salud, norma anual corresponde a promedio años 2005 a 2007 y norma diaria a año 2007. Estación continua MMA tiene perdida de información, por lo que los valores señalados son sólo referenciales, norma anual corresponde a promedio año 2013 y 2014, norma diaria corresponde a año 2013.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Medidas evaluadas

En la Tabla 2 se muestran las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del presente AGIES. Mayor detalle sobre las medidas y los resultados de la evaluación se presentan en las secciones 7.2 y 7.3 de Anexos.

Tabla 2: Resumen de medidas consideradas en la evaluación

Sector	Medida
Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos y leña	Requisitos para la comercialización de la leña y para su uso
	Prohibición de uso de chimeneas de hogar abierto
	Prohibición gradual de calefactores a leña que no cumplan la norma
	Programa de recambio de calefactores
Mejoramiento Térmico de las viviendas	Subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas existentes
	Aislación térmica para viviendas nuevas
Quemas	Prohibición de quemas entre el 1 de marzo y 30 de septiembre en un radio de 5 km del límite urbano de las comunas.
Fuentes Fijas	Límite de emisión para MP y SOx
	Compensación de emisiones en el marco del SEIA
Transporte	Recambio de buses del transporte público
Gestión de episodios críticos (GEC)	Restricciones al sector residencial
	Restricciones calderas

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que para el proceso de elaboración de este AGIES algunas medidas no fueron consideradas en la evaluación debido a la imposibilidad de encontrar efectos directamente cuantificables, o bien, a la inexistencia de información de línea base. Algunas de las medidas no evaluadas corresponden a las asociadas con la regulación de fuentes de calefacción institucionales y del comercio, programas de educación, campañas comunicacionales, programas de capacitación y extensión de ciclovías, entre otras (Mayor detalle de éstas se puede encontrar en la Sección 7.4 de Anexos). Sin embargo, las medidas sí evaluadas son las de mayor potencial de reducción de emisiones, por lo que los resultados obtenidos son consistentes con la totalidad del PDA.

3. Metodología

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 económicos, sociales y medioambientales que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados a continuación⁹.

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 secuencial¹⁰, 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 7.5.1.

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 epidemiológicos¹¹ 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_{2,5} asociado a 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.

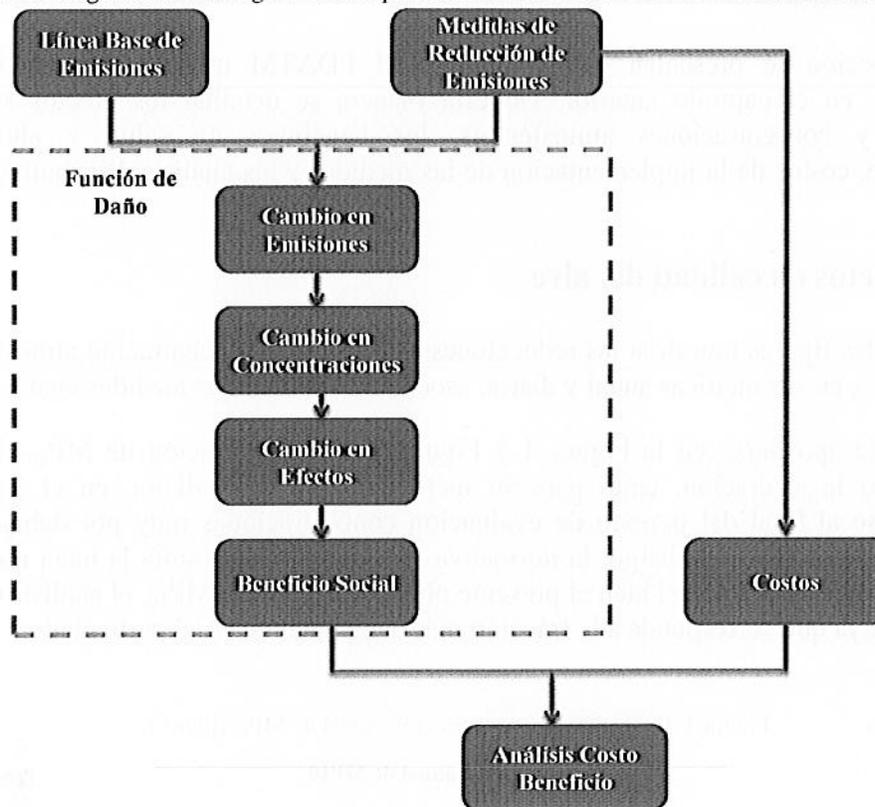
Se incorpora un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar quiénes perciben los beneficios y los costos de la regulación. En primer lugar, se analiza el impacto en los diferentes agentes de la sociedad involucrados, y posteriormente, se realiza un análisis de los beneficios focalizado por grupos socioeconómicos en el área de influencia del PDA.

⁹ Para mayor detalle de la metodología utilizada, referirse a la sección 7.5 del presente informe.

¹⁰ 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 $1 - (1-0,7)(1-0,8) = 0,94$.

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

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



Fuente: Evaluación propia basado en (EPA 2000; MMA 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*¹². 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 expuesta¹³, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras¹⁴.

¹² 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.

¹³ En este caso particular de un PDA, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP₁₀ y MP_{2,5}, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

¹⁴ 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

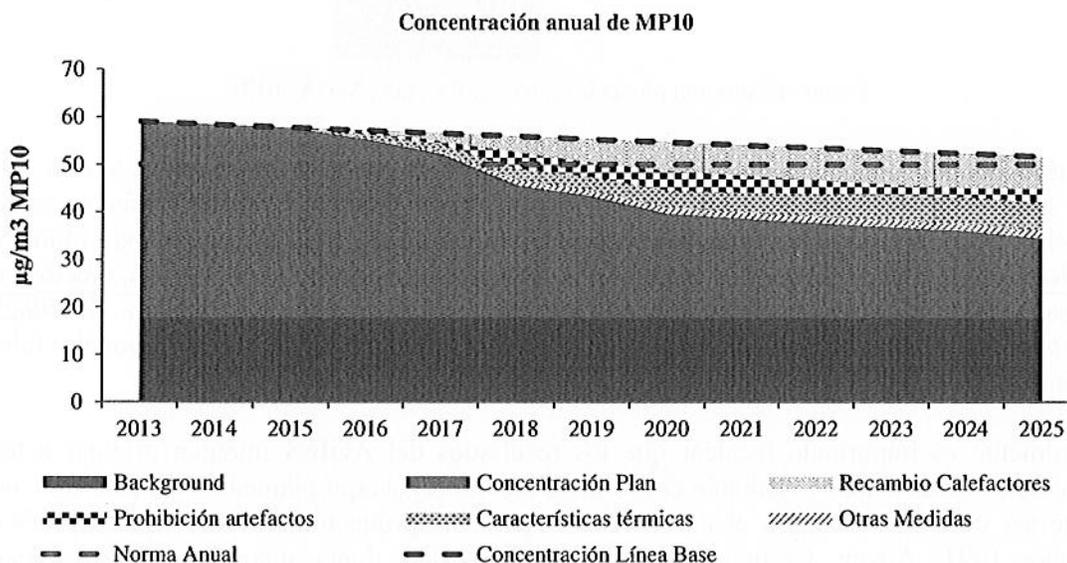
En esta sección se presentan los resultados del PDATM utilizando la metodología mencionada en el capítulo anterior. De esta manera se detallan los efectos sobre las emisiones y concentraciones atmosféricas, los beneficios en salud y ahorros en combustible, costos de la implementación de las medidas y los análisis distributivos de los mismos.

4.1 Efectos en calidad del aire

Las siguientes figuras muestran las reducciones estimadas de concentración atmosférica de MP_{10} y $MP_{2,5}$ en sus métricas anual y diaria, asociada a las distintas medidas evaluadas.

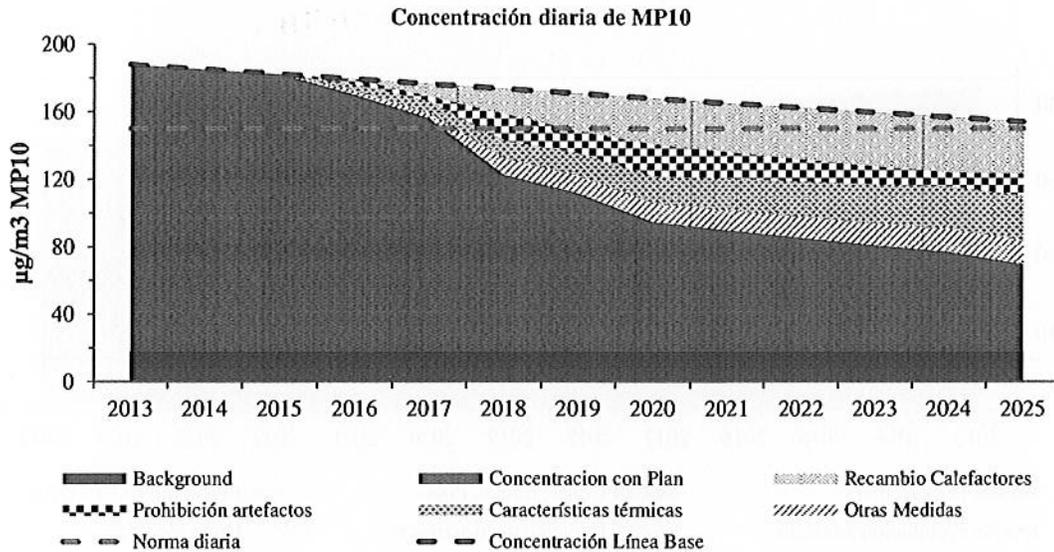
Como puede apreciarse en la Figura 4 y Figura 5, la concentración de MP_{10} llegaría a niveles bajo la saturación, tanto para su métrica anual como diaria, en el año 2018, alcanzándose al final del periodo de evaluación concentraciones muy por debajo de los niveles normativos. Sin embargo, la normativa relativa a $MP_{2,5}$ resulta la meta más difícil de alcanzar en este caso, y, si bien el presente plan corresponde a MP_{10} , el análisis de $MP_{2,5}$ es relevante ya que corresponde a la fracción más dañina del material particulado.

Figura 4: Evolución de concentración Anual de MP_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].



Otras medidas incluye: Prohibición de quemas, límite de emisión calderas, compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y leña seca. *Background* corresponde a aquellas concentraciones que provienen de procesos locales naturales (McKendry, 2006). Se utiliza como referencia la estimación realizada para Talca-Maule (U de Concepción, 2014)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Evolución de concentración diaria de MP₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Otras medidas incluye: Prohibición de quemas, límite de emisión calderas, compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y leña seca.

Background corresponde a aquellas concentraciones que provienen de procesos locales naturales (McKendry, 2006). Se utiliza como referencia la estimación realizada para Talca-Maule (U de Concepción, 2014).

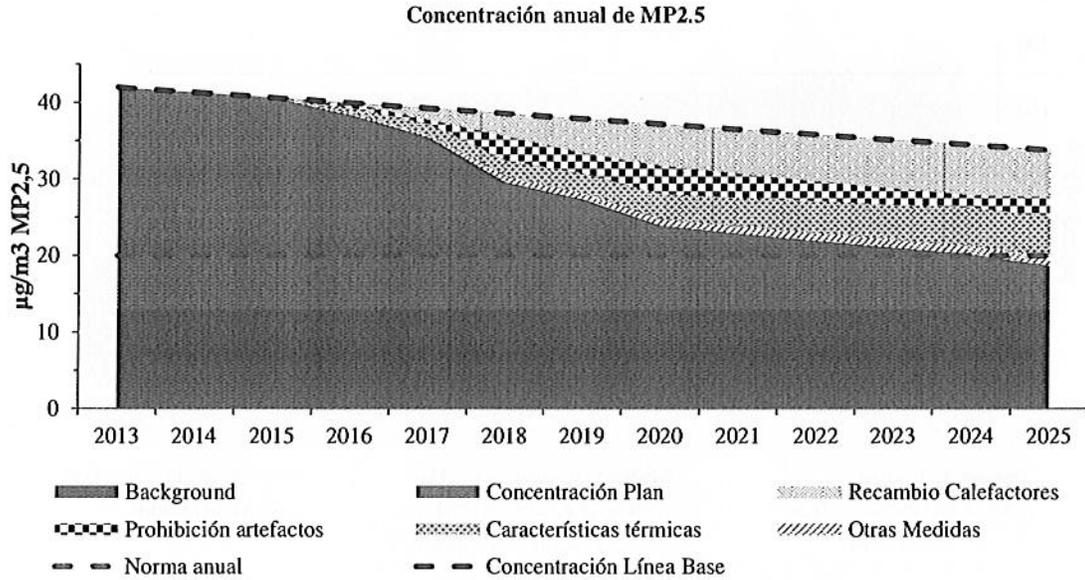
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 6 y Figura 7 se desprende que las normas diaria y anual de MP_{2,5} se cumplirían el año 2025. Se puede observar que las medidas con mayor aporte a la reducción de concentración son el recambio de calefactores por equipos a pellets y las mejoras en las características térmicas de las viviendas de la zona. Las demás medidas establecidas en el Anteproyecto, aunque de bajo aporte individual en la reducción, también resultan necesarias para recuperar la calidad del aire en la zona.

Es importante considerar que la implementación de las medidas se establece desde el año 2016, asumiendo que es a partir de este año que entra en vigencia el plan. Por consiguiente, las medidas son evaluadas considerando el período 2016-2025.

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

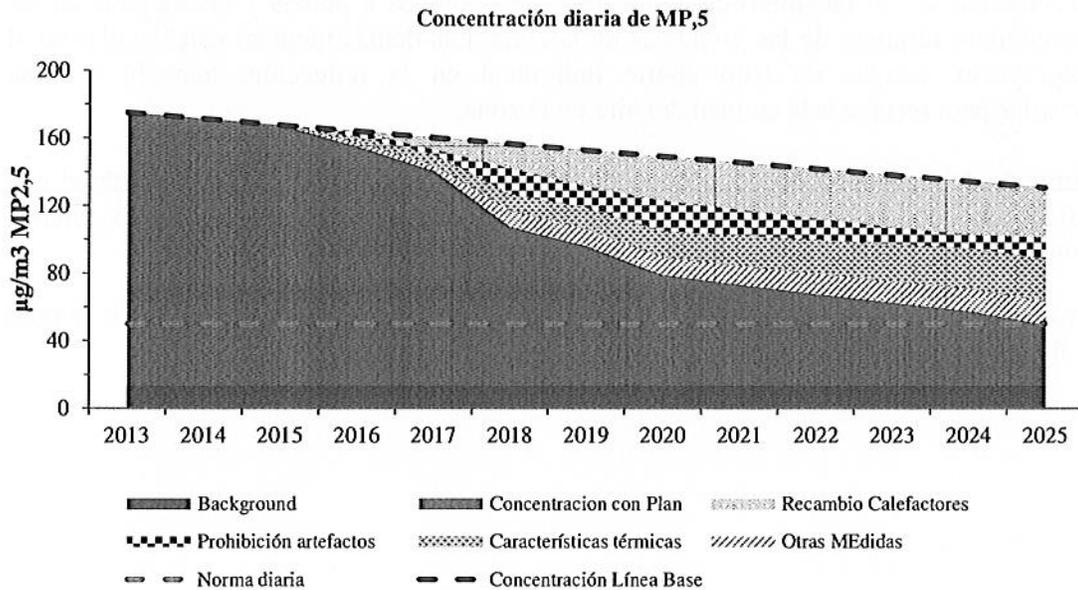
Figura 6: Evolución de concentración Anual de MP_{2,5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].



Otras medidas incluye: Prohibición de quemas, límite de emisión calderas, compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y leña seca. *Background* corresponde a aquellas concentraciones que provienen de procesos locales naturales (McKendry, 2006). Se utiliza como referencia la estimación realizada para Talca-Maule (U de Concepción, 2014).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Evolución de concentración diaria de MP_{2,5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].



Otras medidas incluye: Prohibición de quemas, límite de emisión calderas, compensaciones en el marco del SEIA, programa de recambio de buses de transporte público y leña seca. *Background* corresponde a aquellas concentraciones que provienen de procesos locales naturales (McKendry, 2006). Se utiliza como referencia la estimación realizada para Talca-Maule (U de Concepción, 2014).

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Reducción de emisiones y de concentraciones

En la Tabla 3 se presentan las emisiones y concentraciones de MP₁₀ de línea base y en el escenario con anteproyecto de plan de descontaminación para el año 2025, asociadas a los sectores Residencial, Quemadas, Industria, Transporte y Fugitivas.

Tabla 3: Emisiones y concentraciones de MP₁₀ anual, año 2025

Sector	Línea Base* 2025 – MP ₁₀			Anteproyecto 2025 – MP ₁₀			Reducción Sector	Reducción Total
	Emisiones [Ton/año]	Emisión per-cápita [Kg/pers/año]	Conc. [µg/m ³]	Emisiones [Ton/año]	Emisión per-cápita [Kg/pers/año]	Conc. [µg/m ³]		
Residencial	717	2	19,0	117	0,4	3,1	84%	92,8%
Quemas	206	1	0,5	188	0,6	0,4	9%	0,2%
Industria	368	1	1,8	126	0,4	0,6	66%	6,8%
Transporte	15	0	0,3	13	0,0	0,3	13%	0,2%
Fugitivas	591	2	12,3	591	2,0	12,3	0%	0%
Background	S/I	-	17,8	S/I	-	17,8	0%	0%
Total	1.897	6	51,7	1.034	3	34,5	33%	100%

* Línea base corresponde al escenario sin anteproyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la reducción total de concentraciones al año 2025 alcanza al 33% respecto a la línea base. El sector que más reduce es el Residencial, aportando cerca de un 93% de las reducciones totales del plan. Esto se explica principalmente por: (i) el recambio de trece mil equipos de calefacción por artefactos a pellet (43%), (ii) el reacondicionamiento térmico de 30 mil viviendas vía subsidios (36%); (iii) la prohibición de calefactores que no cumplan la norma (18%); (iv) y el cumplimiento de los requisitos para calderas (24%). Las demás medidas¹⁵ del plan contribuirían en un 7% del total de reducciones.

Por su parte, el sector Industria lograría reducir en un 66% sus emisiones, contribuyendo con un 6,8% de la reducción total. Asimismo, los sectores de Quemadas y Transporte, presentan reducciones cercanas al 9% y 13% respecto a su línea base respectivamente. En conjunto reducirían un 0,4% del total estimado.

4.3 Reducción de efectos a la salud: casos evitados

Para entender mejor los beneficios en salud anteriormente descritos, se exhiben a continuación los números de casos que se evitarían al año 2025 asociados a la menor concentración esperada de MP_{2,5} por tipo de evento. Para mayor detalle, los coeficientes de riesgo unitario y los valores unitarios por evento se presentan en la sección 7.6 de Anexos.

¹⁵ Nueva norma de aislación térmica para viviendas nuevas, uso de leña seca y restricciones a quemadas agrícolas.

Tabla 4: Número de casos evitados año 2025 [casos/año]

Evento	Tipo	Casos evitados p50 [IC 90%]	
Mortalidad	<i>Largo Plazo</i>	110	[70 - 162]
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	1	[1 - 2]
	<i>Cardiovascular</i>	26	[20 - 32]
	<i>Respiratorias crónicas</i>	1	[0 - 3]
	<i>Neumonía</i>	11	[5 - 18]
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	2.880	[942 - 4.818]
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	16.456	[14650 - 17.886]
	<i>Días de actividad restringida</i>	86.955	[82.588 - 92.754]
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	168.246	[146.052 - 179.228]

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2011; MMA 2013)

Cabe destacar que los casos evitados de mortalidad se estiman en 110 para el año 2025 y en 754 para el percentil 50 y el período de evaluación 2016 al 2025.

4.4 Indicadores económicos

A continuación se presentan los resultados de indicadores económicos o valoración de acuerdo a la metodología mencionada en la sección 0 y según los supuestos indicados en la sección 7 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

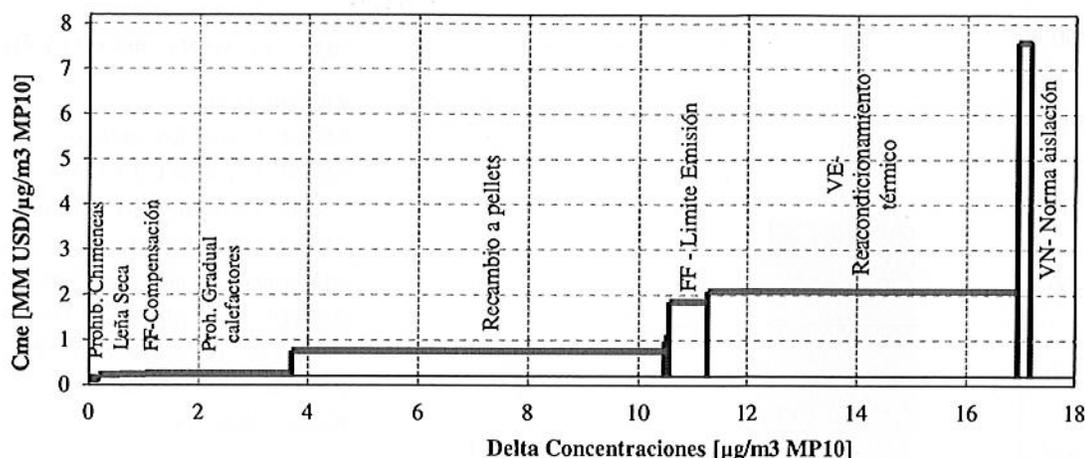
Estos resultados se presentan según su costo medio, en millones de dólares por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} reducido, considerando la inversión realizada y el diferencial de costos de operación y mantención¹⁶.

Se puede observar en la Figura 8 que la prohibición de chimeneas corresponde a la medida más costo-efectiva, ya que se asume que estas serán reemplazadas por calefactores que cumplen norma, los que son mucho más eficientes, generando ahorros netos debido a un menor consumo de leña.

También se observa que las medidas con mayor reducción de concentración de MP_{10} son el programa de recambio a equipos tipo pellet, los subsidios de reacondicionamiento térmico a viviendas existentes¹⁷ y la prohibición gradual de calefactores.

¹⁶ Las medidas 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 potencial de concentración ambiental que es capaz de reducir.

¹⁷ Utilizando datos de MINVU (2007)

Figura 8: Costo Medio de medidas [MM USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10}], año 2025

El gráfico considera la inversión, costos variables y ahorros de operación anualizados, sin incluir los beneficios en salud. Los valores corresponden al año 2025, en que todas las medidas establecidas se encuentran vigentes. **Notas:** VE: vivienda existente, FF: fuentes fijas. Prohibición de calefactores incluye las medidas de prohibición de salamandras, 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.

Fuente: Elaboración propia

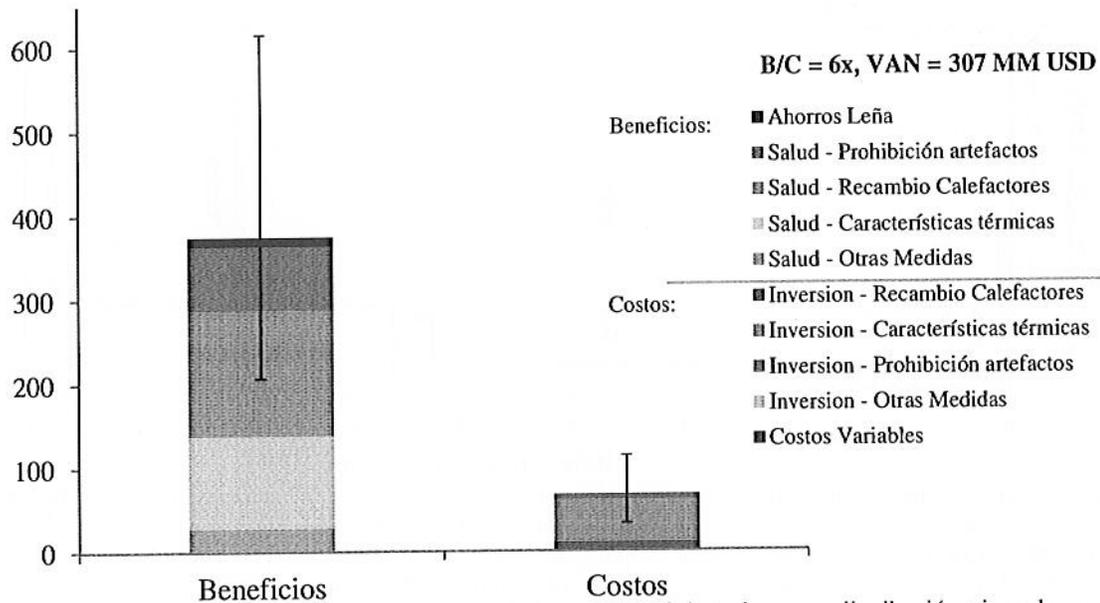
Asimismo, el uso de leña seca, la compensación de emisiones en el marco del SEIA, recambio de buses, restricciones a quemas agrícolas, si bien representan una porción menor de la reducción, resultan ser medidas de bajos costos de implementación.

Por otra parte, el reacondicionamiento térmico, normativa térmica para viviendas nuevas y medidas para calderas son medidas con costos proporcionalmente más elevados, no obstante, en su conjunto evidencian una contribución sustantiva en la reducción de MP_{10} y en consecuencia, al cumplimiento del plan. Es importante señalar que, aunque no está considerado en este análisis, además de los ahorros de combustible, el reacondicionamiento térmico de las viviendas presenta importantes co-beneficios asociado al aumento del confort y bienestar de las familias que las habitan.

4.4.2 Análisis Costo-Beneficio

La Figura 9 y Figura 10 presenta en valor presente de los beneficios y costos asociados a la implementación del plan, así como la distribución de estos entre estado, privado, emisores y población en general.

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] UF¹⁸. 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.

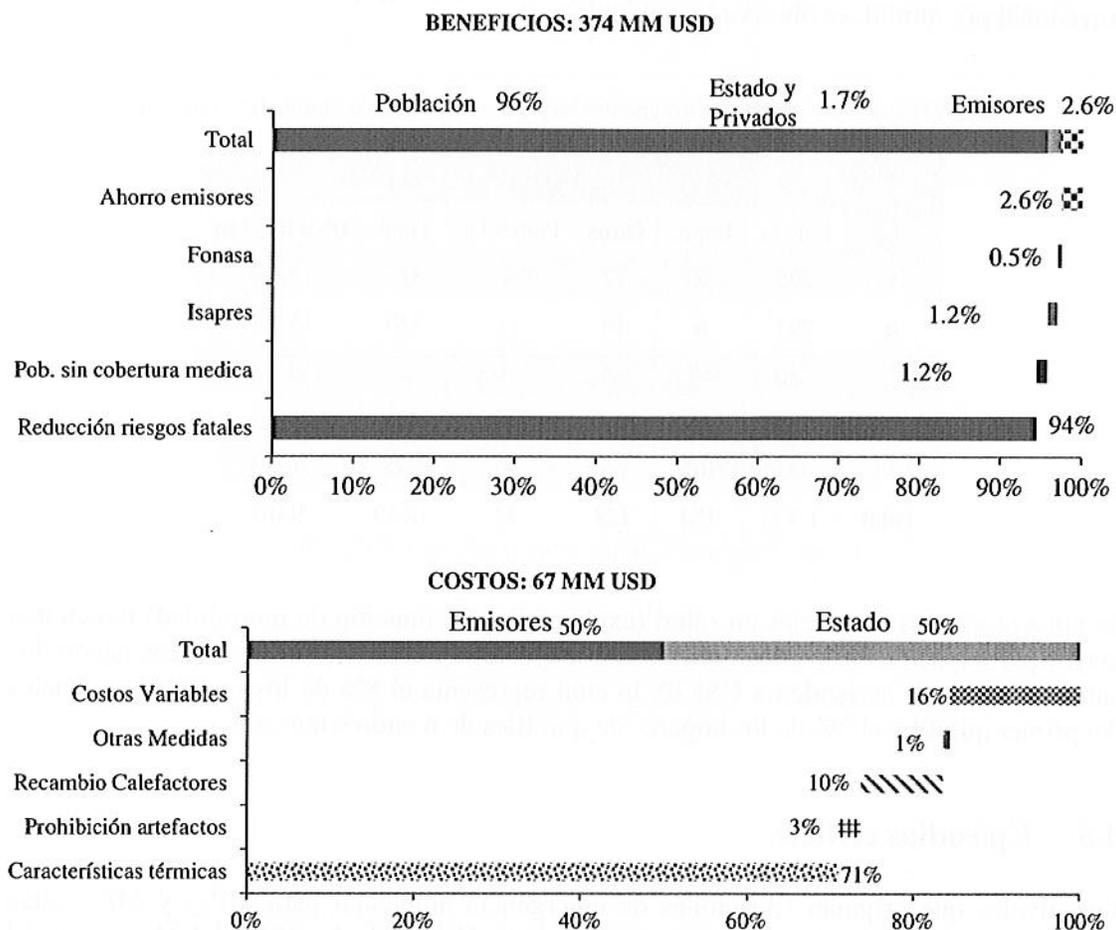
Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, los beneficios superan ampliamente los costos asociados a la implementación de las medidas del plan. En efecto, el beneficio neto se estima en US\$307 millones con un índice beneficio-costos equivalente a 6. Por el lado, de los beneficios se constata que las mejoras en salud explican más del 97% del total. Es importante notar que el programa de recambio de calefactores en este plan no implica ahorros en combustible, ya que la operación de estos equipos tiene un costo más alto que el uso de leña, sin embargo, la prohibición gradual de calefactores sí los tiene, ya que se asume el reemplazo por equipos que cumplen norma.

Los costos se estiman en US\$ 67 millones. Se aprecia claramente que la mayor fracción se asocia a la mejora de las características térmicas de las viviendas, la que contempla un total de treinta mil subsidios durante la ejecución del plan, cifra muy alta si se compara a los trece mil recambios de calefactores que se implementará durante el plan.

¹⁸ 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.

Figura 10: Distribución de beneficios y costos



Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 da cuenta que los beneficios se explican principalmente por la disminución en la mortalidad asociada a la disminución de contaminación, con un 94% del total. El 6% restante se divide en ahorros de combustible para los emisores, en ahorros de gastos médicos y en disminución de productividad perdida.

Respecto a los costos, estos se reparten en fracciones iguales entre el Estado y los Emisores, con un 50% cada uno. El Estado es quien financiará los subsidios de aislación térmica y los recambios de calefactores, mientras que los emisores enfrentan los costos de copago, de mayores costos variables y de implementación de las otras medidas del plan. Al observar la distribución de costos por medida, se aprecia que del total, la aislación térmica de viviendas es la que concentra el mayor esfuerzo monetario (71%), seguido por el grupo de costos variables (16%) y el programa de recambio de calefactores (10%).

4.4.3 Distribución de beneficios por nivel socioeconómico

Los beneficios económicos anuales asociados a salud (sin incluir mortalidad) valorizados a 2014 ascienden US\$ 1,6 millones. El 79% corresponde a beneficiarios Fonasa; el 9% a Isapres; 5% a particulares; y 7% a otros (FFAA y de Orden). Al distribuir estos beneficios

por quintil de ingresos de la población de acuerdo a la participación de cada sistema previsional por quintil, se observa lo siguiente:

Tabla 5 Distribución de beneficios anuales en salud (sin incluir mortalidad) por quintil.

Quintil	Miles USD					Distribución
	Fonasa	Isapre	Otros	Particular	Total	
i	295	8	17	4	324	19,6%
ii	293	6	10	11	320	19,4%
iii	280	18	23	5	327	19,8%
iv	251	17	29	38	334	20,3%
v	181	105	43	16	345	20,9%
Total	1.300	154	122	74	1.650	100%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de CASEN 2011

Se aprecia que los beneficios en salud (excluyendo disminución de mortalidad) tienen una mayor participación en los dos quintiles de mayores ingresos. En promedio, los beneficios anuales por hogar ascienden a US\$20, lo cual representa el 8% de los ingresos mensuales del primer quintil y el 2% de los hogares de quintiles de menores ingresos.

4.5 Episodios críticos

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para MP_{2,5} y MP₁₀ están establecidos en el D.S. N°12 del año 2011 y D.S. N°20 del año 2013 del Ministerio del Medio Ambiente. Los niveles para cada episodio son los siguientes:

Tabla 6: Rangos de Concentración [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para episodios críticos.

Nivel	Concentración 24 horas MP10	Concentración 24 horas MP2,5
Alerta	195-239	80-109
Preemergencia	240-329	110-169
Emergencia	330 o superior	170 o superior

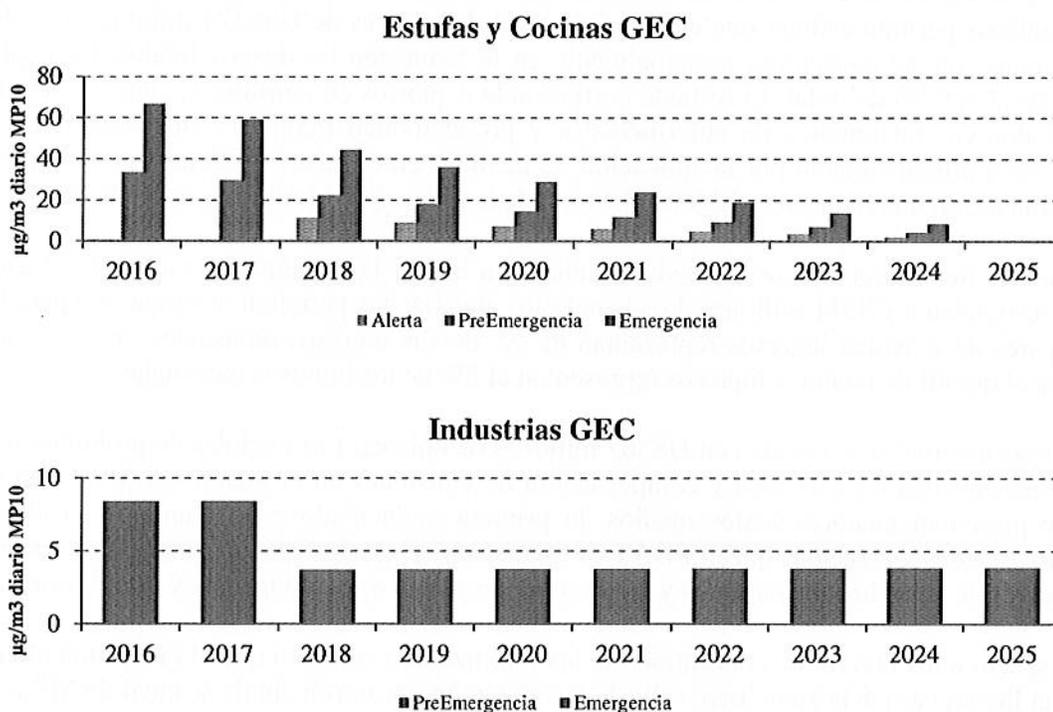
Fuente: D.S. 12 del año 2011 y D, S. 20 del año 2013, MMA

En el caso del presente plan de descontaminación, las medidas establecidas para episodios críticos que implican reducción de emisiones corresponden a la paralización de calefactores y cocinas a leña y a la paralización de fuentes fijas (mayor detalle de las medidas se encuentra en la sección 7.3.6 de los anexos).

En la Figura 11 se presenta la reducción de concentración de MP_{10} que tendría un evento de episodio crítico. Se puede observar como las medidas estructurales del plan hacen que los episodios críticos tengan una menor relevancia en el tiempo, ya las medidas de gestión de episodios críticos afectan a una menor cantidad de fuentes a medida que se implementan las medidas del plan.

El inicio de estas medidas está previsto para el año 2016 en el caso de Pre-emergencia y Emergencia y para 2018 en el caso de Alerta. Para el caso del límite de emisión de calderas, los valores son bajos en comparación a los del sector residencial y se prevé que sean aún menores luego de que entren en régimen las medidas propuestas para este sector (mayor detalle de las medidas se encuentra en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de los anexos).

Figura 11: Reducción de concentración diaria de MP_{10} para un episodio crítico. Estufas y cocinas e industrias.



*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

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

Las comunas de Talca y Maule han sido declaradas zonas saturadas debido a la superación de la norma diaria y anual de MP_{10} , sin embargo, las mediciones de $MP_{2,5}$ indican que esta normativa también se encontraría superada, tanto en su métrica diaria como anual. El sector residencial es el que más contribuye a las concentraciones contaminantes producto del consumo de leña para sus necesidades de calefacción. Consecuentemente, las medidas propuestas en el anteproyecto apuntan precisamente a reducir las emisiones domésticas a través de subsidios para recambios de calefactores y mejoras de aislación térmica para viviendas. El plan contempla además medidas complementarias para quemas agrícolas, operación de calderas, y otras asociadas al recambio de buses del transporte público.

Para la evaluación del plan se realizó un análisis costo-beneficio, identificando, midiendo y valorando los beneficios en salud, los costos de las diferentes medidas y los ahorros generados en el sector residencial como consecuencia del menor consumo de combustibles. El análisis permite estimar que el beneficio total del plan es de US\$374 millones en valor presente, que se concentran principalmente en la reducción de riesgos fatales, los cuales explican el 94% del total. El restante corresponde a ahorros en consumo de leña y a costos evitados en tratamientos de enfermedades y productividad perdida. Estos beneficios se obtienen principalmente por la aplicación de medidas en el sector residencial, cuyo aporte se traduce en una reducción del 93% del total de la reducción de concentración de MP_{10} .

Los beneficios económicos asociados a salud (sin incluir la disminución en la mortalidad), corresponden a US\$11 millones. Los beneficios anualizados permiten observar que para los hogares de mayores ingresos representan el 2% de sus ingresos mensuales, mientras que para el quintil de menores ingresos representan el 8% de los ingresos mensuales.

Los costos totales se estiman en US\$67 millones de dólares. Las medidas de prohibición de chimeneas, uso de leña seca y compensación de emisiones en el marco del SEIA son las que presentan menores costos medios, la primera traduciéndose directamente en ahorro neto. Se constata además que el PDAT es financiado en iguales proporciones por el Estado, a través de subsidios a recambios y mejoramientos térmicos de viviendas, y por emisores.

Respecto a los niveles de concentración, las estimaciones sugieren que el cumplimiento del plan llevaría a que la zona logre salir de la saturación por norma diaria y anual de MP_{10} en 2018, mientras que la normativa para $MP_{2,5}$ se alcanzaría el año 2025. Se recomienda evaluar el desempeño del plan a lo menos después de cinco años de su comienzo, 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, por tanto, deben ser considerados solo como un antecedente más para la toma de decisiones. En lo 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. Asimismo, se espera incorporar los impactos de las medidas de reducción sobre otros bienes públicos como biodiversidad, agricultura e infraestructura, entre otros.

6. Referencias

Ambiosis (2009). Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos y Definición de Área de Influencia de las Emisiones que Causan el Efecto de Saturación por PM10 en la Ciudad de Talca, Solicitado por Conama Región del Maule.

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."

IIT UdeC (2014). Diagnóstico de la Calidad del Aire y Medidas de Descontaminación en Talca y Maule, Preparado para Seremi de Medio Ambiente VII región.

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, J. R. M. (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.

SISTAM Ingeniería (2014). Emisiones y Costos de Abatimiento para el Sector de Quemadas Agrícolas. Informe Final: 139.

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.

Universidad De Chile (2009). Modelo de Negocios para el Acopio y Secado Leña.

7. Anexos

7.1 Inversión del Estado

La Tabla 7 muestra una estimación de la inversión en la que debería incurrir el estado por concepto de subsidios establecidos en el plan.

Tabla 7: Inversión del Estado (pesos)

	<i>Valor unitario (CLP Miles)</i>	<i>Monto subsidiado (CLP Miles)</i>	<i>N° subsidios al año</i>	<i>Monto total subsidiado por año (CLP Millones)</i>	<i>Medida</i>
Recambio a artefactos a pellet	1.080	972	1.625	1.580	<i>*1625 recambios al año por 8 años</i>
Subsidios aislación térmica	3.069	2.608	3.000	7.825	<i>*1500 subsidios al año viviendas PPPF y 1500 otras viviendas, por 10 años</i>
Subsidios recambio buses	4.695	4.695	24	113	<i>*24 recambios por año por 7 años</i>
TOTAL				9.518	

Fuente: Elaboración propia

Supuestos: Valor UF de 24.200, Valor equipo pellet de 44.13 UF, costo chatarrización de 0.517 UF. El porcentaje subsidiado corresponde a un 90% para recambios. El subsidio a la aislación térmica se considera de un 100% para viviendas PPPF y de 30% para viviendas no objeto de PPPF.

7.2 Resultados por medida

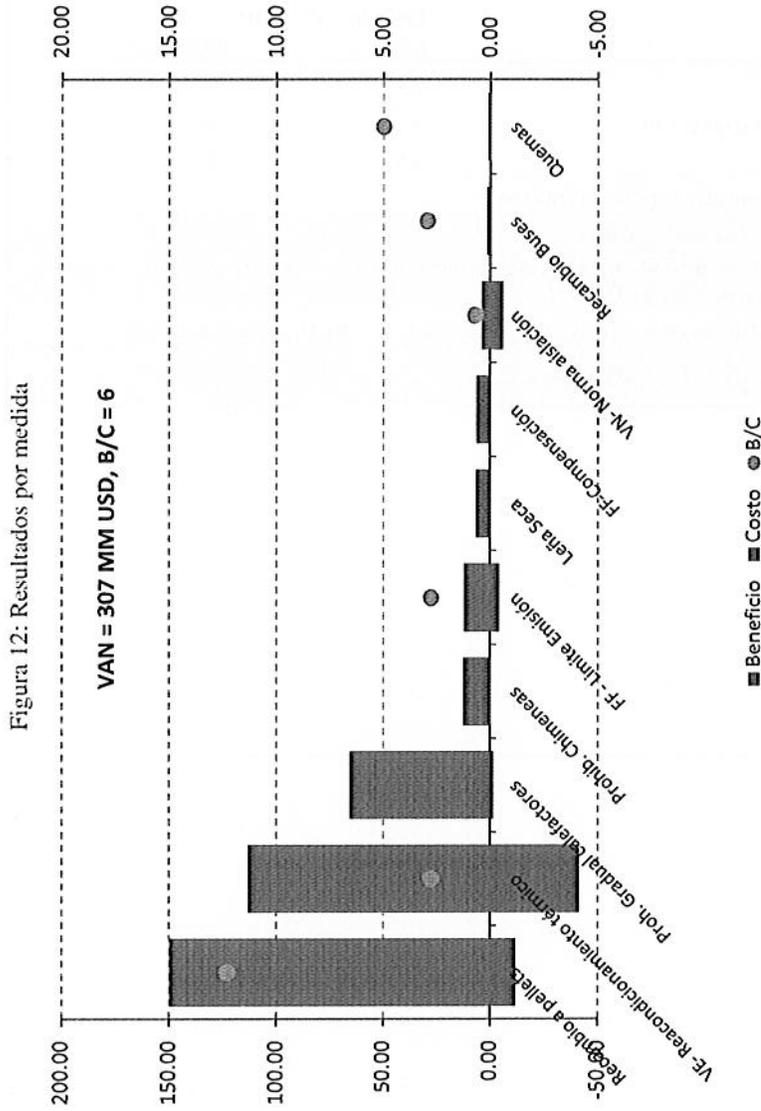
La Tabla 8 y la Figura 12 muestran los costos, beneficios e indicadores económicos para las medidas evaluadas.

Tabla 8: Resultados por medida, MM USD, valor presente

	Costos Variables Netos		Costos Inversión		Beneficios Salud	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total
	Privado	Estado	Privado	Estado				
Lefía Seca	0,01	0	0	0	7	7	6,9	0,0
Proh. Gradual calefactores	-2	0	2	0	64	64	65,9	1,7
FF - Limite Emisión	4	0	0	0	12	8	12,3	4,5
Recambio Buses	0	0	0	1	1	1	1,7	0,6
Recambio a pellets	6	0	1	6	150	138	150,0	12,2
Prohib. Chimeneas	0	0	0	0	12	12	12,6	0,2
VE- Reacondicionamiento térmico	-6	0	15	27	107	72	113,4	41,6
VN- Norma aislación	-1	0	6	0	3	-2	4,2	6,0
Quemas	0	0	0	0	1	1	1,1	0,2
FF-Compensación	0	0	0	0	6	6	6,5	0,1
Total	1	0	23	34	365	307	374	67

Notas: VN: vivienda nueva, VE: vivienda existente, LE: Limite 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.

Fuente: Elaboración propia.



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.
 *: B/C superior a 15.

7.3 Fichas de medidas evaluadas

7.3.1 Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos

Norma Emisión Calefactores (LB)													
Descripción	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.													
Supuestos de evaluación	Vida útil equipos de calefactor: 20 años Se puede abastecer 10 m ² /kW. Distribución de potencia en base a m ² viviendas, en que m ² 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)												

Prohibición gradual de calefactores																																			
Descripción	<p>Se prohíbe el uso de <u>chimeneas</u> de hogar abierto. Vigencia: Desde la publicación del decreto.</p> <p>Se prohíbe el uso de <u>cocinas</u> a leña, de <u>salamandras</u> y artesanales. Vigencia: tres años desde la publicación del decreto.</p> <p>Se prohíben calefactores a leña de tipo <u>cámara simple</u>. Vigencia: cinco años desde la publicación del decreto.</p> <p>Se prohíbe el uso de calefactores que <u>no cumplan con la norma</u> de emisión para calefactores nuevos de combustión de biomasa. Vigencia: Diez años desde la publicación del decreto.</p>																																		
Supuestos	<p>Vigencia prohibiciones:</p> <p>Chimeneas: 2016</p> <p>Cocinas a leña y salamandras: 2018</p> <p>Cámara simple: 2020</p> <p>No cumple norma: 2025</p> <p>Cumplimiento:</p> <p>Chimeneas: 100%.</p> <p>Otros: 80%</p> <p>Valor calefactor</p> <table border="1"> <tr> <td>Doble Combustión 2.5 g/h</td> <td>15,5 UF/eq</td> </tr> <tr> <td>Equipo Pellets</td> <td>44,13 UF/eq</td> </tr> </table> <p>Vida útil equipos de calefacción: 20 años</p>							Doble Combustión 2.5 g/h	15,5 UF/eq	Equipo Pellets	44,13 UF/eq																								
Doble Combustión 2.5 g/h	15,5 UF/eq																																		
Equipo Pellets	44,13 UF/eq																																		
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP10</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costo Variable Neto</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m3</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m3 MP10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prohib. Chimeneas</td> <td>7</td> <td>0,18</td> <td>12</td> <td>-0,4</td> <td>0,21</td> <td>-0,08</td> </tr> <tr> <td>Proh. Gradual calefactores</td> <td>101</td> <td>2,67</td> <td>64</td> <td>-2</td> <td>1,67</td> <td>0,15</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.</p> <p>CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>								Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10	Prohib. Chimeneas	7	0,18	12	-0,4	0,21	-0,08	Proh. Gradual calefactores	101	2,67	64	-2	1,67	0,15
	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe																													
Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10																													
Prohib. Chimeneas	7	0,18	12	-0,4	0,21	-0,08																													
Proh. Gradual calefactores	101	2,67	64	-2	1,67	0,15																													
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)																																		

Programa de recambio de artefactos a leña								
Descripción	Programa voluntario de recambio de calefactores y cocinas a leña, de al menos 13.000 artefactos en el periodo de implementación del plan. Vigencia: Desde la publicación del plan.							
Supuestos	1625 recambios por calefactores a pellet por año entre 2017 a 2024. En este PDA se asume que los recambios no incluirán reemplazo por leña. Valor equipo pellet: 44,13 UF/eq Costo chatarrización equipo recambiado: 0,517 UF/eq Vida útil equipos de calefacción: 20 años Copago beneficiario: 10%							
Resultados		Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	MM MP10	USD/µg/m3
	Recambio pellets	a 256	6,78	150	6	6,59	0,58	
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.							
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)							

7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas

Subsidio al acondicionamiento térmico de viviendas existentes						
Descripción	Durante el período de duración del Plan, la SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará al menos 15.000 subsidios para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes bajo el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF). Asimismo, entregará 15.000 subsidios para aquellas viviendas existentes que no son objeto del PPPF.					
	La envolvente de la vivienda deberá cumplir con los siguientes estándares de transmitancia térmica U [W/m ² C]:					
	Muro	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puertas	
	0.6	0.6	5.8	0.38	2.4	
	Las infiltraciones de aire de la vivienda no deberán superar las 8 ach medidas a 50Pa.					
	Las viviendas deberán contar con un sistema de ventilación que garantice la calidad del aire interior de acuerdo con lo establecido en las normas NCh 3308 y 3309.					
Supuestos	<p>Vida útil Aislación Térmica: 25 años.</p> <p>3.000 subsidios anuales desde 2016 a 2025, con un total de 30.000 subsidios en 10 años.</p> <p>Vidriado simple con U de 5,8 W/m²K</p> <p>Costos: Se utiliza un costo promedio ponderado equivalente a 126,8 UF (107,2 UF para viviendas <650 UF y 160,2 UF para viviendas >=650 UF).</p> <p>Se asume subsidio de 100% en viviendas PPPF y de 30% en viviendas que no son objeto del PPPF.</p> <p>No se evalúa medida referida a calidad de aire interior.</p>					
Resultados	Reducción MP10	Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	
	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP10
	VE-Reacondicionamiento térmico	215	5,69	107	-6	41,64
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.					
	CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.					
Referencias Bibliográficas	(MINVU 2007), (MMA 2013a), (GreenLabUC 2013)					

Aislación térmica viviendas nuevas						
Descripción	Las viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de los siguientes estándares de transmitancia térmica U [W/m ² C]:					
	Muro	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puertas	
	0.6	0.6	5.8	0.38	2.4	
	Las infiltraciones de aire de la vivienda no deberán superar las 8 ach medidas a 50Pa. Las ventanas y puertas no deberán superar las 10 ach medidas a 100Pa. Las viviendas deberán contar con un sistema de ventilación que garantice la calidad del aire interior de acuerdo con lo establecido en las normas NCh 3308 y 3309.					
	Plazo: 12 meses luego de publicado el PDA en el Diario Oficial					
Supuestos	Vida útil Aislación Térmica: 25 años. Vigencia: 2017. Costo incremental de 77 UF/vivienda No se evalúa medida referida a calidad de aire interior.					
Resultados	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe
	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD
	VN- Norma aislación	9	0,23	3	-1	6,00
	USD/µg/m ³ MP10					
	7,40					
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.					
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013)					

7.3.3 Quemadas agrícolas, forestales y domiciliarias

Quemas agrícolas y forestales							
Descripción	<p>Se prohíbe dentro de la zona saturada, el uso del fuego para la quema agrícola o de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, entre el 1° de marzo al 30 de septiembre de cada año, en un radio de 5 km desde el límite urbano de las comunas de Talca y Maule</p> <p>Plazo: 12 meses desde publicación del Decreto en el Diario Oficial</p>						
Supuestos	<p>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.</p> <p>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).</p> <p>Se asume como línea base la restricción a las quemadas para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.</p> <p>El 80% de las quemadas se realizan dentro del radio definido, según información de CONAF para el año 2012.</p> <p>Vigencia: 2017</p>						
Resultados	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	MM USD/µg/m3 MP10
	Quemas	18	0,04	1	0,2	0,00	0,93
	<p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.</p> <p>CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. Las proyecciones consideran un 100% de cumplimiento, se considera el uso de tecnología alternativa y no la postergación de la quema.</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> <p>Costos en base a SISTAM, 2014.</p>						
Referencias Bibliográficas	CONAF, Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas, (INE 2012), (MMA 2011a), (MMA 2013a), (SISTAM Ingeniería 2014)						

7.3.4 Fuentes fijas industriales y comerciales

La base de datos utilizada corresponde al estudio Sistam (2013).

Límite de emisión calderas de uso residencial, industrial y comercial																																																										
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Las calderas nuevas, menores a 75 kWt, deberán cumplir con los límites máximos de emisión que se indican a continuación: <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>Potencia Térmica</th> <th>MP (mg/Nm³)</th> <th>Eficiencia (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 75 kWt</td> <td>50</td> <td>≥90</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 40px;">Se excluyen del cumplimiento calderas que utilicen combustible gaseoso. Vigencia: a partir de la publicación del decreto en el diario oficial.</p> Las calderas nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para Material Particulado: <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Potencia Térmica</th> <th colspan="2">Límite Máximo de MP (mg/Nm³)</th> </tr> <tr> <th>Caldera existente</th> <th>Caldera nueva</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 75 kWt a <300 kWt</td> <td>100</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>≥ 300 kWt a < 1 MWt</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>≥ 1 MWt a < 3 MWt</td> <td>50</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>3 ≥ MWt a < 20 MWt</td> <td>50</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>≥ 20 MWt</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 40px;">Se excluyen del cumplimiento calderas que utilicen combustible gaseoso. Vigencia: Para calderas existentes en un máximo de 36 meses desde la publicación del decreto. Para calderas nuevas a partir de la publicación del decreto en el diario oficial.</p> Las calderas nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para SO₂: <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Potencia Térmica</th> <th rowspan="3">Caldera nueva</th> <th colspan="3">Límite Máximo de SO₂ (mg/Nm³)</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Caldera Existente</th> </tr> <tr> <th>Desde Enero 2019</th> <th>Desde Enero 2021</th> <th>Desde Enero 2024</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 75 kWt a <3 MWt</td> <td>400</td> <td>No aplica</td> <td>No aplica</td> <td>No aplica</td> </tr> <tr> <td>≥ 3 MWt a < 20 MWt</td> <td>400</td> <td>800</td> <td>800</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>≥ 20 MWt a < 50 MWt</td> <td>200</td> <td>600</td> <td>600</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>≥ 50 MWt</td> <td>200</td> <td>600</td> <td>400</td> <td>400</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 40px;">Vigencia: calderas nuevas a partir de la publicación del decreto en el diario oficial, existentes según tabla anterior.</p> 	Potencia Térmica	MP (mg/Nm ³)	Eficiencia (%)	< 75 kWt	50	≥90	Potencia Térmica	Límite Máximo de MP (mg/Nm ³)		Caldera existente	Caldera nueva	≥ 75 kWt a <300 kWt	100	50	≥ 300 kWt a < 1 MWt	50	50	≥ 1 MWt a < 3 MWt	50	30	3 ≥ MWt a < 20 MWt	50	30	≥ 20 MWt	30	30	Potencia Térmica	Caldera nueva	Límite Máximo de SO ₂ (mg/Nm ³)			Caldera Existente			Desde Enero 2019	Desde Enero 2021	Desde Enero 2024	≥ 75 kWt a <3 MWt	400	No aplica	No aplica	No aplica	≥ 3 MWt a < 20 MWt	400	800	800	600	≥ 20 MWt a < 50 MWt	200	600	600	400	≥ 50 MWt	200	600	400	400
	Potencia Térmica	MP (mg/Nm ³)	Eficiencia (%)																																																							
	< 75 kWt	50	≥90																																																							
	Potencia Térmica	Límite Máximo de MP (mg/Nm ³)																																																								
		Caldera existente	Caldera nueva																																																							
	≥ 75 kWt a <300 kWt	100	50																																																							
	≥ 300 kWt a < 1 MWt	50	50																																																							
	≥ 1 MWt a < 3 MWt	50	30																																																							
	3 ≥ MWt a < 20 MWt	50	30																																																							
	≥ 20 MWt	30	30																																																							
Potencia Térmica	Caldera nueva	Límite Máximo de SO ₂ (mg/Nm ³)																																																								
		Caldera Existente																																																								
		Desde Enero 2019	Desde Enero 2021	Desde Enero 2024																																																						
≥ 75 kWt a <3 MWt	400	No aplica	No aplica	No aplica																																																						
≥ 3 MWt a < 20 MWt	400	800	800	600																																																						
≥ 20 MWt a < 50 MWt	200	600	600	400																																																						
≥ 50 MWt	200	600	400	400																																																						
Supuestos	Para estimar los costos de esta medida se utilizan los siguientes costos medios por tonelada:																																																									

	Contaminante			UF/ton	USD/ton		
	MP2,5*		6,4		274,5		
	SOx**		84,6		3.629,3		
	*: Se asume uso de precipitador electrostático húmedo. **: Se asume uso de desulfurizador de Gases de Salida. No se consideran costos de monitoreo de emisiones Vigencia: 2016.						
Resultados	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10
	FF - Limite Emisión	146	0,70	12	4	0,00	1,65
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
Referencias Bibliográficas	(USEPA 2010)						

Compensación emisiones en el marco del SEIA							
Descripción	Proyectos o actividades nuevas y sus modificaciones que tengan asociadas una emisión total anual que implique un aumento sobre la situación base superior a 1 ton/año de material particulado MP10, deberán compensarlas en un 120%. Vigencia: Publicación diario oficial						
Supuestos	Para estimar los costos de esta medida se utilizan los siguientes costos medios por tonelada:						
	Contaminante		UF/ton	USD/ton			
	MP2,5*		6,4	274,5			
	SOx**		84,6	3.629,3			
	*: Se asume uso de precipitador electrostático húmedo. **: Se asume uso de desulfurizador de Gases de Salida. No se consideran costos de monitoreo de emisiones Vigencia: 2016.						
Resultados	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10
	FF-Compensación	96	0,46	6	0,1	0,00	0,04
	Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
Referencias Bibliográficas	(USEPA 2010)						

7.3.5 Sector transporte

Programa de renovación de buses																						
Descripción	Recambio de vehículos de locomoción colectiva urbana de la zona saturada																					
Supuestos de evaluación	<p>Se considera un recambio total de 170 entre 2016 y 2022, de 24 buses anuales entre el año 2016 y 2020, y 25 buses los años 2021 y 2022. Tasa de recambio natural de 4%.</p> <p>El estándar de entrada corresponde a buses Euro V, se asume una vida útil de 15 años Se considera un costo de chatarrización de 50 UF por bus, asumido por el estado.</p> <p>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.</p>																					
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP10</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costo Variable Neto</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m3</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m3 MP10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recambio Buses</td> <td>2</td> <td>0,04</td> <td>1</td> <td>-0,4</td> <td>0,57</td> <td>0,78</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 MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10	Recambio Buses	2	0,04	1	-0,4	0,57	0,78
	Reducción MP10		Beneficios Salud	Costo Variable Neto	Inversión	CMe																
Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m3 MP10																
Recambio Buses	2	0,04	1	-0,4	0,57	0,78																
Referencias Bibliográficas	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)																					

7.3.6 Gestión de episodios críticos

Medidas sector residencial GEC	
Descripción	<p>Alerta: En las áreas urbanas de la zona saturada, durante las 24 horas del día, sólo se permitirá la emisión de humos visibles durante un máximo de 15 minutos continuos en el encendido de calefactores y cocinas a leña. A contar del tercer año de vigencia del PDA, en las áreas urbanas de la zona saturada, se prohibirá el uso de artefactos de calefacción y cocinas a leña y/o derivados de la madera, desde las 18 horas y hasta las 23:59 horas</p> <p>Pre emergencia: En las áreas urbanas de la zona saturada, se prohibirá el uso de artefactos de calefacción o cocinas a leña y/o derivados de la madera, desde las 18:00 horas y hasta las 06:00 horas del día siguiente.</p> <p>Emergencia: En las áreas urbanas de la zona saturada, se prohibirá el uso de artefactos de calefacción o cocinas a leña y/o derivados de la madera, durante las 24 horas del día.</p>
Supuestos de evaluación	<p>Se asume un cumplimiento del 90%.</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>No se evalúa la prohibición de humos visibles, solo la prohibición de artefactos.</p>
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013)

Medidas Calderas GEC	
Descripción	<p>Pre emergencia: Se prohibirá dentro de la zona saturada de Talca y Maule, durante las 24 horas del día, el funcionamiento de calderas con una potencia térmica mayor a 75 kWt que presenten emisiones mayores 30 mg/m³N de material particulado.</p> <p>Se prohibirá en las áreas urbanas de la zona saturada, desde las 18:00 y hasta las 06:00 horas del día siguiente, el funcionamiento de calderas a leña con una potencia térmica menor a 75 kWt y hornos a leña.</p> <p>Emergencia: Se prohibirá dentro de la zona saturada de Talca y Maule, durante las 24 horas del día, el funcionamiento de calderas con una potencia térmica mayor a 75 kWt que presenten emisiones mayores 30 mg/m³N de material particulado.</p> <p>Se prohibirá en las áreas urbanas de la zona saturada, durante las 24 horas del día, el funcionamiento de calderas a leña con una potencia térmica menor a 75 kWt y hornos a leña.</p>
Supuestos de evaluación	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.
Referencias Bibliográficas	(Sistam 2013)

7.4 Medidas no evaluadas

La Tabla 9 detalla las medidas que no han sido evaluadas para el presente plan.

Tabla 9: Medidas del plan no evaluadas

Sector	Medida
Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de la leña	Diseño indicadores calidad leña, información consumidor, mesas de trabajo
	Programas apoyo productores de leña, de fiscalización, fomento energías renovables
Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos	Prohibición de calefactores a leña en los órganos del Estado
	Prohibición de calefactores a leña en establecimientos comerciales, restaurantes, pubs, hoteles y oficinas comerciales y de servicios
	Implementación oficina de recambio de calefactores y cocinas a leña.
	Implementación sistema de registro de calefactores y cocinas a leña.
Referida a emisiones de viviendas y proyectos inmobiliarios	Límite de emisión de 2,4 kg/año de material particulado para viviendas nuevas
	Fomento a calefacción distrital, otros estudios
Control de emisiones al aire de calderas de uso residencial, industrial y comercial	No se considera la eximición para combustibles fósiles líquidos con contenido de azufre menor o igual a 50 ppm ni para calderas de eficiencia térmica mayor a 80%
	Medición continua de emisiones para calderas de potencia térmica mayor o igual a 20 MWt
	Medición discreta de emisiones y periodicidad para calderas de potencia térmica mayor a 75 kWt y menor a 20 MWt
	Estudios, acuerdos de producción limpia.
Quemas	Prohibición de quemas libres o quemas abiertas en la vía pública o en recintos privados, cuyo objetivo sea la eliminación de hojas secas y todo tipo de residuos, durante todo el año
Transporte	Incorporación en las bases de licitación para las concesiones de plantas de revisión técnica de la Región del Maule, la exigencia de implementar la primera fase del ASM
	Aumento controles de opacidad
	Implementación de 15 km de ciclovías.
	Priorización proyectos de pavimentación de calles
GEC	Seguimiento y pronóstico de calidad del aire, planes comunicacionales, suspensión actividades físicas, excepciones a paralización de actividades.
Otras	Programas de difusión, programas complementarios, programas de educación, fomento áreas verdes

Fuente: Elaboración propia en base a Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica para las comunas de Talca y Maule.

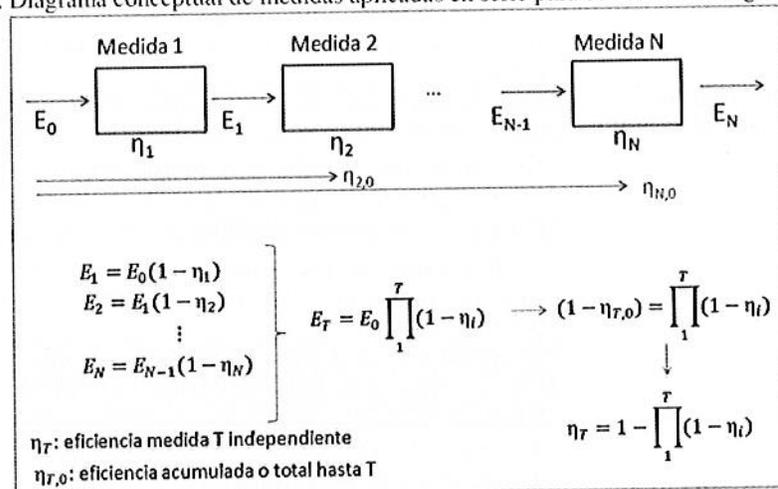
7.5 Metodología AGIES

7.5.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

Se consideraron los efectos combinados o sinergias que poseen las medidas del PDAT, 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.



Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Beneficios en salud

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

Tabla 10: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

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

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de Material Particulado fino (MP_{2,5}). Para estimar el cambio en la concentración de MP_{2,5} con respecto a un cambio en la emisión de un determinado contaminante (NO_x, COVs, SO_x, y MP), se debe estimar el factor de emisión-concentración o FEC para cada zona geográfica. El FEC indica las toneladas necesarias de contaminante para aumentar en 1 µg/m³ el promedio anual de concentración de MP. Los FEC utilizados en la evaluación fueron determinados usando modelos del tipo *rollback* simple (Noel de Nevers 1975; T. Y. Chang 1975), relacionando emisiones con concentraciones:

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

Donde:

FEC_p: Factor emisión concentración para contaminante p, [(ton/año)/(µg/m³)].

C_p: Concentración ambiental del contaminante p, [µg/m³].

E_p: Emisión del contaminante p [ton/año].

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

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

Donde:

CT_{MP_i} : Concentración ambiental total de MP10 o MP2,5, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

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

Una vez obtenidos estos, el cambio en la concentración de un contaminante p, en este caso MP2,5; se estima como:

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

Donde el subíndice i corresponde a MP2,5 (primario), NOx, COVs y SOx (precursores de MP2,5 secundario).

El FEC y concentraciones de *background* utilizados corresponden a los reportados en IIT UdeC (2014).

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 [$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$].

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

ΔC_{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 linealizar¹⁹ la expresión anterior de obtiene:

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

¹⁹ Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β 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_p : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP2,5

VU_j : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

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

7.5.3 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.

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

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

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

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

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

Donde:

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

- Inversión_{m,t}: Inversión de la medida m realizada en el año t [\\$].
- Costos OyM_t: Costos de Operación y Mantenimiento realizados en el año t [\$/año].
- CMe_m: Costo Medio de la medida m $\left[\frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$ o $\left[\frac{\$}{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p}} \right]$.
- Red_p: Reducción del contaminante p de la medida m en [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 11: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2014, escenario Normal

Tipo de efecto	Efecto detalle	Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
Mortalidad	<i>Largo Plazo</i>	14.920	14.920	14.920	14.920
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	26	28	28	0
	<i>Cardiovascular</i>	0	56	56	56
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0	36	36	37
	<i>Neumonía</i>	0	0	0	40
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	1,3	0	0	0
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	0	0,8	0,8	0
	<i>Días de actividad restringida</i>	0	0,2	0,2	0
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0	0	0	0

Fuente: (MMA 2011)

7.7 Coeficientes de riesgo unitario

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

Tabla 12: Coeficientes de riesgo unitario para MP2.5

		Niños	Adultos 18-29	Adultos 30-64	Adultos Mayores
Mortalidad	<i>Largo Plazo</i>	0.00%	0.93%	0.93%	0.93%
Admisiones hospitalarias	<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%
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	0.44%	0.00%	0.00%	0.00%
Productividad perdida	<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 Ficha del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Plan de Descontaminación Atmosférica comunas de Talca y Maule
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de Zona Saturada: Decreto Supremo N° 12 de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Diciembre 2014
	Alcance geográfico	Comunas de Talca y Maule
	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 12
	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 – Consultoría (IIT UdeC 2014)
	Beneficios marginales por concentración de MP2,5	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro	Año 2025, MP2,5: 15.1 [µg/m3]
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2025: MP2,5: 778 ton/año
	Años de evaluación	2016-2025
	Parámetros	Valor del dólar
Valor de la UF		\$24.200 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	67
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	374
	Valor actual neto en MM USD	307