



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE PLAN DE DESCONTAMINACION DE OSORNO POR MP₁₀ y MP_{2,5}

Diciembre de 2014

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica de la comuna de Osorno, 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 la comuna de Osorno. Éste tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas en el Anteproyecto.

En la comuna de Osorno las concentraciones ambientales de MP_{10} y $MP_{2,5}$ superan las normas diarias y anuales, situación por la que se origina la declaración de zona saturada. El principal sector emisor es el residencial aportando cerca del 89% de las emisiones de MP_{10} y alrededor del 95% de $MP_{2,5}$. Consecuentemente, las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto han sido diseñadas con énfasis en la emisión doméstica mediante; i) el mejoramiento térmico de viviendas, ii) el recambio por equipos de calefacción más eficientes, iii) la mejora en las condiciones de humedad de la leña consumida y iv) la regulación del uso de artefactos que utilicen leña como combustible. Otras medidas contenidas en este plan incluyen restricciones para la operación de calderas industriales, quemas agrícolas, y recambio de buses en el transporte público.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas en el Anteproyecto permitirían cumplir la normas diaria y anual de MP_{10} y $MP_{2,5}$ al año 2024¹ mediante la reducción de emisiones en las fuentes de origen.
- La reducción de emisiones generarán los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud; 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\$390 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años². Es importante destacar que los beneficios totales se atribuyen a la disminución de casos de mortalidad (85%).
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$62 millones y corresponden a: reacondicionamiento térmico de viviendas, subsidios para el recambio de calefactores, renovación de artefactos que utilicen leña como combustible y mejoramiento en la calidad de la leña. Un 26% de estos costos son asumidos por el Estado.
- 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\$ 327 millones, lo que constituye una razón beneficio-costo de 6,3.

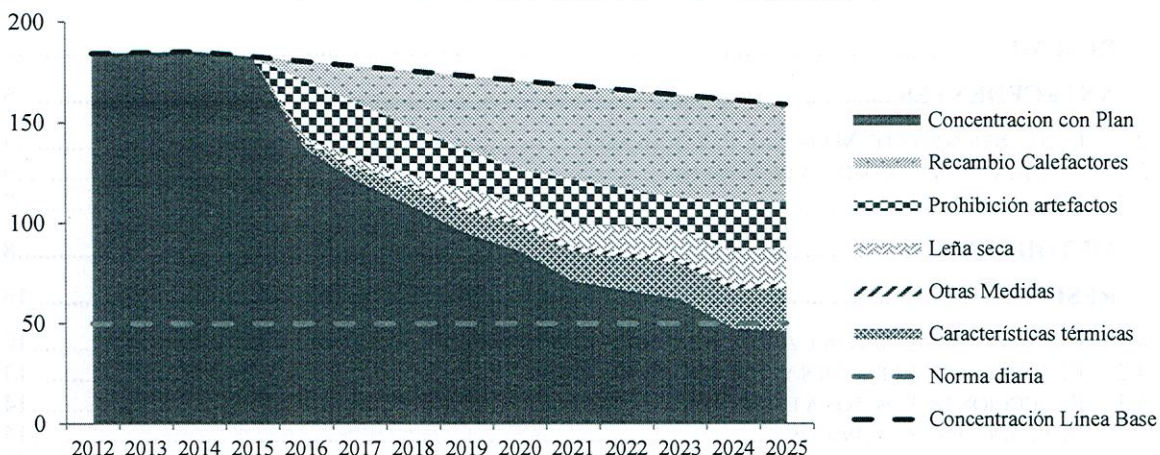
Finalmente, la mejora en calidad del aire tiene efectos significativos en la equidad ambiental asociados a los ahorros en costos médicos que alcanzan los US\$12 millones. Si bien son proporcionalmente bajos en relación a los beneficios totales en salud (3%), estos representan el 1% del ingreso mensual de un hogar del quintil de mayores ingresos, mientras que en el quintil de menores ingresos llegan a representar el 15%. Este análisis concluye que el PDA de Osorno, 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 La norma de concentración anual de MP_{10} se cumple en 2016; la norma de concentración diaria de MP_{10} se cumple en 2021, la norma de concentración anual de $MP_{2,5}$ se cumple en 2019 y concentración diaria de $MP_{2,5}$ se cumple en 2024.

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 Los beneficios netos corresponden a los beneficios menos los costos.

Evolución de concentración diaria de MP_{2,5} [µg/m³]



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

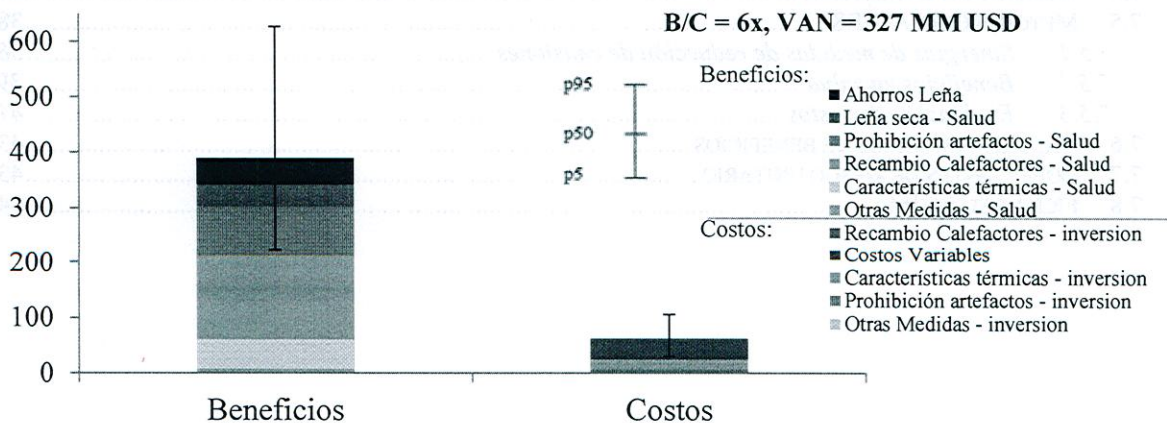
Sector	Emisiones base	Emisiones Anteproyecto	Reducción (%)
Residencial	8.098	7.033	98,0%
Quemas	162	16	0,2%
Industria	299	94	1,4%
Transporte	10	2	0,4%
Fugitivas	118	0	0%
Background	S/I	S/I	-
Total	8.688	7.144	100%

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

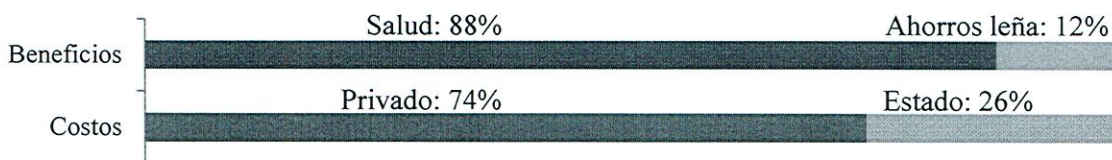
Efecto	Nº casos evitados
Mortalidad	84
AH - Asma	3
AH - Cardiovascular	34
AH - Respiratorias crónicas	4
AH - Neumonía	14
VSE: Asma	2.414

AH: Admisiones hospitalarias
VSE: Visitas a salas de emergencia

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



B/C = 6x, VAN = 327 MM USD



ÍNDICE

1. RESUMEN	2
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	5
2.2 EMISIONES EN LA COMUNA DE OSORNO.	6
2.3 MEDIDAS EVALUADAS	7
3. METODOLOGÍA.....	8
4. RESULTADOS	10
4.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	10
4.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES.....	13
4.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS	14
4.4 INDICADORES ECONÓMICOS	14
4.4.1 <i>Costo eficiencia de las medidas del PDA</i>	15
4.4.2 <i>Análisis Costo-Beneficio</i>	16
4.5 DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS POR NIVEL SOCIOECONÓMICO	18
4.6 EPISODIOS CRÍTICOS.....	19
5. CONCLUSIONES	21
6. REFERENCIAS.....	23
7. ANEXOS.....	25
7.1 INVERSIÓN DEL ESTADO	25
7.2 RESULTADOS POR MEDIDA	26
7.3 FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS	28
7.3.1 <i>Referidas al Uso y Mejoramiento de la Calidad de los Artefactos</i>	28
7.3.2 <i>Mejoramiento térmico de las viviendas</i>	30
7.3.3 <i>Quemas Agrícolas, Forestales y Domiciliarias</i>	32
7.3.4 <i>Calderas de Uso Residencial, Industrial y Comercial</i>	33
7.3.5 <i>Sector Transporte</i>	35
7.3.6 <i>Gestión de Episodios Críticos</i>	35
7.4 MEDIDAS NO EVALUADAS	37
7.5 METODOLOGÍA AGIES.....	38
7.5.1 <i>Sinergias de medidas de reducción de emisiones</i>	38
7.5.2 <i>Beneficios en salud</i>	39
7.5.3 <i>Evaluación de costos</i>	41
7.6 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS	43
7.7 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO	43
7.8 FICHA DEL AGIES.....	44

2. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 27 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada⁴ por Material Particulado Grueso⁵ (MP₁₀) y Fino⁶ (MP_{2,5}), como concentración diaria y anual, a la comuna de Osorno.

Esta declaración da conformidad al procedimiento y a las etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300 y en el decreto supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, que da origen a la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférico para la comuna de Osorno, en adelante PDAO⁷. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración de MP₁₀ y MP_{2,5} por debajo de los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

La comuna de Osorno, se encuentra ubicada en la provincia de Osorno, región de Los Lagos, posee una población estimada para el año 2015 de 168.836 habitantes⁸, la cual se beneficiará directamente por la aplicación del PDAO, específicamente la población del área urbana en donde se presentan los mayores grados contaminación, agravados durante los meses de invierno.

De este modo, la meta del presente plan es cumplir las normas de calidad tanto para MP₁₀ como para MP_{2,5}. El presente informe se enfoca en la métrica diaria del MP_{2,5} al constituir la restricción más estricta en la zona⁹.

2.1 Concentración de Material Particulado

A continuación (Figura 1 y Figura 2) se presentan los datos de concentración monitoreados en la estación El Alba, tanto para las concentraciones de MP₁₀ como MP_{2,5}, en sus temporalidades anuales y diarias, que respaldan la declaración de zona saturada.

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

⁵ La normativa para MP₁₀, corresponde al D.S 59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica, que establece una concentración anual máxima de 50 mg/m³N y una concentración diaria de 150 mg/m³N.

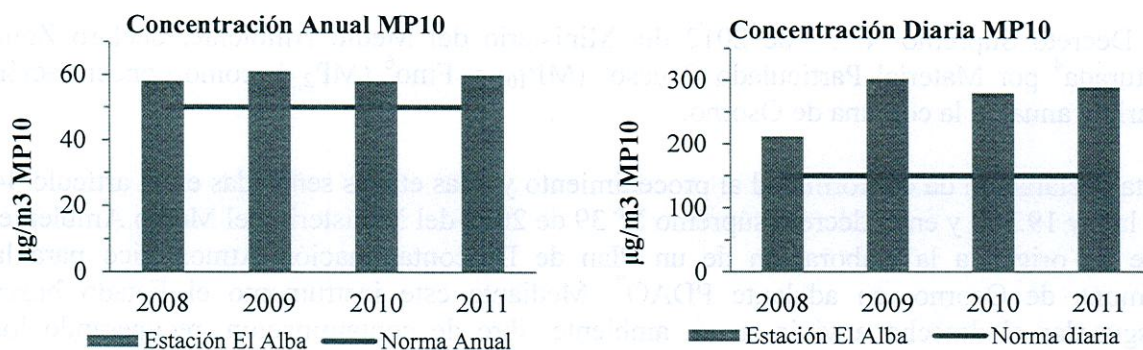
⁶ La normativa para MP_{2,5} corresponde al D.S. 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece una concentración anual máxima permitida de 20 mg/m³N y una concentración diaria de 50 mg/m³N.

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.

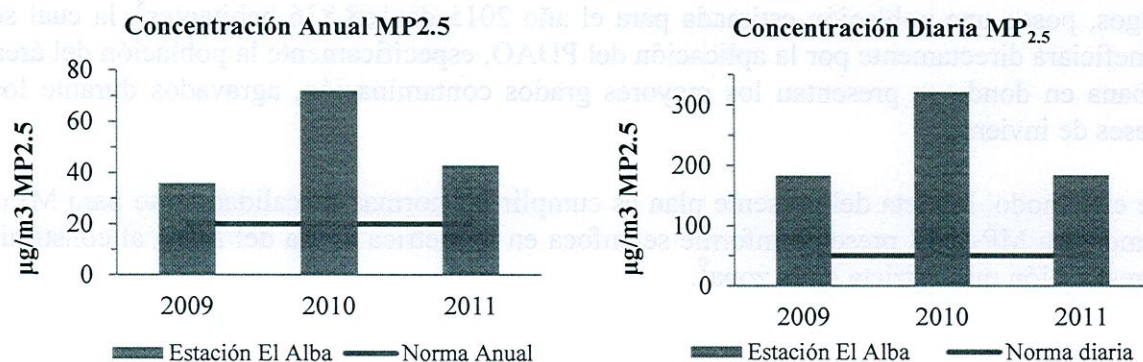
⁹ Es importante mencionar que el límite de la normativa de MP₁₀ es más alto, por lo que para el caso de la comuna de Osorno, el cumplimiento de la norma de MP_{2,5} siempre implicará el cumplimiento de la norma de MP₁₀.

Figura 1: Evolución de la concentración anual (a) y diaria de MP₁₀ (b).



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

Figura 2: Evolución de la concentración anual (a) y diaria de MP_{2.5} (b).



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

2.2 Emisiones en la comuna de Osorno.

En la comuna de Osorno, el mayor emisor corresponde al sector residencial, que para el caso de MP₁₀ aporta un 89% de las emisiones, mientras que para el caso del MP_{2,5} su aporte es del 95% de las emisiones, esto se debe a la combustión de biomasa para calefacción. La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones para la comuna.

Tabla 1: Inventario de Emisiones modelado para comuna de Osorno.

Sector	MP ₁₀	MP ₂₅	SO _x	NO _x	NH ₃	CO
Residencial	9.740	9.462	66	428	362	250.852
Quemas e Incendios Forestales	173	162	28	68	4	1268
Fuentes Fijas	399	215	739	409	0	378
Móviles en ruta	19	17	3	572	13	814
Fugitivas	625	94	0	0	0	0
<i>Construcción Edificios</i>	32	1	0	0	0	0
<i>Construcción Caminos</i>	125	4	0	0	0	0
<i>Calles Pavimentadas</i>	428	61	0	0	0	0
<i>Preparación de Suelos Agrícolas</i>	40	27	0	0	0	0
TOTAL	10.956	9.950	836	1.477	379	253.312

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.

Tabla 2: Resumen de medidas consideradas en la evaluación

Sector	Medida
Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos y leña	Recambio de calefactores a leña por calefactores a leña cumple norma
	Recambio de calefactores a leña por calefactores a pellet
	Recambio de cocinas a leña por cocinas a gas o calefactores a leña cumple norma
	Prohibición de uso de chimeneas de hogar abierto
	Requisitos para la comercialización de la leña
	Prohibición de chimeneas
	Prohíbe uso calefactores a leña que no cumplan norma (6° año) y cocinas a leña (9° año)
	Prohibición de utilización de más de 1 artefacto por vivienda
Mejoramiento Térmico de las viviendas	Subsidios para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes
	Requisitos de aislación térmica viviendas nuevas
	Límite de emisión para viviendas nuevas
Quemas	Prohibición quemas entre el 1° de abril al 30 de septiembre de cada año
Fuentes Fijas	Límite de emisión para MP y SOx.
	Compensación de emisiones en el marco del SEIA
Transporte	Recambio de buses en el transporte público
GEC	En pre-emergencia: Restricción al uso de calefactores, cocinas a leña y el funcionamiento de calderas de potencia > 75 kWt y las calderas de potencia superior a 75 kWt con emisiones mayores que 30 mg/m ³ N en el horario comprendido entre las 18:00 y las 6:00 hrs, en los polígonos seleccionados.
	En emergencia: Restricción al uso de calefactores, cocinas a leña y el funcionamiento de calderas de potencia < 75 kWt y las calderas de potencia superior a 75 kWt con emisiones mayores que 30 mg/m ³ N durante las 24 horas, en los polígonos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que en el proceso de elaboración de este AGIES no se evalúan medidas para las que no hay efectos directamente cuantificables o para las que no existe información de línea base disponible. Las medidas no evaluadas corresponden a las asociadas con la regulación de fuentes de calefacción institucionales y del comercio, programas de educación, campañas comunicacionales, generación de estudios, programas de capacitación, entre otras. Mayor detalle de éstas se puede encontrar en la Sección 7.4 de Anexos. Mayor detalle sobre las medidas y los resultados de la evaluación se presentan en las secciones 7.2 y 7.3 de Anexos.

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 continuación¹⁰.

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 secuencial¹¹, 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 epidemiológicos¹² 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.

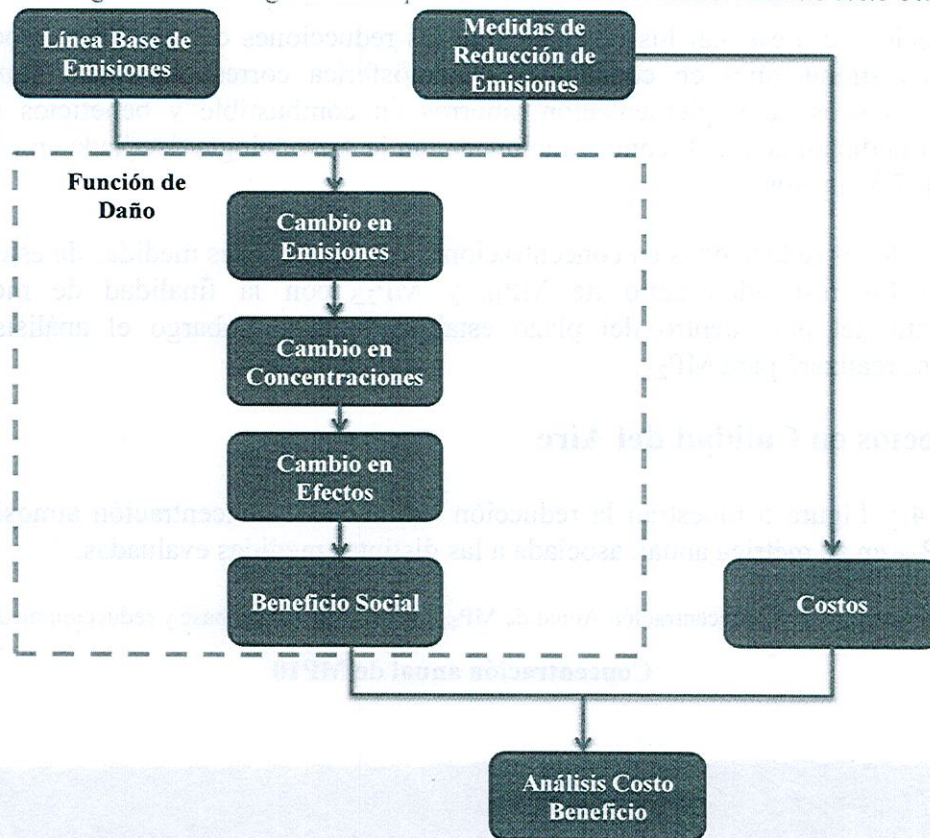
Se incorpora un análisis de los efectos distributivos con el fin de determinar quiénes perciben los beneficios y los costos de la regulación. En primer lugar, se analiza el impacto en los diferentes agentes de la sociedad involucrados, y posteriormente, se realiza un análisis de los beneficios focalizado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

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

¹¹ 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 $1 - (1-0,7) \cdot (1-0,8) = 0,94$.

¹² 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*¹³. 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 expuesta¹⁴, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras¹⁵.

¹³ Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmósfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.

¹⁴ 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.

¹⁵ 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

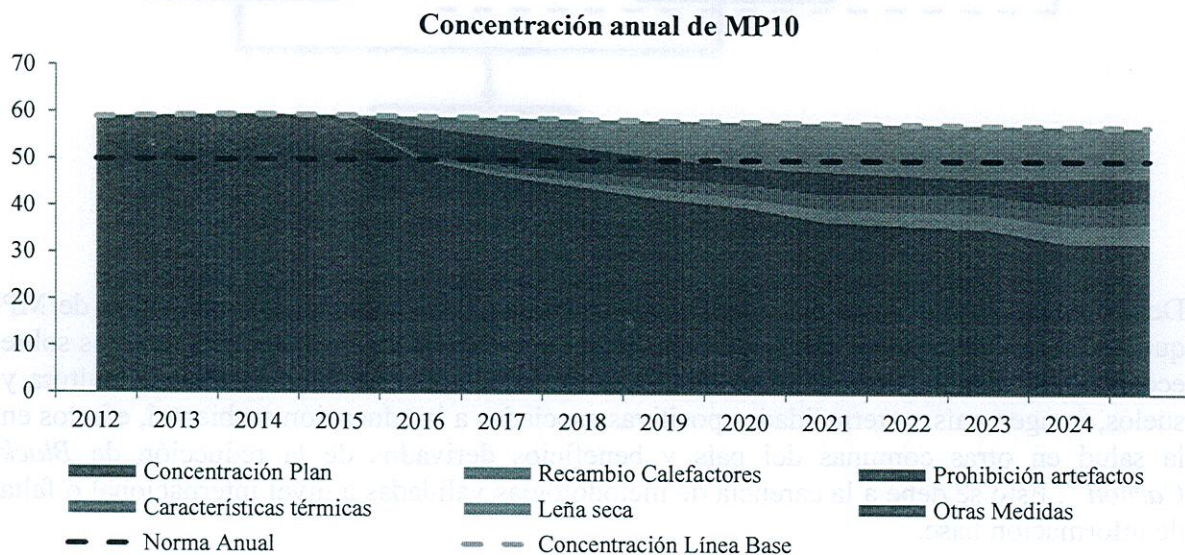
En esta sección se presentan los resultados de las reducciones de emisiones asociadas al plan y las disminuciones en concentración atmosférica correspondientes. También se calculan los costos de implementación, ahorros en combustible y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración, según la metodología detallada en el punto 3 y la sección 7.5, anexos.

Para el caso de las reducciones en concentraciones que generan las medidas de este plan, se presentarán los resultados tanto de MP₁₀ y MP_{2,5} con la finalidad de mostrar el cumplimiento del plan dentro del plazo establecido. Sin embargo el análisis de los resultados se realizará para MP_{2,5}.

4.1 Efectos en Calidad del Aire

La Figura 4 y Figura 5 muestran la reducción estimada de concentración atmosférica de MP₁₀ y MP_{2,5} en su métrica anual, asociada a las distintas medidas evaluadas.

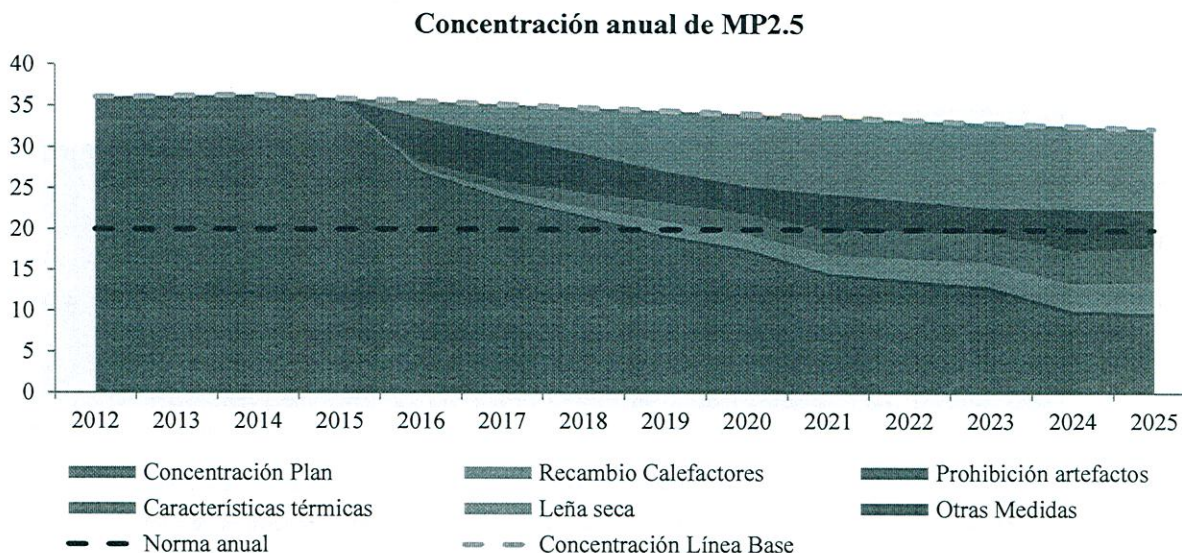
Figura 4: Evolución de concentración Anual de MP₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], para línea base y reducción medidas.



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

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

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



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

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

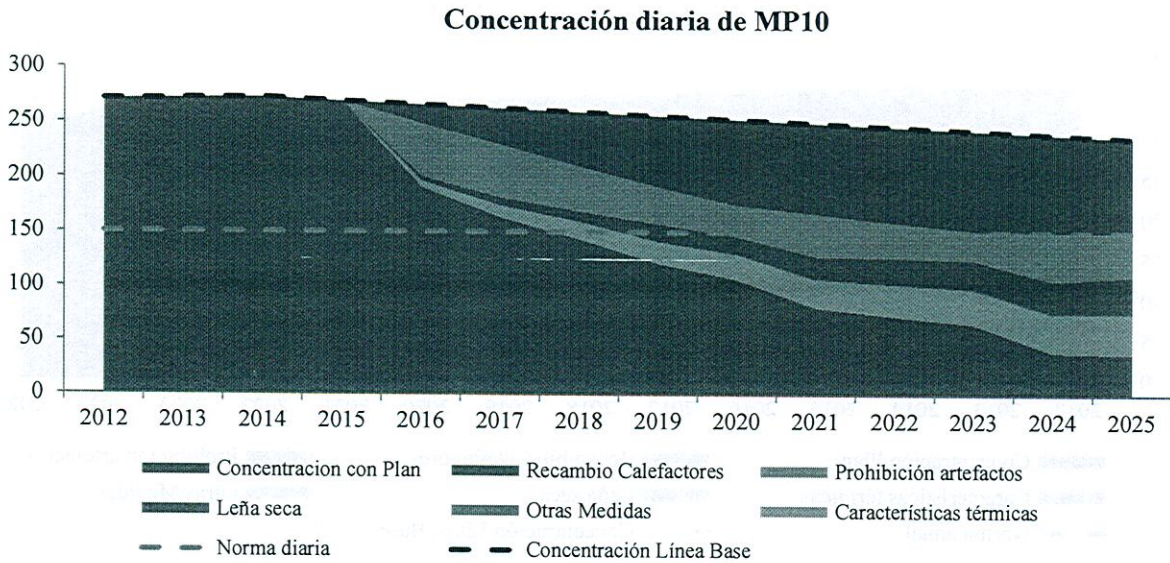
Se aprecia en las figuras anteriores que se cumple ampliamente la norma anual (serie "Concentración Plan", sin embargo esta norma no es la restricción activa, ya que el problema de la contaminación alcanza una situación crítica durante el invierno, mientras que en verano la calidad del aire mejora sustancialmente.

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

De esta forma se estima que el cumplimiento de la norma anual de MP₁₀ se realizaría el año 2016, y para el año 2025 cuando finaliza la vigencia del plan, la concentración se estima en 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. El temprano cumplimiento se explica principalmente por la entrada de medidas como prohibición al uso de más de un artefacto por vivienda, a la prohibición de chimeneas, por la aplicación de subsidios al recambio de calefactores y a la aislación térmica. Por su parte para MP_{2,5} el cumplimiento se generará el año 2019, y para el año 2025 se lograra una concentración de 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$

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

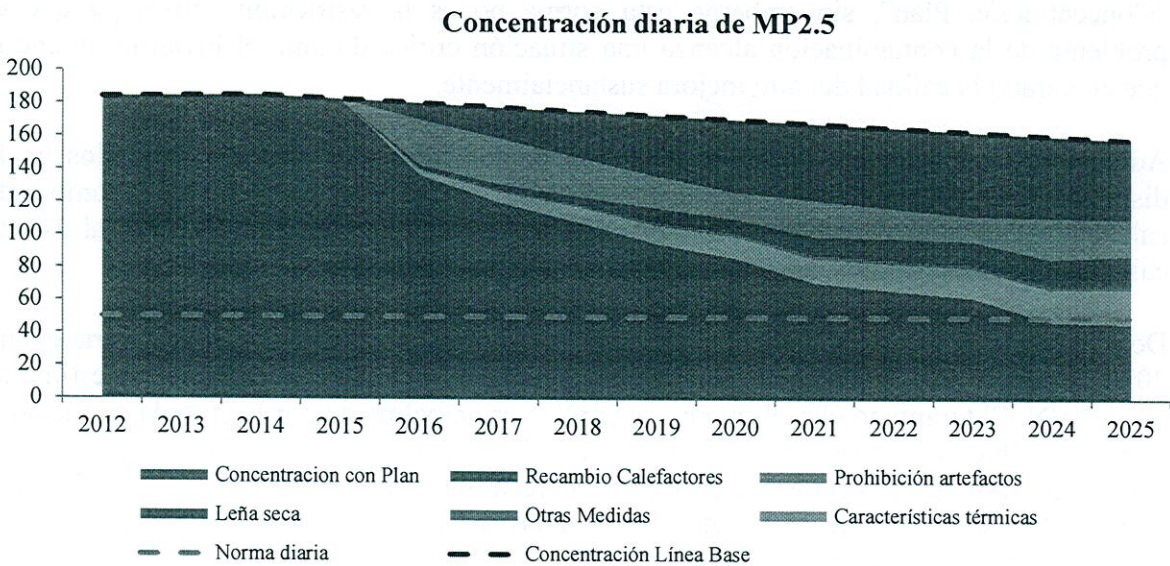
Figura 6: Evolución de concentración diaria de MP₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], para línea base y reducción medidas.



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

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

Figura 7: Evolución de concentración diaria de MP_{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], para línea base y reducción medidas.



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

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

Se estima que la norma diaria para MP₁₀ podría cumplirse a partir del año 2021, para alcanzar el año 2025 una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para MP_{2.5} el cumplimiento se alcanzaría el año 2024, logrando una concentración de 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos niveles suponen una reducción de los niveles establecidos por la norma, por consiguiente se considerará un cumplimiento en los objetivos del PDAO.

Es importante considerar que la implementación de las medidas se estableció desde el año 2016, con el objetivo de asegurar que la aplicación de las medidas dentro de un año calendario, por consiguientes las medidas son consideradas desde el año 2016 al año 2025.

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

En la Tabla 3 se presentan las emisiones y concentraciones de $MP_{2,5}$ de línea base asociadas a los sectores Residencial, Quemadas, Industria, Transporte y Fugitivas, así como las reducciones para el año 2025 derivadas de la implementación de las medidas del plan para dichos sectores.

Tabla 3: Reducción de emisiones y concentraciones de $MP_{2,5}$ con respecto a la línea base, año 2025.

Sector	Línea Base 2025		Reducción Año 2025		Reducción Sector	Reducción Total
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	% Conc.	% Conc.
Residencial	8.098	25.9	7.033	22.47	87%	98.0%
Quemas	162	0.5	16	0.05	10%	0.2%
Industria	299	1.3	94	0.31	23%	1.4%
Transporte	10	0.8	2	0.10	13%	0.4%
Fugitivas*	118	0	0	0	0	0%
Total	8.688	29	7.144	22.9	80%	100%

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

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el sector que reduce más es el Residencial, con 7.033 ton/año el año 2025 correspondiente a un 98,4% de las emisiones. Esto se debe principalmente a la medida de recambio de equipos de calefacción, que considera un total de 7.500 equipos de calefacción y 9.000 cocinas, recambiados en un plazo de 5 años y 8 años respectivamente, lo que implica un 42,75% de reducción de este sector. Adicionalmente este sector aplicará un programa de prohibiciones al uso de calefactores, como la prohibición de chimeneas y el uso de más de un artefacto a leña por vivienda desde la entrada en vigencia del plan así como la prohibición de artefactos que no cumplan con la norma de emisión¹⁶ desde el sexto año y la prohibición al uso de cocinas a leña desde el noveno año desde la entrada en vigencia del plan, de esta manera estas prohibiciones aportan con un 20.08% de las reducciones del sector. En tercer lugar el reacondicionamiento térmico de viviendas que contempla subsidios para 11.000 viviendas y la exigencia de características térmicas específicas de para viviendas nuevas aportan con un 18.87% de la reducción.

¹⁶ Decreto Supremo N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente

Otra de las medidas de importancia es la correspondiente al mejoramiento de la calidad de la leña, esta medida implica aumentar hasta un 60% la oferta de la leña seca¹⁷, lo cual implicara una reducción de un 16,15% de las emisiones del sector residencial.

Por su parte, los sectores de Quemados, Industria y Transporte, si bien tienen reducciones importantes comparadas con sus emisiones de línea base, su aporte es marginal si se compara con el sector Residencial.

4.3 Reducción de efectos a la salud: casos evitados

Para entender mejor los beneficios monetarios en salud presentados en la sección anterior, se muestra una estimación del número de casos evitados por tipo de evento para el año 2025 debido a la menor concentración esperada de MP_{2,5}. 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 los casos de mortalidad prematura que se evitarían con la implementación de las medidas del plan, los que se estiman en 84 para el año 2025, con un total de 618 casos evitados entre los años 2015 y 2025.

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

Evento	Tipo	Caso evitados (percentil 50)	Intervalo de confianza 90%
Mortalidad	<i>Largo Plazo</i>	84	[55 - 124]
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	3	[3 - 5]
	<i>Cardiovascular</i>	34	[27 - 42]
	<i>Respiratorias crónicas</i>	4	[-2 - 10]
	<i>Neumonía</i>	14	[6 - 22]
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	2.414	[789 - 4.039]
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	13.231	[11.777 - 14.372]
	<i>Días de actividad restringida</i>	71.109	[67.582 - 75.806]
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	137.516	[119.477 - 146.279]

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

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.

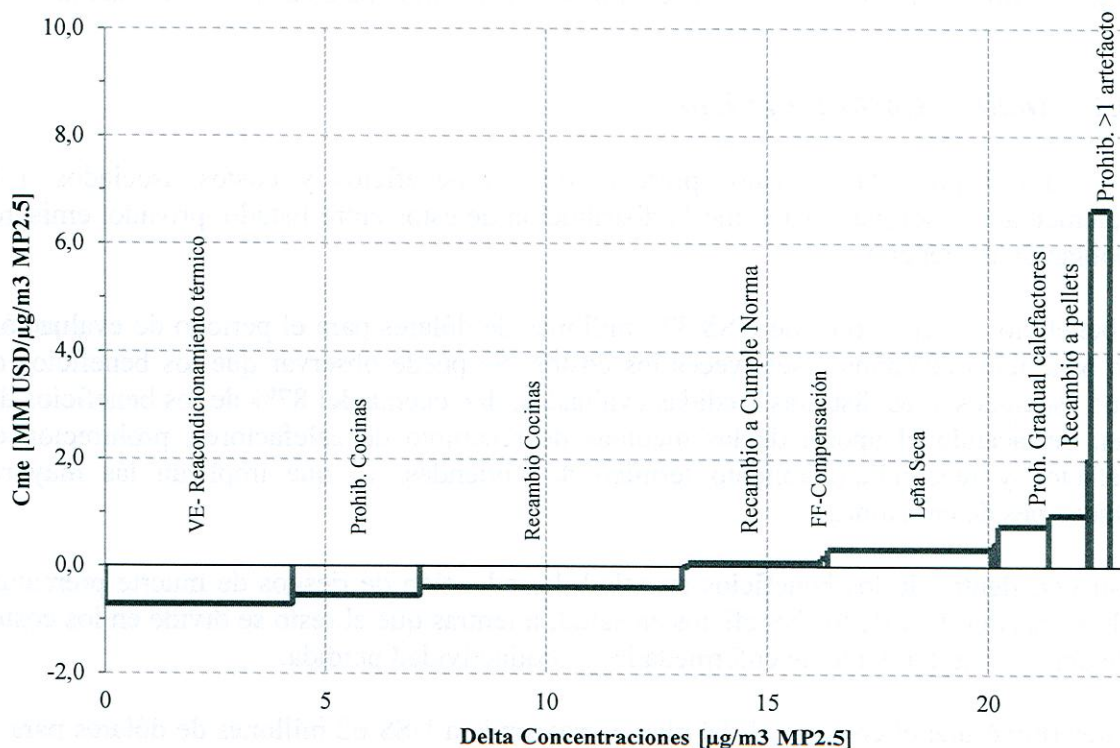
¹⁷ Se considera leña seca, aquella que posee un contenido de humedad < al 25% en base seca.

4.4.1 Costo eficiencia de las medidas del PDA¹⁸

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 mantención¹⁹.

Se puede observar en Figura 8 que el mejoramiento térmico de las viviendas, tanto nuevas como existentes, corresponde al grupo de medidas más costo-efectiva²⁰, generando un ahorro neto para el sector residencial. Esto se debe a un menor consumo de leña derivado de la disminución en la demanda energética de viviendas, ya que estas poseen mejores estándares de aislación. Al mismo tiempo estas medidas tendrían un potencial de reducción de la concentración, aportando alrededor de un 18% de la reducción en concentración total del plan.

Figura 8: Costo Medio de medidas [MM USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$], 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: VN: vivienda nueva, VE: vivienda existente, LE: Límite de emisión. 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 en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013)

¹⁸ 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.

¹⁹ 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.

²⁰ Utilizando datos de MINVU (2007)

Las medidas orientadas a mejorar el parque de equipos de calefacción y cocción dan cuenta de una reducción de un 42% de la concentración de material particulado fino, con costos medios que van desde los US\$ -0.4 a 1 millón de dólares por unidad de concentración²¹. Esta diferencia en los costos, se explica por el alto costo del recambio a estufas a pellet, y la eficiencia en el consumo de combustible.

Por otra parte la prohibición de cocinas, es una medida que genera un costo medio de US\$ -0.55 millones de dólares por unidad de concentración. La costo-efectividad de esta medida se debe a la gran eficiencia para calefacción que se obtiene al recambiar una cocina por una estufa que cumpla norma para calefacción y por el recambio a una cocina a gas para la cocción, desprendiendo un bajo consumo de leña y de gas.

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

4.4.2 Análisis Costo-Beneficio

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

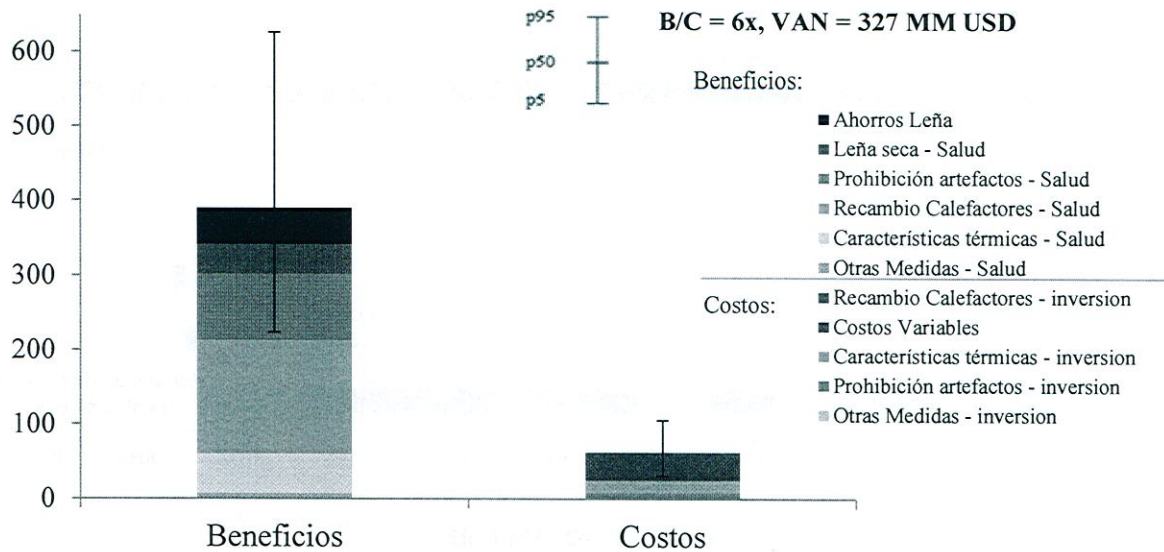
El beneficio social neto es de US\$ 327 millones de dólares para el periodo de evaluación, con beneficios cercanos a seis veces los costos. Se puede observar que los beneficios en salud asociados a las distintas medidas evaluadas, dan cuenta del 87% de los beneficios del plan, destacando el aporte de las medidas de recambio de calefactores, prohibición de artefactos y reacondicionamiento térmico de viviendas, ya que implican las mayores reducciones de emisiones.

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

Se determinó que el costo total del plan corresponde a US\$ 62 millones de dólares para el período de evaluación, los subsidios de aislación térmica dan cuenta del 29% de estos costos, esto debido al alto número de subsidios y al alto costo de cada uno. Sin embargo son los costos variables los que presentan un mayor valor, siendo un 50% de los costos del plan, esto incluye los costos de abatimiento de calderas (calculado utilizando costos medios por tonelada), mayores costos de operación del uso de artefactos a pellets, mayor costo de la leña seca y el costo de la prohibición de quemas agrícolas.

²¹ MM USD/ug/m³

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] UF²². Se proyecta con una tasa de crecimiento del 2.9%. El beta utilizado (de largo plazo) para adultos sigue una distribución normal, con media de 0.93% y un IC al 90% de [0.47; 1.41]. Para los costos se asume una desviación de 30%. Valor presente considera flujos hasta año 2025. Costos Variables corresponde a los mayores costos de la leña seca, del uso de pellets, los costos de prohibición de quemas y costos de abatimiento en calderas industriales e institucionales.

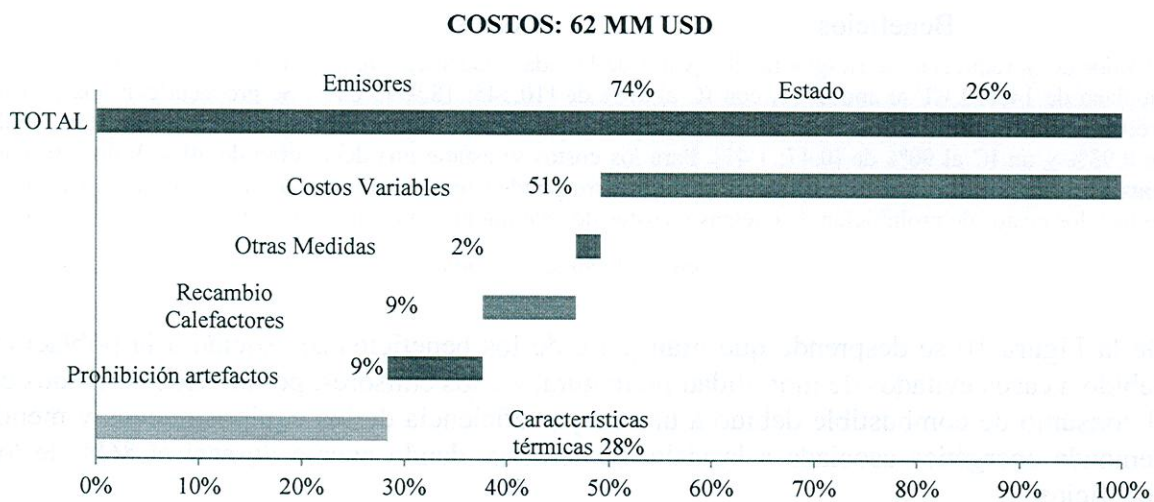
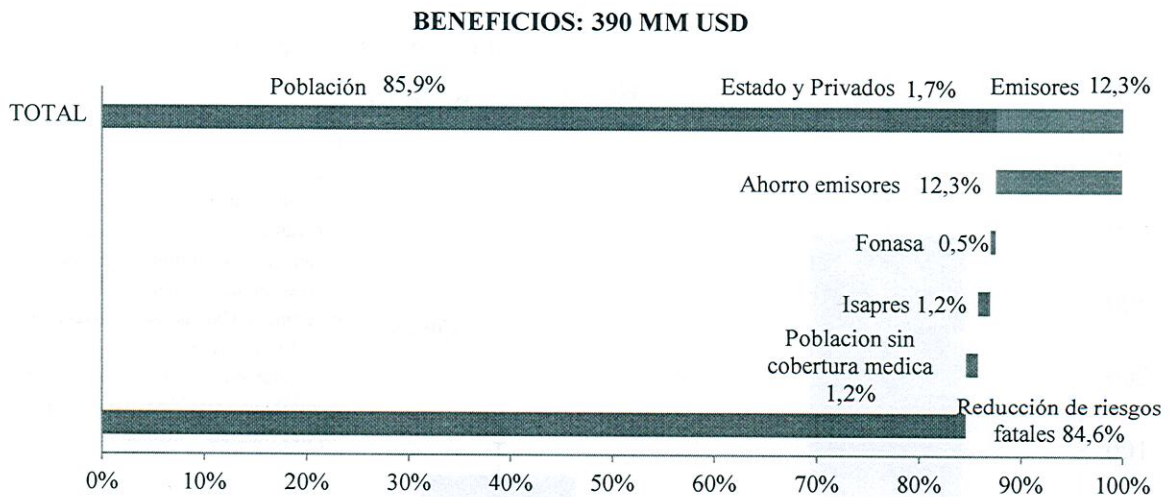
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 10 se desprende que gran parte de los beneficios se asocian a la población, debido a casos evitados de mortalidad prematura, y a los emisores, por ahorros derivados en el consumo de combustible debido a una mayor eficiencia de los equipos nuevos y menor demanda energética asociada a la aislación térmica, dando cuenta de casi el 86% de los beneficios.

Con respecto a los costos, el estado financia un 26%, por concepto de subsidio a los recambios de calefactores y subsidios de aislación térmica. Por su parte, los emisores financian el 74% restante, sin embargo, al contrastar con los beneficios que derivan del plan, se obtiene un beneficio neto.

²² 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.

4.5 Distribución de beneficios por nivel socioeconómico

Adicionalmente se determina el efecto distributivo de los beneficios por nivel socioeconómico en la población afectada. Para ello, se consideran los beneficios económicos directos sobre la población por conceptos de ahorros en costos médicos, es decir, sin incluir la valorización de mortalidad. La cifra valorizada a 2014 ascienden a US\$ 1,4 MMUS\$, donde el 81% corresponde a Fonasa, 6% otros (FFAA y de Orden), 3% a particulares, y 9% a Isapres. Al distribuir estos beneficios por quintil de acuerdo a la participación de cada sistema previsional, se observa que la distribución es bastante homogénea, con un valor cercano al 20%.

Los beneficios anuales para los hogares representan en promedio US\$28.67, correspondiente a un 9% del ingreso promedio mensual²³ de la comuna, sin embargo, el impacto de los beneficios varía considerablemente de acuerdo a cada quintil. En efecto,

²³ El ingreso mensual promedio de la Comuna de Osorno equivale a US\$961,5 (En base a Casen 2011 y actualizado a septiembre de 2014).

mientras en el quintil de mayores ingresos es cercano al 1% de los ingresos mensuales, en el quintil de menores ingresos representa en torno a 15%. De esta manera se puede concluir que el Anteproyecto de PDAO, adicionalmente a generar beneficios totales en la población, estos poseen un impacto mayor en los sectores de menor ingresos en comparación con los de mayor ingreso.

Tabla 5: Distribución de beneficios por quintil.

Quintil	Valor (miles de US\$)					Distribución
	Fonasa	Isapre	Otros	Particular	Total	
i	262,0	1,0	8,1	1,2	272,3	19,4%
ii	251,1	0,5	0,0	5,0	256,5	18,3%
iii	241,1	9,1	28,6	5,5	284,3	20,2%
iv	217,9	27,5	28,1	14,5	288,1	20,5%
v	172,1	89,0	23,6	19,1	303,8	21,6%
Total	1.144,2	127,1	88,5	45,2	1.405,0	20%

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN 2011

4.6 Episodios Críticos

Los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para $MP_{2,5}$ se establecen en el D.S. N°12 del año 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma primaria de calidad ambiental para dicho contaminante, y se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6: Rangos de Concentración [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para episodios críticos por $MP_{2,5}$

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

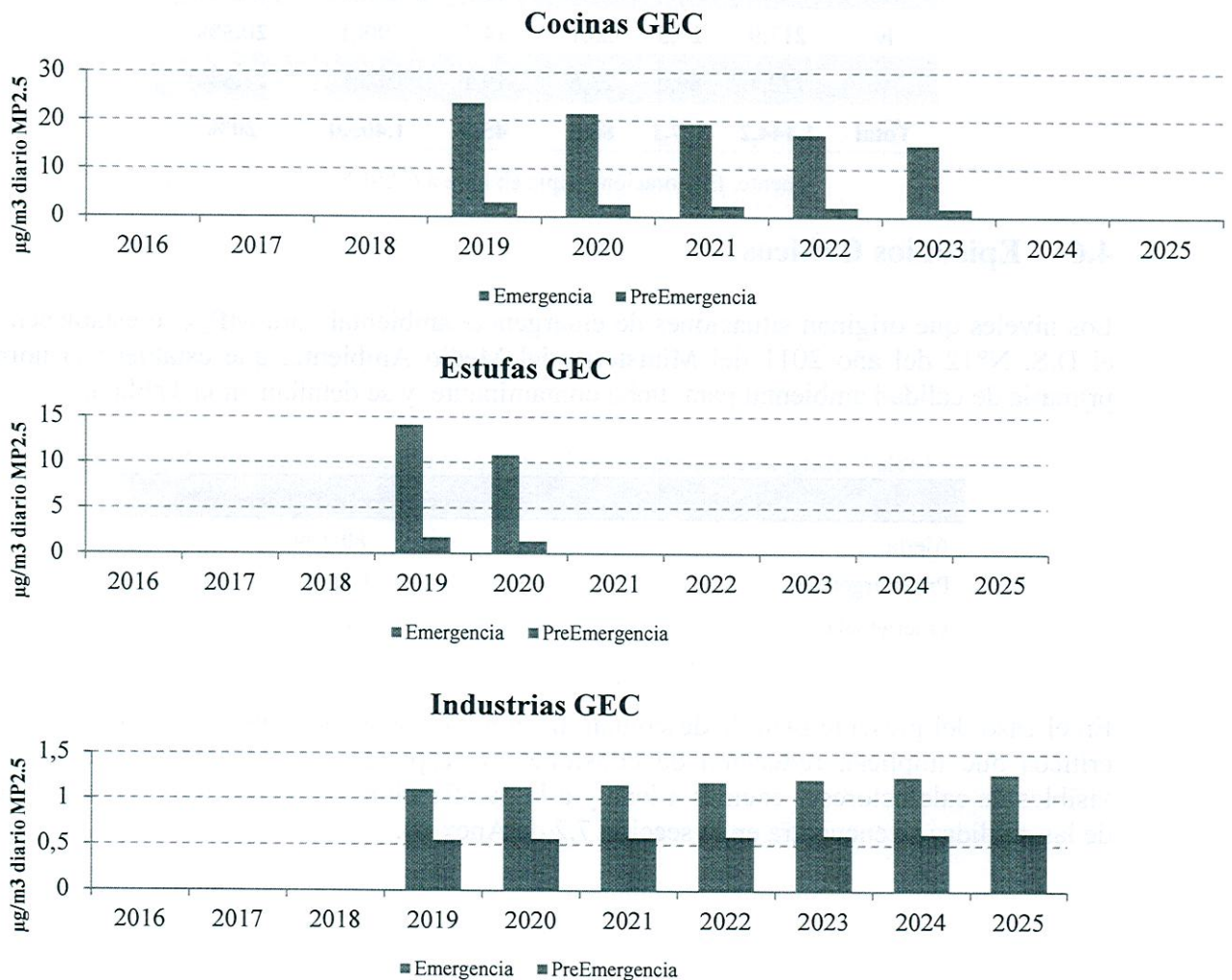
Fuente: DS12 del año 2011, MMA

En el caso del presente plan de descontaminación, las medidas establecidas para episodios críticos que implican reducción de emisiones corresponden a la prohibición de humos visibles de calefactores y cocinas a leña y a la paralización de fuentes fijas (mayor detalle de las medidas se encuentra en la sección 7.2 de Anexos).

La Figura 11 muestra la reducción en concentraciones para diferentes tipos de fuentes emisoras asociadas a la Gestión de Episodios Críticos (GEC). Para el caso del programa de recambio de calefactores, se puede observar un menor impacto de las medidas estructurales del plan, dado que afectan a una menor cantidad de fuentes a medida que se implementan el PDAO. El inicio de estas medidas está previsto para el año 2019, con el fin de generar una gradualidad en la aplicación de las mismas.

Para el caso del límite de emisión de industrias, pese a que los valores son muy bajos, el incremento de la concentración reducida debido al GEC se genera por la utilización de tasas de proyección del crecimiento de la economía, lo que se traduce en nuevas instalaciones industriales en la comuna.

Figura 11: Reducción de concentración diaria de MP_{2.5} para un episodio crítico



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

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2013)

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

5. Conclusiones

La comuna de Osorno evidencia una amplia superación de la norma diaria de $MP_{2,5}$, observándose valores de alrededor de 6 veces la normativa vigente, y de alrededor de 2 veces la norma anual de $MP_{2,5}$. Adicionalmente la norma anual y diaria de MP_{10} también es sobrepasada.

En esta zona, el mayor emisor de $MP_{2,5}$ corresponde al sector residencial, debido a la amplia utilización de leña para calefacción, dando cuenta de más de un 95% de las emisiones. Por esto, para dar cumplimiento a la norma de calidad, las medidas más relevantes del presente plan corresponden a este sector, aunque también incluye medidas para quemas, calderas industriales e institucionales, y asociadas a fuentes móviles.

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

Del análisis, se desprende que el beneficio social total del plan es de US\$ 390 millones de dólares en valor presente. Estos beneficios se concentran principalmente en la reducción de riesgos fatales, siendo alrededor de un 84% del beneficio total. El restante corresponde a ahorros en consumo de leña y a costos evitados en tratamientos de enfermedades. Estos beneficios resultan en gran parte de la aplicación de medidas en el sector residencial, que aporta el 98% de la reducción de concentración de $MP_{2,5}$.

Los beneficios económicos asociados a salud corresponden a MMUS\$ 1,4. El impacto de esta cifra sobre la población distribuida en quintiles representa un 15% de los ingresos mensuales para el quintil más bajo, mientras en el quintil de mayores ingresos este beneficio corresponde al 1% de sus ingresos mensuales.

Los costos totales se estiman en US\$ 62 millones de dólares. Las medidas de mejoramiento térmico tienen los menores costos medios, generando ahorros netos. Los demás sectores tienen un costo medio mayor, esto es, cada unidad de concentración reducida es más costosa. Los emisores son quienes deben financiar la mayor parte del plan, alcanzando un 74%, sin embargo, obtienen también ahorros y beneficios en salud que agregados derivan en beneficios netos. El Estado financia un 26% de los costos, otorgando subsidios de aislación térmica y de recambio de calefactores.

Respecto a la concentración alcanzada con el plan, la zona lograría salir de la saturación por norma diaria de $MP_{2,5}$ en el año 2024 y en el caso de la norma anual, se llegaría a niveles de concentración por debajo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2019.

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 solo como un antecedente más para la toma de decisiones, la cual debe incorporar otros antecedentes adicionales. 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

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, 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.

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.

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 (millones de pesos)

		<i>Valor unitario (CLP)</i>	<i>Valor Subsidio (CLP)</i>	<i>Cantidad al año</i>	<i>MM CLP/año</i>	<i>VP Costo (MM CLP)</i>	
Recambio artefactos cumple norma	a	359.337	323.403	1.200	388	1.635	*6.000 recambios al año por 5 años
Recambio artefactos pellet	a	1.023.066	920.759	300	276	1.164	*1.500 recambios al año por 5 años
Recambio Cocinas	de	409.180	368.262	1.125	414	2.573	*9000 recambios al año por 8 años
Aislación Térmica viviendas	de	3.597.398	2.338.309	1.100	3.036	22.345	*10.000 subsidios al año por 10 años a viviendas con avalúo < a 650 UF y 1.000 subsidios por 3 años para viviendas con avalúo ≥650 y <2000 UF
TOTAL					4.205	28.095	

Fuente: Elaboración propia

Supuestos: Valor UF de 23183, Valor equipo pellet de 44.13 UF, Valor equipo cumple norma de 15.5 UF, costo chatarrización de 0.517 UF. El valor para recambio de cocinas considera también el costo de una cocina a gas en el 37% de los casos, de 5 UF. El porcentaje subsidiado corresponde a un 75% en caso de equipos cumple norma y de 90% en caso de pellets. El subsidio a la aislación térmica se considera de un 100% para viviendas PPPF 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

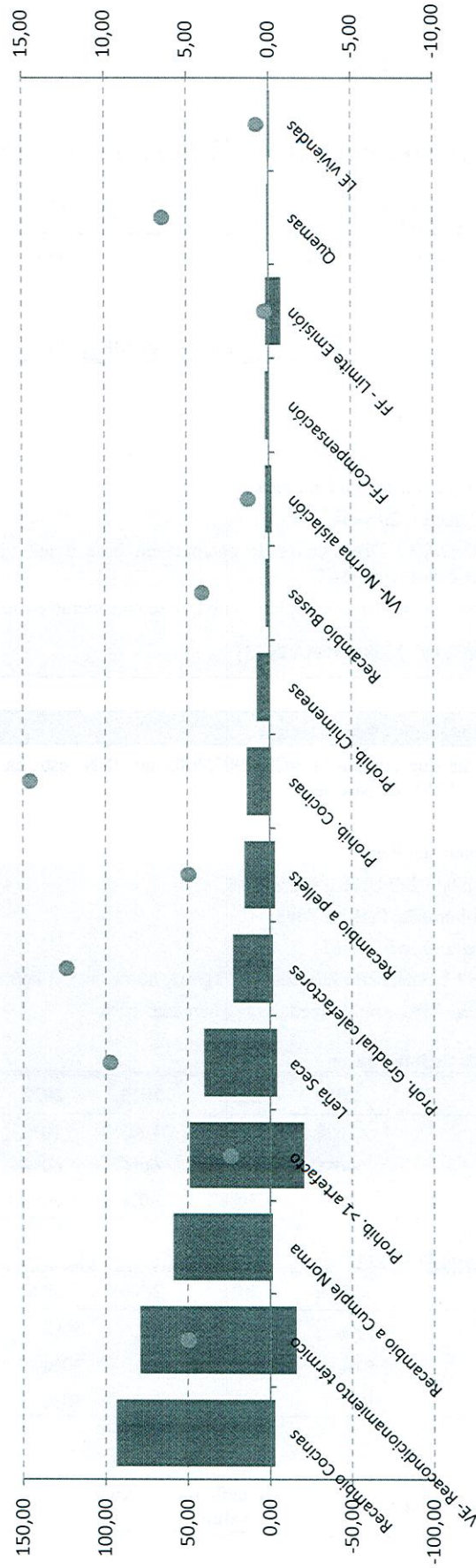
	Costos Netos		Variables		Costos Inversión		Beneficios Salud	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total	Razón B/C
	Privado	Estado	Estado	Privado	Estado	Total					
Leña Seca	4,10	0,00	0,00	0,05	0,00	36,09	40,23	4,14	40,23	4,14	9,71
LE viviendas	-0,23	0,00	0,00	0,95	0,00	-0,27	0,44	0,95	0,67	0,95	0,71
Prohib. Gradual calefactores	0,33	0,00	0,00	1,48	0,00	20,55	22,36	1,81	22,36	1,81	12,35
FF - Limite Emisión	7,49	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,72	1,77	7,49	1,77	7,49	0,24
Recambio Cocinas	-12,93	0,00	0,00	0,29	2,62	90,61	80,59	2,91	93,52	2,91	32,14
Recambio Buses	-0,39	0,00	0,00	0,00	0,55	1,69	1,84	0,55	2,23	0,55	4,08
Recambio a Cumple Norma	-2,54	0,00	0,00	0,15	1,32	57,33	56,26	1,47	58,80	1,47	40,04
Recambio a pellets	1,79	0,00	0,00	0,13	1,19	12,25	15,36	3,11	15,36	3,11	4,94
Prohib. Chimeneas	-0,98	0,00	0,00	0,37	0,00	7,33	6,72	0,37	7,70	0,37	20,98
Prohib. >1 artefacto	17,69	0,00	0,00	3,00	0,00	28,31	49,00	20,69	49,00	20,69	2,37
Prohib. Cocinas	-2,64	0,00	0,00	0,94	0,00	12,77	11,08	0,94	13,71	0,94	14,56
VE- Reacondicionamiento térmico	-27,14	0,00	0,00	5,57	10,34	63,10	51,87	15,90	79,01	15,90	4,97
VN- Norma aislación	-1,28	0,00	0,00	1,77	0,00	0,45	0,95	1,77	2,22	1,77	1,25
Quemas	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	1,02	0,16	1,02	0,16	6,46
FF-Compensación	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	2,17	0,11	2,17	0,11	20,19
Total	-16,47	0,00	0,00	14,70	16,01	327,42	341,65	62,37	389,79	62,37	6,25

Fuente: Elaboración propia.

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.

Figura 12: Resultados por medida para MP_{2,5}

VAN = 327 MM USD, B/C = 6



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

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.		
	<u>Potencia (kW)</u>	<u>Emisión de MP (gr/h)</u>	<u>Eficiencia (%)</u>
	Menor o igual a 8	2,5	70
	Mayor a 8 y menor o igual a 14	3,5	70
	Mayor a 14	4,5	70
	Nota: Valores de normativa consideran leña seca.		
Supuestos	Vida útil equipos de calefactor: 20 años Se puede abastecer 10m2/kW. Distribución de potencia en base a m2 viviendas, en que m2 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)		

Uso y mejoramiento de la calidad de la leña							
Descripción	Comercialización de leña que cumpla la NCh 2907/2005 del INN, esto es, con un contenido de humedad menor o igual al 25% en base seca						
	Plazo: Entrada en Vigencia del Plan.						
Supuestos	Precio de la leña (\$/Kg): 0.00227 UF/Kg = 1 UF/m3						
	Costo secado leña semi-húmeda: 0.182 UF/m3						
	Costo secado leña húmeda: 0.363 UF/m3						
	Densidad Leña: Seca 411 kg/m3, semi-húmeda: 432 kg/m3, húmeda: 453 kg/m3						
	Humedad de la leña: seca: 25%, semi-húmeda: 30%, húmeda: 40%						
	Humedad considerada de línea base:						
		2016	2018	2020	2022	2024	2025
	Seca	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	Semi húmeda	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	Húmeda	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Humedad alcanzada con la medida:							
	2016	2018	2020	2022	2024	2025	
Seca	10%	25%	30%	40%	50%	60%	
Semi húmeda	50%	35%	30%	30%	30%	30%	
Húmeda	40%	40%	40%	30%	20%	10%	
Resultados	Reducción MP_{2,5}	Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe		

	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}
	Leña Seca	1159,26	3,70	40,23	0,05	4,10	0,32
	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	(Universidad De Chile 2009; MMA 2013a)						

Prohibición al uso de Calefactores																																																							
Descripción	<p>Se prohíbe el uso de calefactores a leña del tipo <u>salamandras, chimeneas, estufas de combustión simple y cualquier artefacto que no cumpla con el Norma de emisión para calefactores</u> nuevos de combustión a biomasa, D.S. N° 39, de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, dentro del límite urbano de la zona saturada. En el plazo de 5 años desde publicado el PDA en el Diario oficial.</p> <p>Prohíbe el uso simultáneo de más de un artefacto a leña, sea este calefactor o cocina, por vivienda dentro del área urbana de Osorno. Desde la entrada en vigencia del PDAO</p> <p>Se prohíbe el uso de <u>cocinas a leña</u> dentro del límite urbano de la zona saturada. En el plazo de 8 años luego de publicado el PDA en el Diario Oficial</p>																																																						
Supuestos	<p>Cumplimiento: Chimeneas: 100%. Calefactores hechizos y Salamandras: 80% Calefactores no cumple norma: 80%</p> <p>Valor calefactor</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doble Combustion 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> <p>Vida útil equipos de calefacción: 20 años</p>									Doble Combustion 2.5 g/h	15,5 UF/eq	Pellets	44,13 UF/eq	Cocina a Gas Natural	5 UF/eq																																								
Doble Combustion 2.5 g/h	15,5 UF/eq																																																						
Pellets	44,13 UF/eq																																																						
Cocina a Gas Natural	5 UF/eq																																																						
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP_{2,5}</th> <th>Benefici os Salud</th> <th>Ahorro Neto</th> <th>Inversión</th> <th colspan="2">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 colspan="2">USD/µg/m³ MP_{2,5}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proh. Gradual calefactores</td> <td>358,69</td> <td>1,15</td> <td>22,36</td> <td>1,48</td> <td>0,33</td> <td colspan="2">0,75</td> </tr> <tr> <td>Proh. Chimeneas</td> <td>45,32</td> <td>0,14</td> <td>6,72</td> <td>0,37</td> <td>-0,98</td> <td colspan="2">0,00</td> </tr> <tr> <td>Uso simultáneo de más de un calefactor por vivienda</td> <td>136,89</td> <td>0,44</td> <td>49,00</td> <td>3,00</td> <td>17,69</td> <td colspan="2">6,63</td> </tr> <tr> <td>Prohibición del uso de cocinas a leña</td> <td>900,46</td> <td>2,88</td> <td>11,08</td> <td>0,94</td> <td>-2,64</td> <td colspan="2">-0,55</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>								Reducción MP _{2,5}		Benefici os Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe		Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}		Proh. Gradual calefactores	358,69	1,15	22,36	1,48	0,33	0,75		Proh. Chimeneas	45,32	0,14	6,72	0,37	-0,98	0,00		Uso simultáneo de más de un calefactor por vivienda	136,89	0,44	49,00	3,00	17,69	6,63		Prohibición del uso de cocinas a leña	900,46	2,88	11,08	0,94	-2,64	-0,55	
	Reducción MP _{2,5}		Benefici os Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																																																	
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}																																																	
Proh. Gradual calefactores	358,69	1,15	22,36	1,48	0,33	0,75																																																	
Proh. Chimeneas	45,32	0,14	6,72	0,37	-0,98	0,00																																																	
Uso simultáneo de más de un calefactor por vivienda	136,89	0,44	49,00	3,00	17,69	6,63																																																	
Prohibición del uso de cocinas a leña	900,46	2,88	11,08	0,94	-2,64	-0,55																																																	
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)																																																						

Programa de recambio de artefactos a leña

Descripción	La SEREMI del Medio Ambiente de la Región de los Lagos ejecutará un programa de recambio voluntario de artefactos existentes (calefactores y cocinas) que combustionen leña o derivados de la madera Vigencia: Desde la publicación del plan.																																			
Supuestos	8.000 recambios de calefactores que cumplan la norma (D.S. N° 39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente), 2.000 recambios por calefactores a pellet, ambos durante los 5 primeros años del plan (2015-2020) y 10.000 recambio de cocinas durante los 8 primeros años del PDAO (2015-2023). Valor equipo cumple norma: 15.5 UF/eq 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 Recambios de cocina: un 37.4% considera incorporar un equipo que cumple norma y una cocina a gas. El porcentaje restante (62.6%) no considera instalación de una cocina a gas, dado que ya la posee. Copago beneficiario: 25% para equipos que cumplen norma y 10% para pellets..																																			
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP_{2,5}</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/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m³ MP_{2,5}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recambio a Cumple Norma</td> <td>932,64</td> <td>2,98</td> <td>56,26</td> <td>1,47</td> <td>-2,54</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>Recambio a pellets</td> <td>276,33</td> <td>0,88</td> <td>15,36</td> <td>1,32</td> <td>1,79</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>Recambio Cocinas</td> <td>1.859,18</td> <td>5,94</td> <td>80,59</td> <td>2,91</td> <td>-12,93</td> <td>-0,39</td> </tr> </tbody> </table> <p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP _{2,5}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}	Recambio a Cumple Norma	932,64	2,98	56,26	1,47	-2,54	0,07	Recambio a pellets	276,33	0,88	15,36	1,32	1,79	0,96	Recambio Cocinas	1.859,18	5,94	80,59	2,91	-12,93	-0,39
	Reducción MP _{2,5}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe																														
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}																														
Recambio a Cumple Norma	932,64	2,98	56,26	1,47	-2,54	0,07																														
Recambio a pellets	276,33	0,88	15,36	1,32	1,79	0,96																														
Recambio Cocinas	1.859,18	5,94	80,59	2,91	-12,93	-0,39																														
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)																																			

7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas

Subsidio al acondicionamiento térmico de viviendas existentes	
Descripción	La SEREMI de Vivienda y Urbanismo entregará al menos 1.000 subsidios anuales para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes bajo el Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF). Asimismo, entregara 333 subsidios anuales durante los tres primeros años desde la entrada en vigencia del PDAO, para viviendas existentes que no objeto del PPPF con un avalúo de hasta 2.000 UF. Se deberá dar cumplimiento al menos a los siguientes parámetros adicionales a la normativa vigente en la zona: <ul style="list-style-type: none"> - Transmitancia térmica para el Complejo de Muros Perimetrales con $U \leq 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre con $U \leq 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados con $U \leq 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas con $U \leq 0.2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Transmitancia térmica para ventanas con $U \leq 5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ - Sellado de infiltraciones de aire en puertas y ventanas.
Supuestos	Vida útil Aislación Térmica: 25 años.

	<p>Subsidios desde el año 2016 a 2025, con un total de 11.000 subsidios en 10 años. Vidriado simple con U de 5,8 W/m²K Costos: Se utilizaron los costos promedios calculados para el Plan de Descontaminación de Temuco y Padre las Casas. El costo promedio utilizado para el acondicionamiento térmico de viviendas nuevas es de 115,47 UF/vivienda. Se asume subsidio de 100% en viviendas PPPF y de 30% en viviendas que no son objeto del PPPF. No se evalúa sellado de infiltraciones, extracción de aire en baño y cocina ni superficie de ventanas por orientación..</p> <p>Línea base de subsidios:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>173</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: División de Calidad del Aire, MMA.</p>							Año	Cantidad	2009	64	2010	88	2011	150	2012	290	2013	173
Año	Cantidad																		
2009	64																		
2010	88																		
2011	150																		
2012	290																		
2013	173																		
		Reducción MP_{2,5}	Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe													
	Medida	Ton/año	µg/m³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m³ MP_{2,5}												
Resultados	Reacondicionamiento Térmico	1331,86	4,25	51,87	15,90	-27,14	-0,71												
	<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>																		
Referencias Bibliográficas	(MINVU 2007), (MMA 2013a), (GreenLabUC 2013)																		

Aislación térmica viviendas nuevas																											
	<p>Las viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de los siguientes estándares:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muro</th> <th>Piso Ventilado</th> <th>Ventanas</th> <th>Techumbre</th> <th>Puertas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> </tr> <tr> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>5,8</td> <td>0,33</td> <td>2,4</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>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 7 medidas a 50Pa. Las ventanas y puertas no deberán superar las 10 m³/h m² medidas a 100Pa. Plazo: 12 meses luego de publicado el PDA en el Diario Oficial</p>							Muro	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puertas	U	U	U	U	U	W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K	0,5	5,8	0,33	2,4	0,5
Muro	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puertas																							
U	U	U	U	U																							
W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K	W/m ² °K																							
0,5	5,8	0,33	2,4	0,5																							
	<p>Vida útil Aislación Térmica: 25 años. Supuesto: Vigente desde 2015</p>																										
Supuestos	<p>La restricción de superficie de ventanas por orientación no fue evaluada, debido a la falta de información de línea base. No se evalúan medidas de infiltraciones. Costos: Valores obtenidos en función de los costos generados para el Plan de Descontaminación de la Ciudad de Temuco y Padre Las Casas. El costo promedio utilizado para la aislación térmica de viviendas nuevas es de 77,20 Uf/vivienda</p>																										
Resultados		Reducción MP_{2,5}	Beneficios	Ahorro	Inversión	CMe																					

	Salud			Neto			
	Medida	Ton/año	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	MM USD	MM USD	MM USD	USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP _{2,5}
	Aislación térmica viviendas nuevas	22,41	0,07	0,95	1,77	-1,28	2,04
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	(MMA 2013), (GreenLabUC 2013)						

Límite de emisión viviendas nuevas							
Descripción	Toda vivienda nueva deberá acreditar que en la fase de operación no sobrepasará, el límite de emisión de 2,4 kg/año de MP _{2,5} . Plazo: 12 meses desde publicado el PDA en el Diario Oficial						
Supuestos de evaluación	La emisión de 2.4 kg/año de MP _{2,5} corresponde a una vivienda de 81 m ² (tipología 6 MINVU), con aislación térmica correspondiente Zona 6, sin termo panel, con una demanda de calor de 21,074 grados hora, nivel de hermeticidad igual a 1 ACH, utiliza calefactor de doble cámara de 1.5 g/h y leña seca con poder calorífico de 13.9 MJ/Kg. Costos: Ecuaciones de costos en función de ΔU .						
Resultados	Reducción MP _{2,5}			Beneficios Salud	Ahorro	Costo Total	CMe
	Medida	Ton/año	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	MM USD	MM USD	MM USD	USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP _{2,5}
	LE viviendas	9,83	0,03	0,44	0,95	-0,23	9
* Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.							
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013)						

7.3.3 Quemias Agrícolas, Forestales y Domiciliarias

Quemias agrícolas, forestales y domiciliarias							
Descripción	Se prohíbe el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal de la comuna de Los Lagos, desde el 1° de Abril hasta el 30 de Septiembre.						
Supuestos	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. La medida de restricción de superficies, se considera parte de la línea base, debido a que corresponde a una Exigencia de CONAF impuesta anteriormente al PDAO 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).						
Resultados	Reducción MP _{2,5}			Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe
	Medida	Ton/año	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	MM USD	MM USD	MM USD	USD/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP _{2,5}
	Quemias agrícolas	15,78	0,05	1,02	0,00	0,16	0,48
Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.							

	<p>CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. Las proyecciones consideran un 100% de cumplimiento, en el caso de la prohibición por mes se considera el uso de tecnología alternativa y no la postergación de la quema.</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>
Referencias Bibliográficas	CONAF, Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas, (INE 2012), (MMA 2011a), (Villena, Villena et al. 2007) (MMA 2013a)

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 272 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:								
	Potencia Térmica	MP (mg/Nm³)	Eficiencia (%)						
	< 75 kWt	50	≥90						
	Plazo: Fuentes existentes en un plazo de 48 meses y fuentes nuevas a partir de la publicación del PDA en el Diario Oficial.								
	Vigencia fuentes existentes: 2017, fuentes nuevas: 2016								
	Las fuentes nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para Material Particulado.								
			Límite Máximo de MP		Límite máximo SO ₂				
	Potencia Térmica	Caldera existente	Caldera nueva	Caldera Nueva	Caldera Existente				
				Desde año 1	Desde año 1	Desde año 4	Desde año 6	Desde año 8	
	≥ 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:								
	Contaminante	UF/ton	USD/Ton						
	MP _{2,5} *	6,4	220						
	SO _x **	84,6	2.898						
(*) Para MP _{2,5} se asume uso de precipitador electrostático húmedo. (**) Para SO _x se supone Desulfurizador de Gases de Salida.									
Resultados	Reducción MP_{2,5}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe			

	Medida	Ton/año	µg/m3	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2.5}
	Compensaciones	93.50	0.17	2,17	0,00	0.11	0.16
	Límite de Emisiones MP, NOx, SO2	0,24	0,14	1,77	0,00	7,49	13,83
<p>Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025. CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. Para el año 2015, la medida reduce 101.5 ton de MP, 49.11 ton de MP10, 13.74 ton de MP_{2.5} y 2,493 ton de SOx.</p>							
Referencias Bibliográficas	(USEPA 2010)						

7.3.5 Sector Transporte

Programa de renovación de buses																						
Descripción	Recambio de un mínimo de 100 buses en un período de 5 años, para la zona saturada																					
Supuestos de evaluación	Se considera un recambio de 20 buses anuales hasta el año 2020. Tasa de recambio natural de 4%. El estándar de entrada corresponde a buses Euro V, se asume una vida útil de 20 años Se considera un costo de chatarrización de 50 UF por bus, asumido por el estado. Se estima un monto subsidiado de 4.5 millones de pesos (~194 UF) por bus, y un costo de inversión para el privado igual a cero. Una antigüedad máxima de 15 años permitiría cumplir con la meta de reducir las emisiones de MP y NOx provenientes del transporte público en un 40% y 35% respectivamente, en un plazo de 7 años.																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP_{2,5}</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/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m³ MP_{2,5}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Transporte</td> <td>1,59</td> <td>0,10</td> <td>1,84</td> <td>0,55</td> <td>-0,39</td> <td>0,39</td> </tr> </tbody> </table>		Reducción MP _{2,5}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}	Transporte	1,59	0,10	1,84	0,55	-0,39	0,39
		Reducción MP _{2,5}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe															
	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD	USD/µg/m ³ MP _{2,5}															
	Transporte	1,59	0,10	1,84	0,55	-0,39	0,39															
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	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	Pre emergencia: En las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, de 18:00 a 06:00 horas, sólo se permitirá la emisión de humos visibles, durante un máximo de 15 minutos continuos en la operación de calefactores y cocinas a leña Emergencia: Dentro del límite urbano de la zona saturada, durante todo el día, sólo se permitirá la emisión de humos visibles, durante un máximo de 15 minutos continuos en la operación de calefactores y cocinas a leña																																	
Supuestos	Se asume un cumplimiento del 90%. Se asume que habrá una sustitución de los equipos de calefacción apagados, en un 50% por Kerosene y en un 50% por gas licuado. Para cocción son reemplazados por gas licuado. Para la línea base se considera que calefactores operan 270 días por año y cocinas 365 días por año.																																	
Resultados	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> <th>2020</th> <th>2021</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Preemergencia</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>844,02</td> <td>746,41</td> <td>463,60</td> <td>426,03</td> <td>385,34</td> <td>1,94</td> <td>2,01</td> </tr> <tr> <td>Emergencia</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>6752,16</td> <td>5971,30</td> <td>3708,77</td> <td>3408,28</td> <td>3082,68</td> <td>15,56</td> <td>16,09</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Preemergencia	0	0	0	844,02	746,41	463,60	426,03	385,34	1,94	2,01	Emergencia	0	0	0	6752,16	5971,30	3708,77	3408,28	3082,68	15,56	16,09
Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025																								
Preemergencia	0	0	0	844,02	746,41	463,60	426,03	385,34	1,94	2,01																								
Emergencia	0	0	0	6752,16	5971,30	3708,77	3408,28	3082,68	15,56	16,09																								
Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)																																	

Medidas Calderas GEC											
Descripción	<p>Pre emergencia: Paralización de las fuentes con emisiones mayores a 30 mg /m³N de material particulado y potencia térmica mayor a 75 kWt</p> <p>Emergencia: Paralización de las fuentes con emisiones mayores a 28 mg /m³N de material particulado y potencia térmica mayor a 75 kWt</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.										
Resultados	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio.										
	Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Preemergencia	0	0	0	99	105	111	118	124	132	140
	Emergencia	0	0	0	197	209	222	235	249	264	279
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
Emisiones conjunto de viviendas	Todo conjunto de viviendas nuevas deberá acreditar que en la etapa de operación, sus emisiones no superarán el límite de emisiones de 0,3 ton año.
Prohibición de artefactos	Prohibición de artefactos unitarios a leña en edificios residenciales.
Prohibición de artefactos	Todas las regulaciones destinadas a artefactos de uso comercial e institucional.
Educación Ambiental	Todas las medidas de capacitación y/o educación ambiental en el marco del PDAO
Control de emisiones de calderas de uso residencial, comercial e industrial	Eficiencia mayor o igual a un 90% de calderas cuya potencia sea menor a 75 kWt
	Eficiencia mayor o igual a un 90% en calderas automáticas que utilizan pellet o chips.
	Excepción Límite máximo de emisión de So ₂ , para calderas que ocupen combustible con un contenido de azufre menor o igual a 50 ppm (partes por millón)
	Excepción límite máximo de emisión de So ₂ , para calderas que demuestren una eficiencia térmica igual o mayor al 80%
Demanda energética	Programa de eficiencia energética en establecimientos localizados en la zona saturada (industrias, hoteles, centros turísticos, restaurantes, centros comerciales y educacionales entre otros)
	Programas a la cogeneración en industrias
Quemas	Quemas de hojas secas y todo tipo de residuo en la vía pública.
Transporte	Medidas de ordenamiento de transporte público.
	Implementación de 15 km de ciclovías.
GEC	Emisión de humos visibles por 15 minutos.
	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 de la ciudad de Osorno.

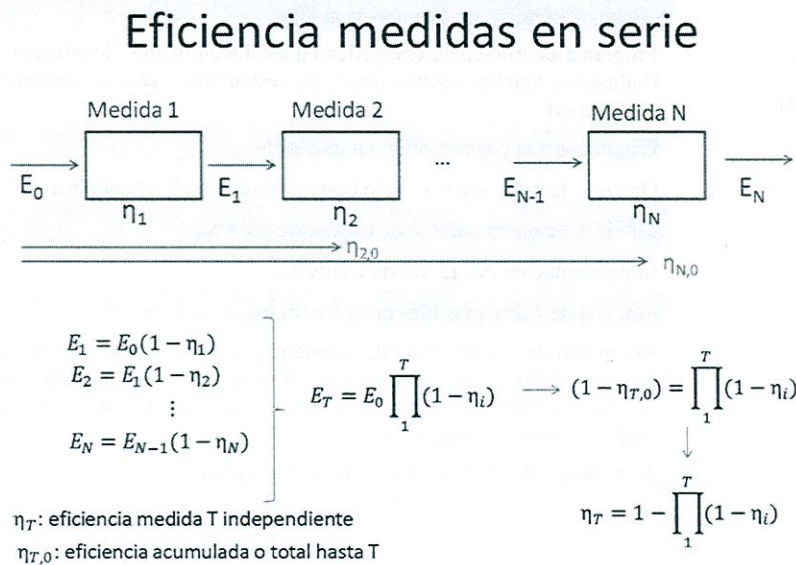
7.5 Metodología AGIES

7.5.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones

Se consideraron los efectos combinados o sinergias que poseen las medidas del 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 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:

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

Dónde:

- 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:

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

Dónde:

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:

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

Dónde:

$\Delta \text{Efecto}_{pj}$: 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 linealizar²⁴ la expresión anterior se obtiene:

²⁴ Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β es pequeño.

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

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

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

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

Dónde:

Beneficio_p: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso MP_{2,5}

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. Para el presente plan se considera parte de la línea base el plan de descontaminación por MP₁₀.

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_{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 $MP_{2,5}$

		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 de Osorno
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de zona saturada: Decreto Supremo N° 27 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Noviembre 2014
	Alcance geográfico	Comuna de Osorno
	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 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 _{2,5}	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro	Año 2025, MP _{2,5} : 24 [µg/m ³]
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2025: MP ₁₀ : 6,163 ton/año, MP _{2,5} : 5,946 ton/año
	Años de evaluación	2012-2030
Parámetros	Valor del dólar	508.6 pesos/dólar
	Valor de la UF	23,183 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	62
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	390
	Valor actual neto en MM USD	327