Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

División de Información y Economía Ambiental
Ministerio del Medio Ambiente

MEMORÁNDUM Nº198/2014

De : Sr. Rodrigo Pizarro Gariazzo
Jefe 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 Coyhaique"

Fecha : 21 de noviembre 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 para MP10 de la ciudad de Coyhaique".

Dicho documento se adjunta a este memo.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

RODRIGO PIZARRO GARIAZZO
JEFE DIVISIÓN DE INFORMACIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL

FDG/

c.c.: Archivo División Información y Economía Ambiental
Roberto Martinez, División de Calidad del Aire
Susana Figueroa Meza, SEREMI XI

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE COYHAIQUE POR MP_{10}

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis general del impacto económico y social (AGIES) del Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica para material particulado MP_{10} de la ciudad de Coyhaique y su zona circundante, 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 (DS N° 39/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un Análisis General del Impacto Económico y Social (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 muestra los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Coyhaique y su zona circundante (PDAC). Este tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas en el documento.

La comuna de Coyhaique posee concentraciones de contaminantes reportadas que superan ampliamente la norma de calidad primaria diaria y anual de MP_{10}. Este problema es originado principalmente por emisiones del sector residencial producto de la utilización de leña para satisfacer las necesidades de calefacción y cocción, aportando aproximadamente un 94% de las emisiones de este contaminante. Por ello, las medidas de reducción de emisiones del Anteproyecto del PDAC han sido diseñadas con un énfasis en dicho sector mediante (i) el mejoramiento térmico de viviendas, (ii) el recambio de equipos de calefacción y cocción por unos más eficientes, (iii) la mejora en las condiciones de humedad de leña consumida y (iv) la regulación al uso de artefactos que utilicen leña como combustible.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas cumplen con los objetivos de reducción de emisiones y de concentración de contaminantes para la norma diaria y anual de MP_{10} al año 2020[1].
- La reducción de emisiones atribuible a las medidas propuestas en el Anteproyecto de PDA genera los siguientes beneficios cuantificados: reducción de los casos de mortalidad, reducción en los costos de salud y reducciones en el consumo de combustible. Se valorizan estos beneficios en US$143 millones[2], considerando un horizonte de evaluación de 10 años. Es importante destacar que el 78% de estos beneficios son producto de la disminución de los casos de mortalidad.
- Del mismo modo, se estiman costos asociados a la implementación del Plan que 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. Se estiman estos costos en US$29 millones, considerando un horizonte de evaluación de 10 años.
- La valoración de los beneficios y costos del PDA indica que la implementación es altamente rentable desde la perspectiva social. Los beneficios netos se estiman en US$114 millones durante el período de vigencia del plan (10 años), lo que constituye una razón beneficio-costo[3] de 5,0.

Adicionalmente, el AGIES se presenta un análisis de los efectos distributivos de los beneficios por reducción de gastos en salud en la población (US$810 mil al año 2025, 2% del total) por nivel socioeconómico. En efecto, mientras que en el quintil de mayor ingreso los beneficios[4] representan el 1% de su ingreso mensual, el quintil de menor ingreso percibe beneficios que alcanzan el 14%. Lo anterior refleja que el Anteproyecto de PDA para Coyhaique tiene consecuencias importantes desde la perspectiva de la protección de salud de la población y la vida, además de ser consistente con los compromisos del Ministerio del Medio Ambiente con la equidad ambiental en la ciudadanía.

---

[1] La norma de concentración anual se cumpliría el 2018 y la diaria el 2020.

[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 netos: Beneficios menos costos; Razón beneficio-costo: Beneficios dividido en costos.

[4] Beneficios por gastos en salud anuales por hogar.

ÍNDICE

1. RESUMEN **2**

2. ANTECEDENTES **4**

2.1 CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO 4
2.2 EMISIONES EN LA COMUNA DE COYHAIQUE 5
2.3 MEDIDAS EVALUADAS 6

3. METODOLOGÍA **6**

4. RESULTADOS **9**

4.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE 9
4.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES Y DE CONCENTRACIONES 10
4.3 REDUCCIÓN DE EFECTOS A LA SALUD: CASOS EVITADOS 11
4.4 INDICADORES ECONÓMICOS 11
4.5 DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS POR NIVEL SOCIOECONÓMICO 15
4.6 EPISODIOS CRÍTICOS 15

5. CONCLUSIONES **18**

6. REFERENCIAS **20**

7. ANEXOS **21**

7.1 INVERSIÓN DEL ESTADO 21
7.2 RESULTADOS POR MEDIDA 22
7.3 FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS 24
7.3.1 Referidas al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos 24
7.3.2 Mejoramiento térmico de las viviendas 26
7.3.3 Quemas agrícolas, forestales y domiciliarias 28
7.3.4 Calderas de uso residencial, industrial y comercial 29
7.3.5 Gestión de episodios críticos 30
7.4 MEDIDAS NO EVALUADAS 31
7.5 METODOLOGÍA AGIES 32
7.5.1 Sinergias de medidas de reducción de emisiones 32
7.5.2 Beneficios en salud 32
7.5.3 Evaluación de costos 35
7.6 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS 36
7.7 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO 36
7.8 FICHA DEL AGIES 37

2. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 33 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Saturada[5] por Material Particulado Grueso MP_{10}[6], como concentración diaria y anual, a la ciudad de Coyhaique y su zona circundante.

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 ciudad de Coyhaique, en adelante PDAC[7]. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración de MP_{10}por debajo de los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

La ciudad de Coyhaique se encuentra ubicada en la región de Aysén, posee una población estimada para el año 2015 de 61.020 habitantes[8], la cual se beneficiará directamente por la aplicación del PDAC, específicamente la población del área urbana en donde se presentan los mayores niveles de contaminación, agravados durante los meses de invierno. De este modo, la meta del plan es cumplir las normas de calidad diaria y anual para MP_{10}.

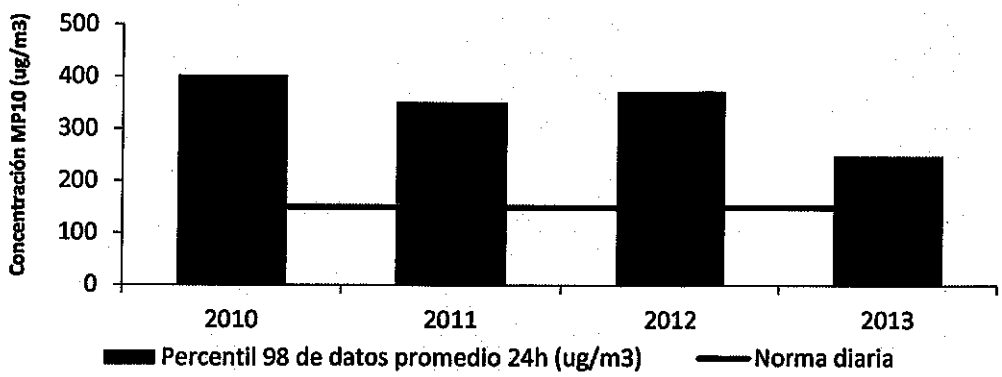
2.1 Concentración de material particulado

A continuación se presentan los datos de concentración monitoreados en la estación Coyhaique 1 y validada por el Ministerio del Medio Ambiente. Los valores de concentraciones diarias y anuales para MP_{10} de los años 2010 a 2013, evidencian para todos los años la superación de las normas.

Se puede concluir del análisis que existe una superación del 70% y 135% (es decir, más del doble) de la norma anual y la diaria respectivamente. Las razones de los niveles de calidad de MP_{10} monitoreados en la zona son atribuibles a las importantes emisiones directas de este contaminante hacia la atmósfera, materia de la siguiente sección.

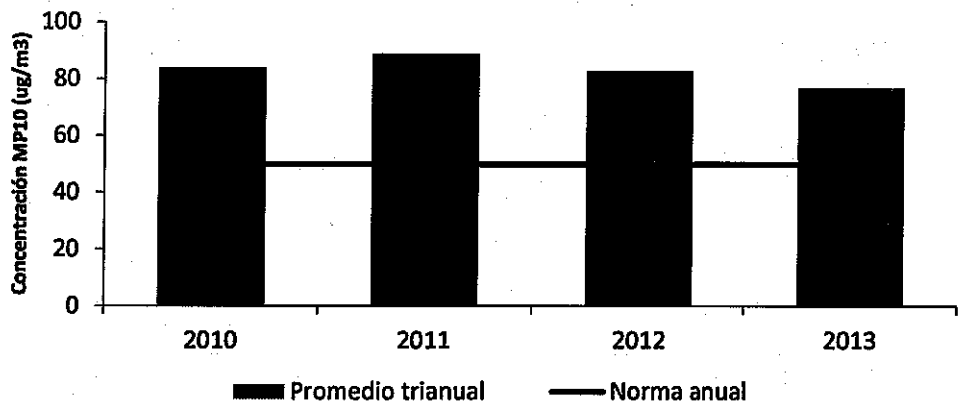
[5] Zona Saturada: Aquella en la que una o más normas de calidad ambiental se encuentra superada.
[6] La normativa para MP_{10}, corresponde al D.S 59/1998del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica, que establece una concentración anual máxima de 50 mg/m3N y una concentración diaria de 150 mg/m3N.
[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.

Figura 1: Concentración diaria de MP_{10}



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

Figura 2: Concentración anual de MP_{10}



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

2.2 Emisiones en la comuna de Coyhaique

En la comuna de Coyhaique, el mayor emisor corresponde al sector residencial, que para el caso de MP_{10} aporta un 94% de las emisiones producto de la combustión a biomasa con fines de calefacción y cocción. La Tabla 1 presenta el inventario de emisiones para la comuna.

Tabla 1: Inventario de Emisiones año 2008 Coyhaique.

	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NOx	COV	SOx
Residencial	7,184	6,982	77,861	441	48,164	66
Grandes consumidores	401	389	2,917	33	2,591	16
Fuente móviles	5		456	17	36	162
Quemas agrícolas y forestales	38	36	315	8	25	1
Total (ton/año)	**7,628**	**7,407**	**81,549**	**499**	**50,815**	**245**

Fuente: Análisis de emisiones atmosféricas en Coyhaique, EnviroModeling, 2009.

2.3 Medidas evaluadas

En la Tabla 2 se muestran las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación del presente AGIES. Mayor detalle sobre las medidas se presenta en la sección 7.2 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	Recambio de calefactores a cumple norma
	Recambio a calefactores a pellet
	Prohibición de chimeneas
	Prohibición gradual de calefactores
	Leña seca
Mejoramiento Térmico de las viviendas	Subsidios para Acondicionamiento Térmico de las viviendas existentes
	Aislación Térmica viviendas nuevas
Quemas	Prohibición quemas con restricciones mensuales
Fuentes Fijas	Límite de emisión para MP
GEC	GEC Residencial
	GEC Calderas

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.

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 (Ver (Boardman, Greenberg 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 continuación[9].

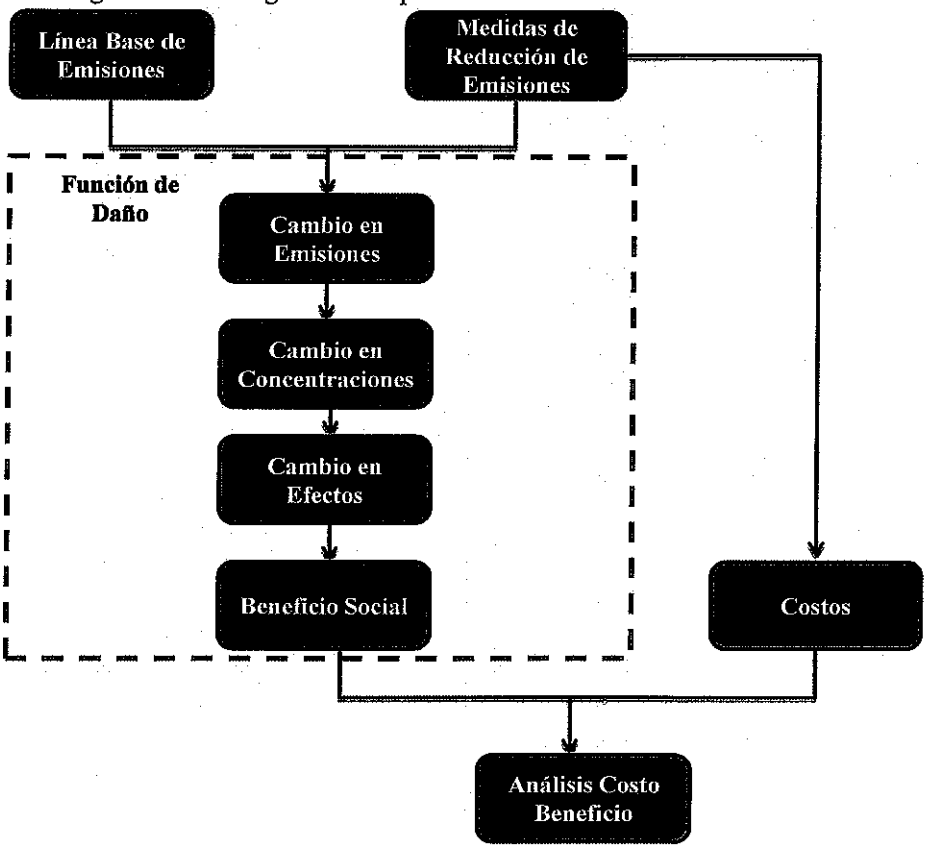
El AGIES corresponde a una secuencia de análisis o modelos que permite relacionar cambios en las emisiones (asociado a la eficiencia de las medidas de reducción) de línea base con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el modelo integra una sección de emisiones, un modelo de emisión-

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

calidad, modelo de concentración-respuesta basado en estudios epidemiológicos[10] del MP10 y un modelo económico de valorización. Paralelamente se integra la información de los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el análisis costo-beneficio.

Es importante mencionar que las medidas del sector residencial fueron modeladas considerando las sinergias existentes entre ellas, producto de que a medidas que se aplican de forma secuencial, la reducción de emisiones de cada una va disminuyendo dado que son aplicadas sobre una base menor de emisiones[11].

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



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

Los beneficios valorizados asociados a las medidas del plan corresponden a impactos en la salud de la población expuesta, producto de 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.

[10] 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..

[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 $1-(1-0{,}7)\cdot(1-0{,}8)=0{,}94$.

Por otro lado, no han sido evaluados beneficios 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 cobeneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*[12].

En relación a los costos, se incorporan todo lo relacionado a inversión y costos de operación, así como subsidios y costos de monitoreo y fiscalización.

Es importante mencionar que existen otras consideraciones adicionales a la efectividad económica, por lo que la decisión con respecto a la idoneidad de la política pública ambiental debe considerar este análisis sin trasformar este criterio como el único para su aprobación (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Por ello, estos resultados son tan solo un antecedente más para la toma de decisiones.

[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.

4. Resultados

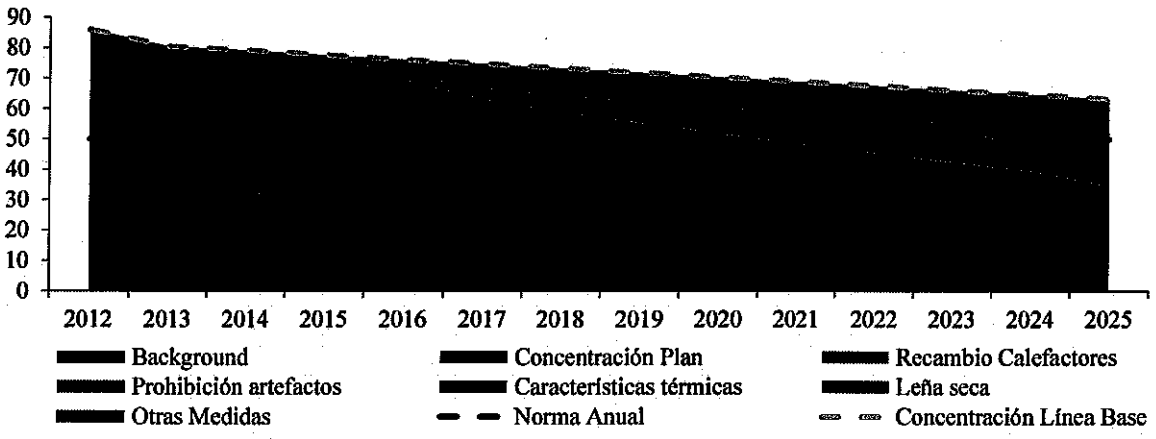
En esta sección se presentan los resultados de las reducciones de emisiones asociadas al plan y las disminuciones en concentración atmosférica correspondientes. También se calculan los costos de implementación, ahorros en combustible y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración,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

Para el caso de las reducciones en concentraciones que generan las medidas de este plan, se presentaran los resultados de MP_{10} con la finalidad de mostrar el grado de cumplimiento del plan dentro del plazo establecido.

4.1 Efectos en calidad del aire

Las siguientes figuras (Figura 4 y Figura 5), muestran la reducción estimada de concentración atmosférica deMP_{10}en su métrica anual y diaria para cada medida evaluada, de modo de reflejar la preponderancia de cada una de ellas en el objetivo de alcanzar las normas de calidad.

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

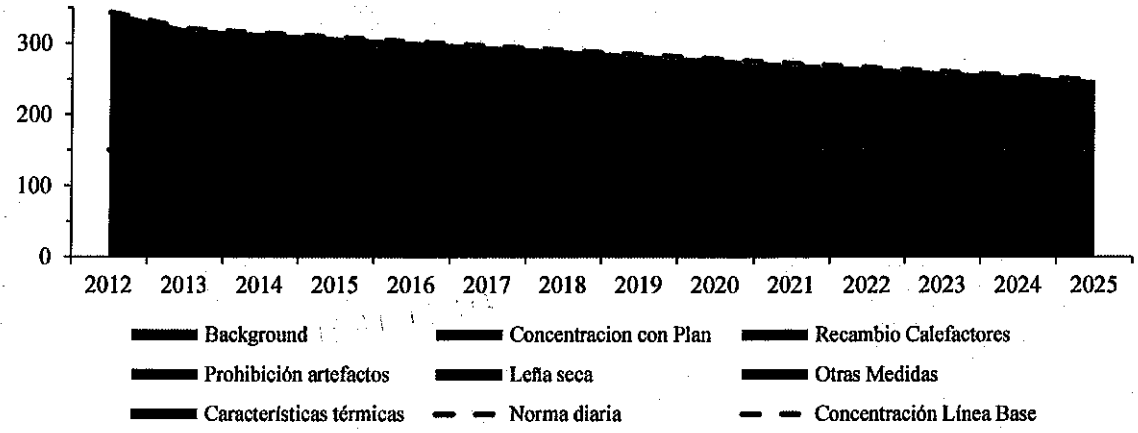


Otras medidas incluye: prohibición de quemas, límite de emisión calderas.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior se desprende que a partir del año 2018 se cumple ampliamente la norma anual de MP_{10}, llegando a una concentración de 24 $\mu g/m^3$ para el año 2025. Los principales aportes en la reducción de concentración se deben a recambio de calefactores, mejoras en características térmicas y mayor uso de leña seca.

Figura 5: Evolución de concentración diaria de MP_{10} [$\mu g/m^3$], para línea base y reducción medidas.



Otras medidas incluye: prohibición de quemas y límite de emisión calderas.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se estima que la norma diaria para MP_{10} podría cumplirse a partir del año 2020, para alcanzar el año 2025 una concentración de 84,1 $\mu g/m^3N$, logrando los objetivos establecidos en el plan. Es importante considerar que la entrada en vigencia del plan se supuso para el año 2016 por lo que las medidas se modelan desde el año 2016 al año 2025.

Para un 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_{10} de línea base asociadas a los sectores Residencial, Quemas, Industria, Transporte y Fugitivas, así como las reducciones para el año 2025 derivadas de la implementación de las medidas del plan para dichos sectores, para aquellos que cuentan con medidas.

Tabla 3: Reducción de emisiones y concentraciones de MP_{10} con respecto a la línea base, año 2025.

Sector	Línea Base 2025		Δ Año 2025		Reducción Sector	Reducción Total
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m3]	Δ Emisiones [Ton/año]	Δ Conc. [µg/m3]	Δ Conc. [µg/m3]	Δ Conc. [µg/m3]
Residencial	5.717	57,9	3.865	39	68%	100%
Quemas	32	0,3	10,0	0	32%	0%
Industria	117	1,2	0,02	0	0%	0%
Transporte	7	0,1	0,00	0	0%	0%
Fugitivas	380	3,8	0,00	0	0%	0%
Total	**6.252**	**63**	**3.875**	**39**	**62%**	**100%**

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

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas del sector Residencial reducen en conjunto 3.865 ton/año para el año 2025, correspondiendo a un 99,7% de la reducción total de emisiones del plan. Esto se explica

principalmente por las medidas[13] asociadas a mejoras a características térmicas de la vivienda, recambio de calefactores y leña seca, con participaciones de 39%, 27% y 26%, respectivamente, en relación al total de emisiones reducidas.

El sector Quemas presenta un importante aporte en reducción de emisiones en relación al su propio sector, sin embargo las emisiones totales de este sector representan una parte muy pequeña del inventario de la zona por lo que el aporte en las reducciones totales es marginal.

En el caso de Industria su reducción de emisiones alcanza 0,02% en relación al sector, mientras que los sectores de Transporte y Fuentes Fugitivas, no presentan medidas.

4.3 Reducción de efectos a la salud: casos evitados

A continuación se muestra el número de casos evitados por tipo de evento para el año 2025 debido a la menor concentración esperada de $MP_{2,5}$[14]. A su vez, los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de Anexos.

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

Evento	Tipo	Casos evitados (p50, IC 90%)	
Mortalidad	*Largo Plazo*	32	(21 - 47)
Admisiones hospitalarias	*Asma*	1	(1 - 2)
	Cardiovascular	14	(11 - 17)
	Respiratorias crónicas	4	(0 - 10)
	Neumonía	11	(5 - 17)
Visitas Salas de Emergencia	*Asma*	1.486	(486 – 2.487)
Productividad perdida	*Días laborales*	8.822	(7.852 – 9.581)
	Días de actividad restringida	38.267	(36.379 – 40.783)
	Días de actividad restringida menor	73.986	(64.305 – 78.650)

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar los casos evitados de mortalidad, los que se estiman en 32 para el año 2025 y en 231 acumulados entre el período 2016 y 2025.

4.4 Indicadores económicos

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a la metodología establecida en las secciones 3 y 7.5 y según los supuestos indicados en la sección 7.3. Estos resultados se

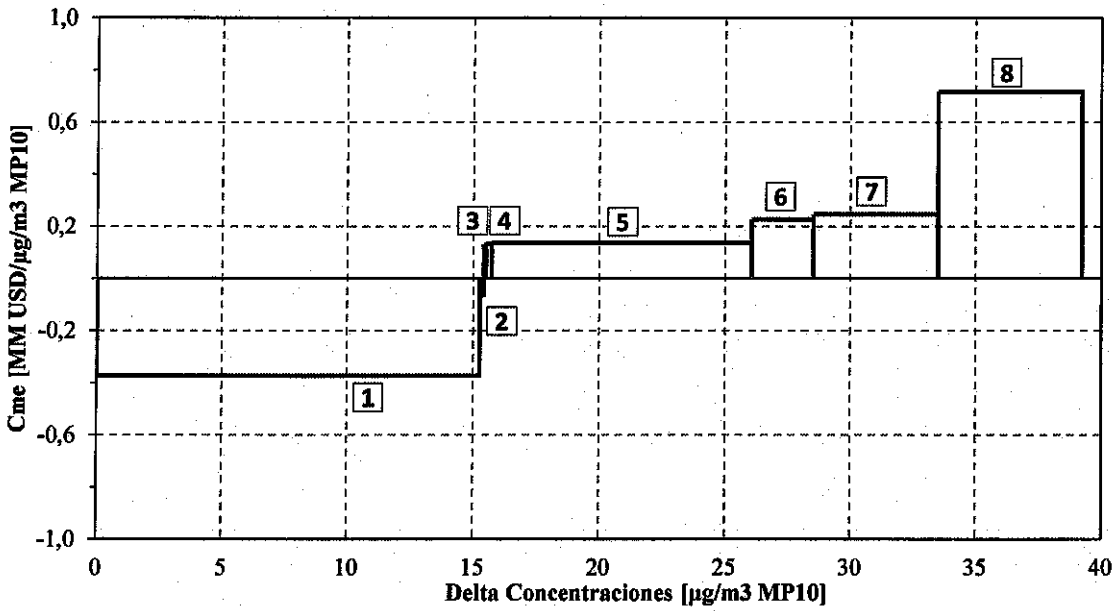
[13] Para mayor detalle sobre medidas ver sus fichas en anexos.

[14] Las funciones dosis-respuesta que relacionan la concentración ambiental con la respuesta estudiada se relaciona con $MP_{2,5}$, por lo que se transformaron las concentraciones ambientales de MP_{10} a su fracción más fina.

presentan según su costo medio, en millones de dólares por $\mu g/m^3$ de MP_{10} reducido. Este costo considera la inversión realizada y el diferencial de costos de operación y mantención[15].

Se puede observar en
Figura 6 que el reacondicionamiento térmico de las viviendas, corresponde a la medida más costo-efectiva y eficiente[16], 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 concentración, aportando alrededor de un 39% a la reducción del plan al año 2025.

Figura 6: Costo Medio de medidas [MM USD/$\mu g/m^3$ de MP_{10}], año 2025*



Medidas: 1. Vivienda Existente-Reacondicionamiento térmico. 2. Prohibición de chimeneas. 3. Quemas. 4. Vivienda Nueva- Norma aislación. 5. Leña Seca. 6. Prohibición gradual calefactores. 7. Recambio a Cumple Norma. 8. Recambio a pellets.

* 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:**. 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.

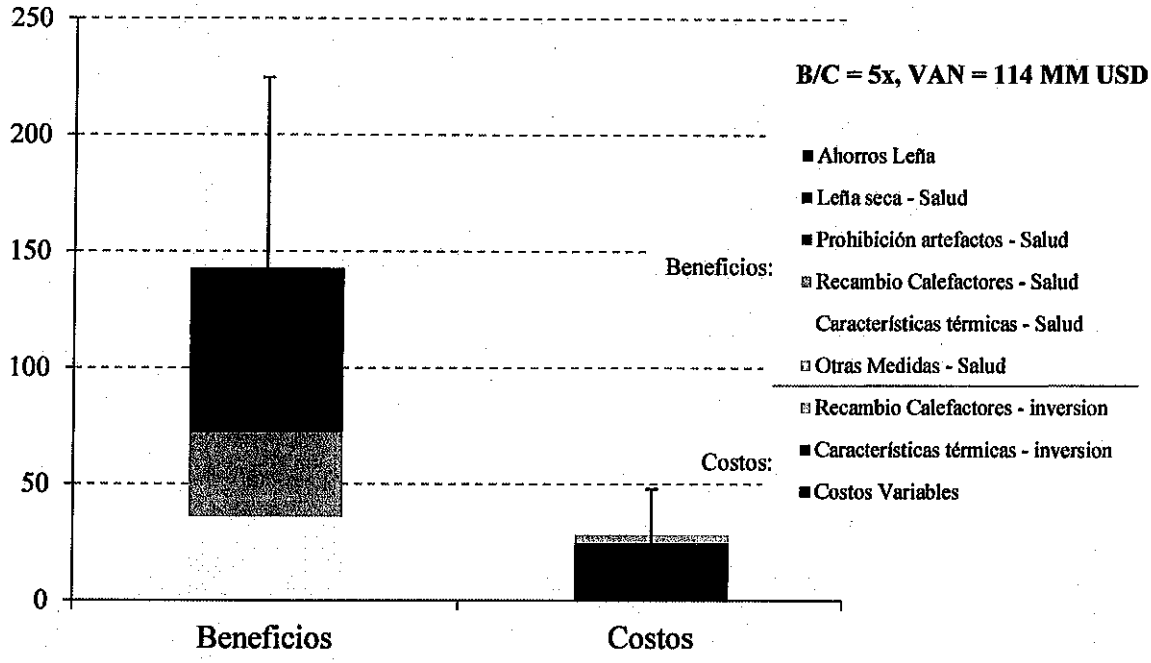
Fuente: Elaboración propia en base a (GreenLabUC 2013), (MMA 2013)

La medida de leña seca es altamente efectiva en la reducción de concentración, pues afecta a todo el parque de equipos a leña, alcanzando una reducción del 26% de la reducción del plan, para el año 2025 y posee costos muy bajos de implementación. En esta misma línea, las medidas enfocadas en el parque de equipos de calefacción y cocción dan cuenta de una reducción conjunta de un 34% del total de reducciones para el mismo año.

[15] 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.
[16] Utilizando datos del Ministerio del Medio Ambiente, 2014.

Por otro lado, la Figura 7 y Figura 8 presentan en valor presente 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 7: Valor presente de beneficios, costos, beneficio neto y razón B/C (MMUSD)*



* El valor de la reducción de riesgos fatales (valor de la vida estadística) sigue una distribución triangular con mediana de 14,910 UF al año 2014, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF[17]. 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.

Fuente: Elaboración propia.

El beneficio social neto es de US$114 millones de dólares para el periodo de evaluación, con beneficios cercanos a 5 veces los costos. Se puede observar que los beneficios en salud asociados a las distintas medidas evaluadas, dan cuenta del 78% de los beneficios del plan, destacando el aporte de las medidas de características térmicas de la vivienda, recambio de calefactores y leña seca, ya que implican las mayores reducciones de concentraciones.

A su vez, dentro de los beneficios en salud, la reducción de riesgos fatales refleja cerca de un 97% de los beneficios en salud, mientras que el resto se divide en los costos evitados en el tratamiento de enfermedades y productividad perdida.

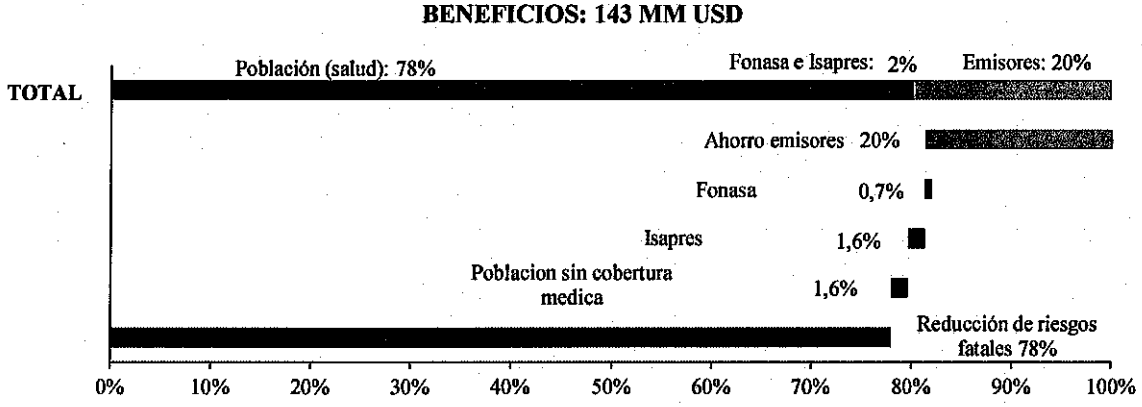
Cabe destacar que los mayores aportes en beneficios en salud vienen dados por la medida leña seca, debido a que es una medida que ingresa con fuerza los años 2017 y 2018, aumentando gradualmente en los siguientes años de plan, por lo que el valor presente de los

[17]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.

beneficios asociados a sus reducciones son mayores a otras medidas como reacondicionamiento térmico que se aplica linealmente a lo largo del plan.

Se determinó que el costo total del plan corresponde a US$29 millones de dólares para el período de evaluación, donde los subsidios de aislación térmica dan cuenta del 32% de estos costos debido al número de subsidios y al alto costo de cada uno. Sin embargo son los costos variables los que presentan mayor proporción de los totales con un 55% 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 por meses.

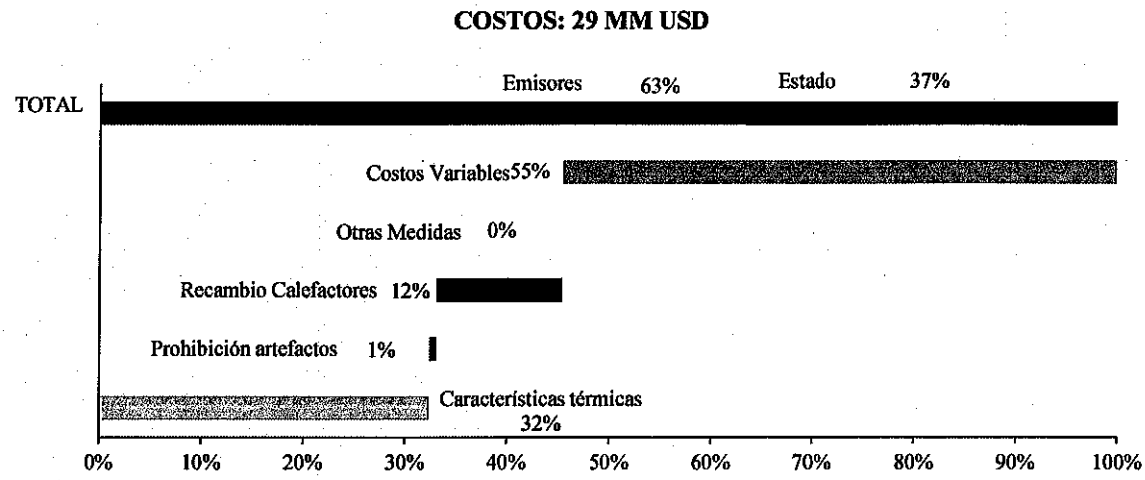
Figura 8: Distribución de beneficios



Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 8 se desprende que gran parte de los beneficios se asocian a la población, debido a mortalidad evitada, 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 entre ambos de casi un 98% de los beneficios.

Figura 9: Distribución de costos



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los costos, el estado financia un 37%, por concepto de subsidio a los recambios de calefactores y subsidios de aislación térmica. Por su parte, los emisores

financian el 63% restante, sin embargo, al contrastar con los beneficios que derivan del plan, se obtiene un beneficio neto positivo.

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$ 810.000, donde el 68% corresponde a Fonasa, 19% otros (FFAA y de Orden), 8% a particulares, y 6% 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 alrededor de un 20%.

Tabla 5: Distribución de beneficios por quintil.

Quintil	Valor (MM US$)					
	Fonasa	Isapre	Otros	Particular	Total	**Distribución**
i	134	1	3	10	147	**18%**
ii	126	3	16	11	156	**19%**
iii	119	6	24	15	164	**20%**
iv	103	8	50	13	173	**21%**
v	65	30	60	14	170	**21%**
Total	**547**	**48**	**154**	**62**	**810**	**100%**

Fuente: Elaboración propia en base a CASEN 2011

Los beneficios anuales para los hogares representan en promedio US$47, correspondiente a un 8% del ingreso promedio mensual[18] de la comuna, sin embargo, el impacto de los beneficios varía considerablemente de acuerdo a cada quintil. En efecto, mientras en el quintil de mayores ingresos es cercano al 1% de los ingresos mensuales, en el quintil de menores ingresos representa en torno a 14%. De esta manera se puede concluir que el Anteproyecto de PDAC, 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.

4.6 Episodios críticos

El AGIES también analiza las medidas orientadas a la gestión de episodios críticos en el horizonte de evaluación del análisis. En el caso del presente plan de descontaminación, las medidas establecidas para episodios críticos que implican reducción de emisiones corresponden a la prohibición de uso 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).

[18] El ingreso mensual promedio de la Comuna de Coyhaique equivale a US$554 (En base a Casen 2011 y actualizado a septiembre de 2014).

Los niveles que originan situaciones de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental para MP_{10} se establecen en el D.S. N°20 del año 2013 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma primaria de calidad ambiental para dicho contaminante, y se detallan en la Tabla 6.

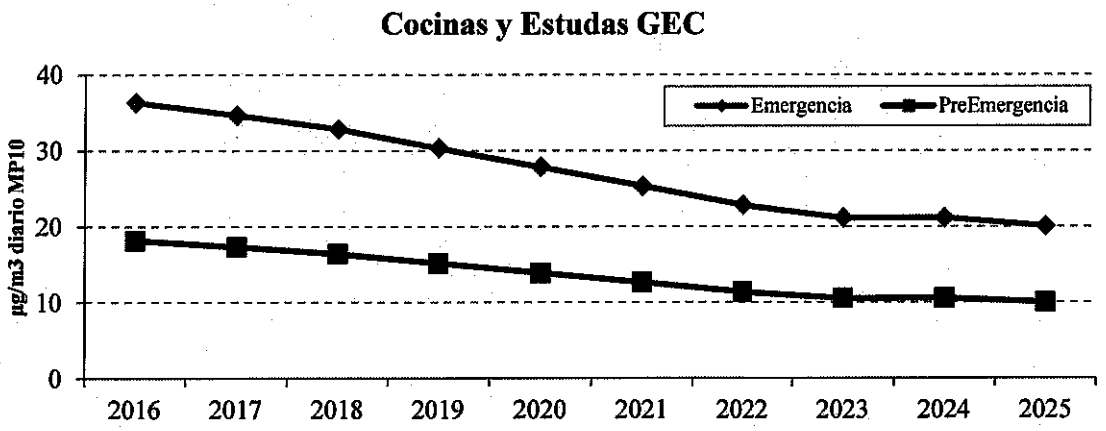
Tabla 6: Rangos de Concentración [$\mu g/m^3$] para episodios críticos por MP_{10}

Nivel	Concentración 24 horas MP_{10}
Alerta	195 - 239
Preemergencia	240 - 329
Emergencia	330 o superior

Fuente: D.S. 20 del año 2013, MMA

En la Figura 10 se puede observar el impacto en las medidas estructurales del plan, las medidas de gestión de episodios críticos afectan a una menor cantidad de fuentes a medida que se implementa el programa de recambio de calefactores. El inicio de estas medidas está previsto para el año 2016.

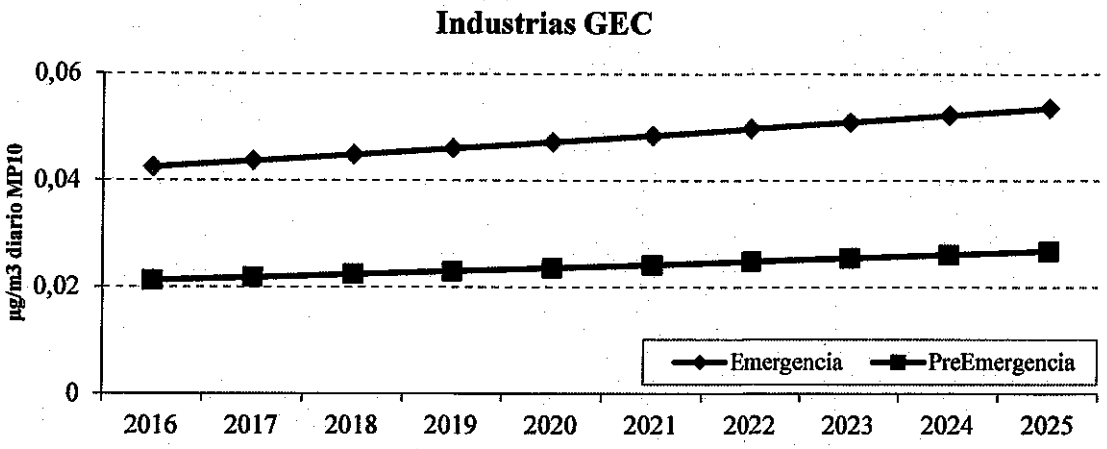
Figura 10: Reducción de concentración diaria de MP_{10} para un episodio crítico. Cocinas y estufas.



Fuente: Elaboración propia

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 da específicamente por las proyecciones de instalaciones en la comuna.

Figura 11: Reducción de concentración diaria de MP_{10} para un episodio crítico. Industrias.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que las medidas asociadas a 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 ciudad de Coyhaique evidencia una amplia superación de la norma diaria de MP_{10}, observándose valores cercanos al doble de la normativa vigente. Para la norma anual de MP_{10} la superación está en torno a un 70%.

En esta zona, el mayor emisor de MP_{10} corresponde al sector residencial, debido a la amplia utilización de leña para calefacción y cocción, dando cuenta de un 94% de las emisiones. Por esto, para dar cumplimiento a la norma de calidad, las medidas más relevantes del presente plan corresponden a este sector, aunque también incluye medidas para quemas y calderas.

Para la evaluación del plan se realizó un análisis costo-beneficio, en que se identificaron, cuantificaron y valorizaron 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.

En primer lugar, el AGIES estima que implementando las medidas del PDAC, la zona lograría salir de la saturación por norma diaria de MP_{10} en el año 2020 y en el caso de la norma anual, se llegaría a niveles de concentración por debajo de 50 $\mu g/m^3$ en el año 2018.

Del análisis, se desprende que el beneficio social total del plan es de US$143 millones de dólares en valor presente. Estos beneficios se concentran principalmente en la reducción de riesgos fatales, siendo alrededor de un 78% del beneficio total. El restante corresponde a ahorros en consumo de leña y a costos evitados en tratamientos de enfermedades. Estos beneficios resultan casi en un 100% de la reducción de concentración de MP_{10} asociada a la aplicación de medidas en el sector residencial.

Los costos totales se estiman en US$29 millones de dólares. Las medidas de mejoramiento térmico tienen los menores costos medios, generando ahorros netos y le sigue prohibición de chimeneas que también presenta 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 63%, sin embargo, obtienen también ahorros y beneficios en salud que agregados derivan en beneficios netos positivos. El Estado financia un 37% de los costos, mediante subsidios de aislación térmica y de recambio de calefactores.

Se realizó un análisis distributivo de los beneficios asociados a gastos evitados en salud para el año 2025, que corresponden a aproximadamente MMUS$ 0,8. Este tipo de beneficios presentan impactos distributivos en la población, ya que llevados a beneficios mensuales por hogar, representan un 14% de los ingresos mensuales para el quintil más bajo, mientras en el quintil de mayores ingresos se acerca al 1%. De esta manera, el Anteproyecto beneficia mayormente a hogares de menores recursos en relación a los de mayores recursos.

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

En futuras evaluaciones es importante avanzar en análisis que incorporen y/o refuercen ejes transversales como la equidad ambiental[19], paridad de género, impacto en pueblos originarios y aspectos en el cambio climático[20].

Como ya se indicó, es importante recalcar que los resultados de este análisis obedecen a la metodología señalada bajo los supuestos establecidos y es solo un antecedente más para la toma de decisiones, dado que el Estado principalmente debe velar por el derecho de vivir en un ambiente libre de contaminación y tutelar la preservación de la naturaleza.

[19] Principalmente con respecto al análisis distributivo de los costos de la regulación
[20] Reducciones de concentraciones de *black carbon* y aumento de consumo de combustibles fósiles.

6. Referencias

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.

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

	Valor unitario (CLP)	Valor Subsidio (CLP)	N° al año	MM CLP/año	VP Costo (MM CLP)	Nota
Recambio a artefactos cumple norma	387.611	348.850	500	174	1.284	*5.000 recambios en 10 años.
Recambio a artefactos a pellet	1.080.457	972.412	500	486	3.579	*5.000 recambios en10 años.
Aislación Térmica de viviendas	3.090.340	2.642.241	700	1.850	13.613	*7.000 subsidios en 10 años, incluye viviendas con avalúo >=650UF.
Total				2.510	18.475	

Fuente: Elaboración propia

Supuestos: Valor UF de 24200, Valor equipo pellet de 44.13 UF, Valor equipo cumple norma de 15.5 UF, costo chatarrización de 0.517 UF. El porcentaje subsidiado corresponde a un 90% para equipos cumple norma y pellets. El subsidio a la aislación térmica se considera de un 100% para viviendas PPPF y de 71% para viviendas no objeto de PPPF.

0000495774

7.2 Resultados por medida

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

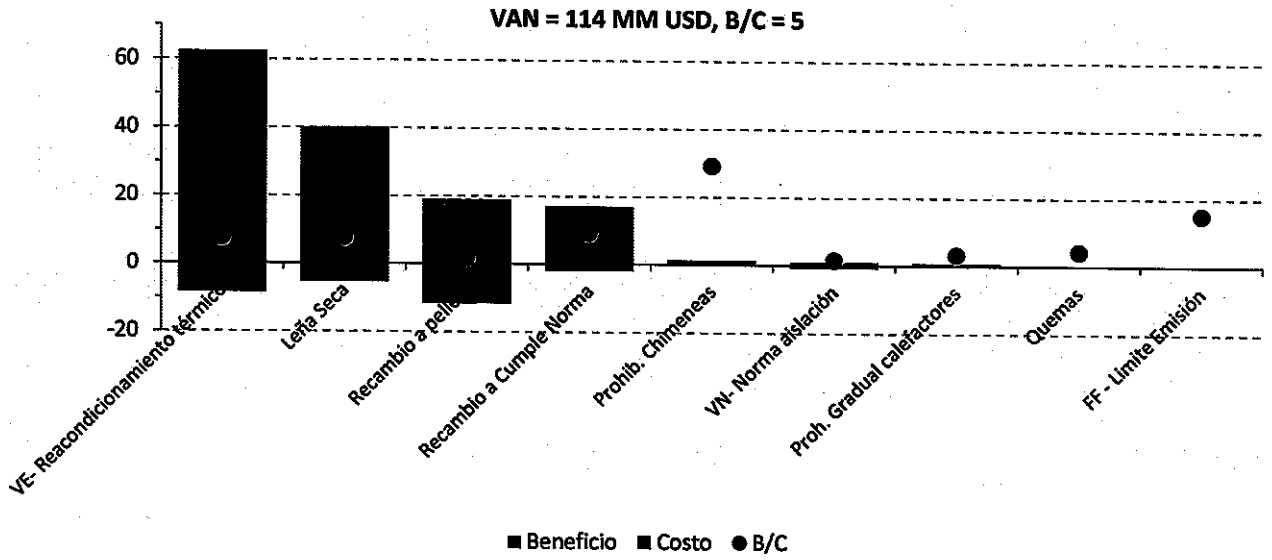
Tabla 8: Resultados por medida, MM USD, valor presente

	Costos Variables Netos		Costos Inversión		Beneficios Salud	VAN Medidas	Beneficio Total	Costo Total	Razón B/C
	Privado	Estado	Privado	Estado					
Prohib. Chimeneas	-0,29	0,00	0,05	0,00	1,18	1,42	1,47	0,05	29,18
FF - Limite Emisión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,12
Recambio a Cumple Norma	0,97	0,00	0,09	0,83	17,13	15,24	17,13	1,90	9,04
Leña Seca	5,31	0,00	0,00	0,00	40,19	34,88	40,19	5,31	7,57
VE- Reacondicionamiento térmico	-27,50	0,00	1,23	7,26	35,02	54,03	62,52	8,49	7,36
Quemas	0,09	0,00	0,00	0,00	0,36	0,28	0,36	0,09	4,24
Prohib. Gradual calefactores	0,13	0,00	0,15	0,00	0,89	0,61	0,89	0,28	3,20
Recambio a pellets	9,07	0,00	0,26	2,32	19,05	7,41	19,05	11,65	1,64
VN- Norma aislación	-0,67	0,00	0,75	0,00	0,42	0,34	1,09	0,75	1,45
Total	-12,90	0,00	2,53	10,42	114,25	114,21	142,72	28,51	5,01

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

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Resultados por medida para MP_{10}



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 2025. Fuente: Elaboración Propia

00004396

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. **Potencia (kW)** / **Emisión de MP (gr/h)** / **Eficiencia (%)** **Menor o igual a 8** / 2,5 / 70 **Mayor a 8 y menor o igual a 14** / 3,5 / 70 **Mayor a 14** / 4,5 / 70 Nota: Valores de normativa consideran leña seca.
Supuestos	Vida útil equipos de calefactor: 20 años Se puede abastecer 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	Se evalúa a través de tres medidas, correspondientes a 1) Entrega de 3.500 m3 de leña seca al año a familias vulnerables. Vigencia: 12 meses desde publicación, 2) Fomento de leña seca con meta de 70.000 m3/año. Vigencia: 12 meses desde publicación, y 3) Planta de acopio que incremente la oferta de leña seca en 100.000 m3/año. Vigencia: Dentro del periodo del decreto. La leña seca debe cumplir la NCh. 2907/2005 del INN, esto es, con un contenido de humedad menor o igual al 25% en base seca.
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%	51%	53%	54%	56%	57%
Semi húmeda	60%	29%	27%	26%	24%	23%
Húmeda	30%	20%	20%	20%	20%	20%

Resultados	

Medida	Reducción MP_{10} Ton/año	Reducción MP_{10} µg/m3	Beneficios Salud MM USD	Ahorro Neto MM USD	Inversión MM USD	CMe USD/µg/m3 $MP_{2,5}$
Leña Seca	1020,1	10,3	40,19	-5,31	0,00	0,2

Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.

CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.

En este caso los costos de secado fueron estimados a partir de diferenciales de precios por lo que no se reflejan en la inversión sino en el ahorro neto. El Valor Presente de los costos de esta medida es 14.4 MM USD.

Referencias Bibliográficas	(Universidad De Chile 2009; MMA 2013a)

	Prohibición al uso de Calefactores
Descripción	Se prohíbe el uso de chimeneas de hogar abierto. Vigencia: desde publicación del decreto. Se prohíbe el uso de calefactores a leña tipo hechizo y salamandras. Vigencia: Transcurridos 3 años. Se prohíbe el uso de calefactores que no cumplan con la norma de emisión para calefactores nuevos de combustión de biomasa, D.S N° 39, de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente. Vigencia: Desde el año 2025.
Supuestos	**Cumplimiento:** Chimeneas: 100%. Calefactores hechizos y Salamandras: 80% Calefactores no cumple norma: 80% **Valor calefactor** Doble Combustión 2.5 g/h — 15.5 UF/eq. Vida útil equipos de calefacción: 20 años

Resultados	

Medida	Reducción MP_{10} Ton/año	Reducción MP_{10} µg/m3	Beneficios Salud MM USD	Ahorro Neto MM USD	Inversión MM USD	CMe USD/µg/m3 $MP_{2,5}$
Prohib. Chimeneas	14,6	0,1	1,18	0,29	0,05	-0,1
Prohib. Gradual calefactores	244,1	2,5	0,89	-0,13	0,15	0,3

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)

	Programa de recambio de artefactos a leña
Descripción	Se ejecutará anualmente un programa de recambio voluntario de calefactores y cocinas existentes, que combustionen leña en la zona saturada. Esto en el marco del Plan Especial de Zonas Extremas (PEDZE). El programa contemplará el recambio de al menos 10.000 calefactores y/o cocinas a leña, de ellos al menos 5.000 serán recambiados por tecnologías que no combustionen leña. Vigencia: Desde la publicación del plan.

Supuestos	5.000 recambios de calefactores que cumplan la norma (D.S. N° 39 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente) 5.000 recambios por calefactores a pellet. 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 Para recambios de cocina se considera que: un 45.45% debe incorporar un equipo que cumple norma y una cocina a gas. El porcentaje restante (54.55%) 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.

Línea base de recambios:

Año	Cantidad
2009	0
2010	0
2011	300
2012	0
2013	1574
2014	405
2015	0

Fuente: División de Calidad del Aire, MMA.

Resultados

	Reducción MP_{10}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe
Medida	**Ton/año**	**µg/m3**	**MM USD**	**MM USD**	**MM USD**	**USD/µg/m3 $MP_{2,5}$**
Recambio a Cumple Norma	489,6	5,0	17,13	-0,97	0,93	0,3
Recambio a pellets	568,5	5,8	19,05	-9,07	2,58	0,8

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	El Gobierno Regional firmará un convenio de programación con MINVU, para aumentar los recursos destinados al acondicionamiento térmico de al menos 7.000 viviendas. Vigencia: Dentro del periodo del plan. La envolvente de la vivienda deberá cumplir con lo siguiente: - Transmitancia térmica para el Complejo de Muros Perimetrales con U≤ 0.35 W/m2K

<table>
<tr><td></td><td>

- Transmitancia térmica para el Complejo de Techumbre con U ≤ 0.25 W/m2K
- Transmitancia térmica para el Complejo de Pisos Ventilados con U≤ 0.32 W/m2K
- Transmitancia térmica para el Complejo de Puertas con U≤ 2.4 W/m2K
- Transmitancia térmica para ventanas con U≤ 5.8 W/m2K
- Sellado de infiltraciones de aire en puertas y ventanas.

</td></tr>
<tr><td>Supuestos</td><td>

Vida útil Aislación Térmica: 25 años.
700 subsidios anuales desde 2016 a 2025, con un total de 7.000 subsidios en 10 años.
Un 80% de los subsidios a viviendas < 650UF y un 20% para viviendas >=650UF.
Vidriado simple con U de 5,8 W/m2K
Costos: Se utilizaron los costos promedios calculados para el Plan de Descontaminación de Coyhaique.
El costo calculado para el acondicionamiento térmico de viviendas <650UF/Viv. es de 108UF y para viviendas >=650 UF es de 152.4UF/viv.
Se asume subsidio de 100% en viviendas PPPF y de 71% en viviendas que no son objeto del PPPF.
No se evalúa extracción de aire en baño y cocina, ni superficie de ventanas por orientación.
Línea base de subsidios:

Año	Cantidad
2009	181
2010	339
2011	378
2012	409
2013	409
2014	409
2015	0

Fuente: División de Calidad del Aire, MMA.

</td></tr>
<tr><td>Resultados</td><td>

	Reducción MP_{10}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe
Medida	**Ton/año**	**µg/m3**	**MM USD**	**MM USD**	**MM USD**	**USD/µg/m3 $MP_{2,5}$**
Reacondicionamiento Térmico	1505,6	15,2	35,02	27,50	8,49	-0,4

Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.
CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.

</td></tr>
<tr><td>Referencias Bibliográficas</td><td>(MINVU 2007), (MMA 2013a), (GreenLabUC 2013)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Aislación térmica viviendas nuevas</td></tr>
<tr><td>Descripción</td><td>

Las viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de los siguientes estándares:

Muro	Piso Ventilado	Ventanas	Techumbre	Puertas
U W/m2°K	U W/m2°K	U W/m2°K	U W/m2°K	U W/m2°K
0,35	0,32	5,8	0,25	2,4

Las viviendas deberán contemplar ventilación mecánica centralizada, dimensionada a través de la norma NCh. 3308 o NCh. 3309, según corresponda.

</td></tr>
</table>

	Plazo: 2 años luego de publicado el PDA en el Diario Oficial.
Supuestos	Vida útil Aislación Térmica: 25 años. Entrada en vigencia del PDA: 2016. La restricción de superficie de ventanas por orientación no fue evaluada, debido a la falta de información de línea base. 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
Resultados	

	Reducción MP_{10}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe
Medida	**Ton/año**	**µg/m3**	**MM USD**	**MM USD**	**MM USD**	**USD/µg/m3 $MP_{2,5}$**
Aislación térmica viviendas nuevas	22,2	0,2	0,42	0,67	0,75	0,2

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 Quemas agrícolas, forestales y domiciliarias

	Quemas agrícolas, forestales y domiciliarias
Descripción	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, en los meses de mayo hasta septiembre. Plazo: Desde la publicación del Decreto en el Diario Oficial
Supuestos	Sólo se consideran los datos reportados a CONAF como quemas legales (no se consideran quemas ilegales ni incendios forestales), por lo que esta medida podría tener un potencial de reducción de emisiones mayor. Se utilizaron los FE extraídos de (MMA 2011a) ponderados por Ciudad de acuerdo a la participación de las especies producidas en cada una según datos de (INE 2012). Para Coyhaique no existe restricción de quemas por mes como línea base[21].
Resultados	

	Reducción MP_{10}		Beneficios Salud	Ahorro Neto	Inversión	CMe
Medida	**Ton/año**	**µg/m3**	**MM USD**	**MM USD**	**MM USD**	**USD/µg/m3 $MP_{2,5}$**
Quemas agrícolas	10,0	0,1	0,36	-0,09	0,00	0,2

Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.

CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.

Las proyecciones consideran un 100% de cumplimiento, se considera el uso de tecnología alternativa y no la postergación de la quema.

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.

Costos en base a SISTAM, 2014.

Referencias Bibliográficas	CONAF, Reporte Situación Específica de Avisos (GEOREF) del Sistema de Asistencia a Quemas Controladas, (INE 2012), (MMA 2011a), (MMA 2013a), (SISTAM Ingeniería 2014)

[21] Existen restricción sólo para ciertos días del mes por lo que no se consideró como restricción ya que permite a los agricultores coordinarse para quemar en los días permitidos de cada mes.

7.3.4 Calderas de uso residencial, industrial y comercial

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

<table>
<tr><th></th><th>Límite de emisión calderas nuevas y existentes</th></tr>
<tr><td>Descripción</td><td>
Las calderas nuevas, menores a 75 kWt, deberán cumplir con los límites máximos de emisión que se indican a continuación:
<table>
<tr><th>Potencia Térmica</th><th>MP (mg/Nm³)</th><th>Eficiencia (%)</th></tr>
<tr><td>< 75 kWt</td><td>50</td><td>≥90</td></tr>
</table>
Plazo: a partir de la publicación del decreto en el diario oficial.
Las fuentes nuevas y existentes con potencia mayor o igual a 75 kWt hora deberán cumplir los siguientes límites de emisión para Material Particulado.
<table>
<tr><th rowspan="2">Potencia Térmica</th><th colspan="2">Límite Máximo de MP</th></tr>
<tr><th>Caldera existente</th><th>Caldera nueva</th></tr>
<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>
</table>
Plazo: 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.
</td></tr>
<tr><td>Supuestos</td><td>
Para estimar los costos de esta medida se utilizan los siguientes costos medios por tonelada:
<table>
<tr><th>Contaminante</th><th>UF/ton</th><th>USD/Ton</th></tr>
<tr><td>MP2,5</td><td>6.4</td><td>220</td></tr>
</table>
Se asume uso de precipitador electrostático húmedo.
</td></tr>
<tr><td>Resultados</td><td>
<table>
<tr><th></th><th colspan="2">Reducción MP_{10}</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>
<tr><td>Límite de emisiones MP.</td><td>0,01783</td><td>0,00018</td><td>0,00009</td><td>-0,00001</td><td>0,00000</td><td>0,04882</td></tr>
</table>
Reducción de emisiones, concentración corresponden al año 2025.
CMe corresponde al año 2025. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.
</td></tr>
<tr><td>Referencias Bibliográficas</td><td>(USEPA 2010)</td></tr>
</table>

7.3.5 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 hrs, se prohibirá el uso de calefactores y/o cocinas a leña. Emergencia: En las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, durante las 24:00 hrs, se prohibirá el uso de calefactores y/o 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 300 días por año y cocinas 365 días por año. Las zonas territoriales afectadas corresponderán a un tercio del parque total, tanto para Pre emergencia como para emergencia. Vigencia desde 2016.
Resultados	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio.

Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Preemergencia	493	487	479	458	436	411	384	369	383	376
Emergencia	985	974	957	917	872	823	768	737	765	752

Referencias Bibliográficas	(MMA 2013a)

	Medidas Calderas GEC
Descripción	**Preemergencia:** Se prohibirá dentro de la zona saturada, durante las 24 horas, el funcionamiento de calderas con una potencia térmica mayor a 75 kWt que presenten emisiones mayores a 30mg/m3N de material particulado. Se prohibirá en las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, entre las 18:00 y las 06:00hrs, el funcionamiento de calderas a leña con una potencia térmica menor a 75 kWt **Emergencia:** Se prohibirá dentro de la zona saturada durante las 24 horas, el funcionamiento de calderas con una potencia mayor a 75 kWt que presenten emisiones mayores o iguales a 30 mg/m3N de material particulado. Se prohibirá en las zonas territoriales que la autoridad ambiental previamente determine, durante las 24 horas, el funcionamiento de calderas a leña con una potencia térmica menor a 75 kWt.
Supuestos	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. Se supone también que las fuentes se distribuyen de manera uniforme en las zonas territoriales, por lo que la medida afectaría a un tercio de las fuentes.
Resultados	Beneficios en salud en UF/día, según tipo de episodio.

Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Preemergencia	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
Emergencia	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

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
Residencial	* Límite de emisión por vivienda: Toda vivienda nueva deberá acreditar que en la etapa de operación, sus emisiones no superarán el límite de emisiones de 10 kg/año. * Calificación energética para 200 viviendas de la zona saturada. * Obligación de obtener calificación energética para viviendas nuevas.
Quemas	* Programa de buenas prácticas agrícolas.
Establecimientos comerciales, pubs, restaurantes y otros.	*Prohibiciones de uso de calefactores a leña en los establecimientos comerciales, restaurantes, pubs, hoteles y oficinas comerciales y de servicios, ubicados en la zona saturada. *Programas de evaluación y mejoramiento de eficiencia energética. *Programa de mejoramiento de información.
Control de emisiones de calderas	* 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.
GEC	Emisión de humos visibles por 15 minutos.
Institucional o público	*Evaluación y mejoramiento de eficiencia energética. *Prohibición de uso de calefactores a leña de potencia menor a 25kilovatios térmicos en todos los organismos del Estado.
Mediciones	Todo tipo de medición de emisiones u otras.
Educación Ambiental	Todas las medidas de capacitación y/o educación ambiental en el marco del PDA.
Registro	Todo tipo de registro que deba efectuarse en el marco del plan.
Actividades de fiscalización	Todas las medidas asociadas con fiscalización.
Difusión	Todas las medidas relacionadas con comunicación y difusión.
Estudios	Todo estudio programado en el marco del PDA.
Mesas de trabajo	Todo tipo de mesas de trabajo, comités y similares.

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

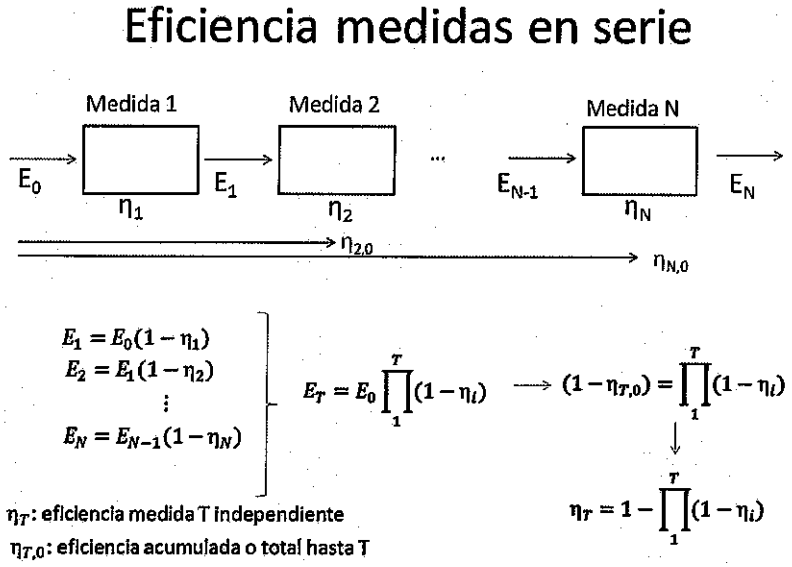
7.5 Metodología AGIES

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 medias 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
↓ Uso de combustible**	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 *Black Carbon* (MP)	No

* ↓: Disminución; ↑: Aumento, mejora.
** También puede haber un aumento en el consumo de combustibles por lo que implica en costos adicionales.
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 (NOx, COVs, SOx, 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 $\mu g/m^3$ el promedio anual de concentración de MP. Los FEC utilizados en la evaluación fueron determinados usando modelos del tipo *roll back* 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 MP_{10} o $MP_{2,5}$, [µg/m3].

$F_{MP_i,p}$: 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:

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

Donde el subíndice i corresponde a $MP_{2,5}$ (primario), NOx, COVs y SOx (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 ton/µg/m3.

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:

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

Donde:

$\Delta Efecto_{pj}$:	Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p $[(ug/m^3)^{-1}]$.
β_{pj}:	Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p $[(ug/m^3)^{-1}]$.
ΔC_{pi}:	Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i $[ug/m^3]$.
P_{ijp}:	Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]
y_{0j}:	Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar[22] la expresión anterior de obtiene:

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

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:

$$Beneficio_p = \sum_j \Delta Efecto_{pj} \cdot VU_j$$

Donde:

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

$Beneficio_p$:	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.

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

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

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

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

$$VP\ CT = \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=0}^{T}\left(\frac{Inversión_{m,t}}{(1+r)^t}\cdot\left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n-1}\right]+\frac{Costos\ OyM_{m,t}}{(1+r)^t}\right)=\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=0}^{T}\frac{CMe_{m,t}\cdot Red_{m,t}}{(1+r)^t}$$

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 Mantención realizados en el año t [$/año].
CMe_m:	Costo Medio de la medida m $\left[\frac{\$}{\text{ton de p}}\right]$ o $\left[\frac{\$}{\frac{\mu g}{m3}\text{ de p}}\right]$.
Red_p:	Reducción del contaminante p de la medida m en [ton p] o $\left[\frac{\mu g}{m3}\ p\right]$.
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	*Largo Plazo*	14.920	14.920	14.920	14.920
Admisiones hospitalarias	*Asma*	26	28	28	0
	Cardiovascular	0	56	56	56
	Respiratorias crónicas	0	36	36	37
	Neumonía	0	0	0	40
Visitas Salas de Emergencia	*Asma*	1,3	0	0	0
Productividad perdida	*Días laborales*	0	0,8	0,8	0
	Días de actividad restringida	0	0,2	0,2	0
	Días de actividad restringida menor	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	*Largo Plazo*	0,00%	0,93%	0,93%	0,93%
Admisiones hospitalarias	*Asma*	0,33%	0,33%	0,33%	0,00%
	Cardiovascular	0,00%	0,15%	0,15%	0,16%
	Respiratorias crónicas	0,00%	0,24%	0,24%	0,12%
	Neumonía	0,00%	0,00%	0,00%	0,40%
Visitas Salas de Emergencia	*Asma*	0,44%	0,00%	0,00%	0,00%
Productividad perdida	*Días laborales*	0,00%	0,46%	0,46%	0,00%
	Días de actividad restringida	0,00%	0,48%	0,48%	0,00%
	Días de actividad restringida menor	0,00%	0,74%	0,74%	0,00%

Fuente: (MMA 2011)

7.8 Ficha del AGIES

ITEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Plan de Descontaminación Atmosférica de Coyhaique
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Decreto Supremo N° 33 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que declara Zona Saturada por Material Particulado respirable MP_{10} a la ciudad de Coyhaique y su zona circundante.
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Noviembre 2014
	Alcance geográfico	Ciudad de Coyhaique y su zona circundante.
	Instrumento nuevo o revisión	Instrumento Nuevo.
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio. Beneficios salud en base a (MMA 2013)
	Normativas consideradas de línea base	Sector residencial: Norma emisión calefactores (DS N°39 de 2012, MMA)
	Nivel de evaluación de beneficios	Valorados beneficios en salud
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 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 $_{MP2,5}$	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro	Año 2025, MP_{10}: 39,2 [µg/m3]
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2025: MP_{10}: 3.874,8 ton/año
	Años de evaluación	2014-2025
Parámetros	Valor del dólar	600 pesos/dólar
	Valor de la UF	24.200 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	29
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	143
	Valor actual neto en MM USD	114