



1018

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL - MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL
ANTEPROYECTO DE REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE
DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA COMUNA DE VALDIVIA.

Junio de 2025

Presentación

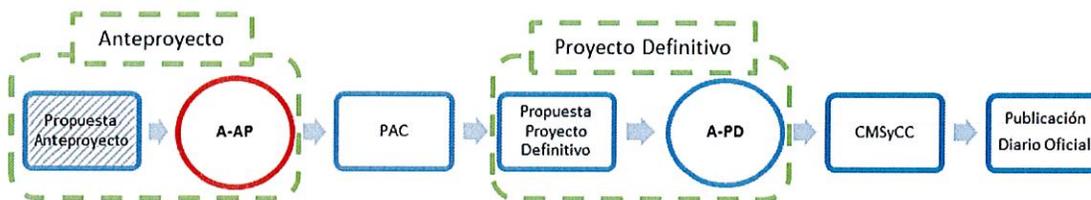
El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como Planes de Prevención y/o Descontaminación ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en el Reglamento para la Dictación de Normas de calidad (D.S. N° 38/2012 del MMA) y en el Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y Descontaminación Ambientales (DS N° 39/2012 del MMA), se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la propuesta regulatoria, que evalúe los costos y cuando sea posible los beneficios de la propuesta de regulación, y que estos resultados sirvan como apoyo al proceso de Participación Ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones, enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático (CMS y CC). Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental (DEA) del Ministerio del Medio Ambiente.

El artículo N° 44 de la ley N° 19.300 establece que los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) deben ser revisados periódicamente, especificando que dicha revisión se debe realizar, como mínimo, cada 5 años. Esta revisión deberá considerar las mismas etapas de desarrollo, tal como si fuese un nuevo instrumento.

El proceso de elaboración de un Plan de Descontaminación (PDA), desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

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

Figura 1: Etapa actual del proceso regulatorio y del AGIES



Fuente: Elaboración propia.

Este documento presenta la evaluación de costos y beneficios del Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1), que revisa y actualiza el Plan de Descontaminación para la comuna de Valdivia.

Debido a que, el Anteproyecto se centra en la revisión y la actualización del PDA, metodológicamente la evaluación del AGIES se enfoca exclusivamente en las medidas adicionales o en la modificación de aquellas ya implementadas por el PDA vigente con el fin de evitar una doble contabilidad en los efectos- tanto en reducciones de la concentración, costos y beneficios-.

Tanto el plan vigente como esta actualización conforman dos instrumentos de gestión ambiental que son complementarios, por consiguiente, para lograr un adecuado entendimiento de los resultados, se debe considerar el efecto global del instrumento, por consiguiente, se asume que existe una complementariedad entre ambos.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	4
1.1 CAMBIOS EN LAS MEDIDAS EVALUADAS POR EL AGIES ENTRE EL PDA VIGENTE Y EL ANTEPROYECTO.	4
1.2 CAMBIOS EN LA TEMPORALIDAD DE MEDIDAS VIGENTES ENTRE EL PDA VIGENTE Y EL ANTEPROYECTO.	5
1.3 CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS	7
1.4 INVENTARIO DE EMISIONES.....	8
2. METODOLOGÍA DEL AGIES	9
3. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS	12
4. RESULTADOS	14
4.1 RESULTADOS GENERALES EN CALIDAD DEL AIRE.....	14
4.2 EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS.	17
5. CONCLUSIONES	19
6. REFERENCIAS	20
7. FICHA DE ELABORACIÓN DEL AGIES	23
8. ANEXOS	24
8.1 METODOLOGÍA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL.....	24
8.2 ANÁLISIS DEL ESCENARIO PROPUESTO VERSUS LA SITUACIÓN BASE.....	26

1. Antecedentes

La revisión y actualización de un PDA posee dos tipos de cambios, el primero asociado a cambios en la estructura de las medidas vigentes o la incorporación de nuevas medidas y el segundo corresponde a cambios en la temporalidad de las medidas vigentes- debido principalmente a que existe un nuevo horizonte temporal-. Para las primeras se evaluará la magnitud del cambio tanto en reducción de emisiones, de concentraciones, así como los costos y los beneficios que este cambio genera, en conformidad de agregar los resultados a los ya considerados en el PDA vigente. Por otra parte, para el segundo tipo de cambio solo se reevaluará los efectos en la reducción de emisiones y concentraciones con la finalidad de estimar el cumplimiento del PDA respecto del límite normativo vigente. A continuación, se presentan los antecedentes utilizados en la evaluación de la actualización del PDA de Valdivia.

1.1 Cambios en las medidas evaluadas por el AGIES entre el PDA Vigente y el Anteproyecto.

En este AGIES se consideran aquellos cambios que se han establecido en las medidas vigentes, y que eventualmente pudieran generar un impacto relevante en las emisiones y las concentraciones de forma directa, estos cambios corresponden a los presentados en la Tabla 1.

Tabla 1: Cambios entre Plan Vigente y propuesta de Anteproyecto

Plan Vigente			Propuesta de Anteproyecto		
Artículo 26: Valores U [W/m ² K] transmitancia térmica para el programa de reacondicionamiento térmico.			Artículo 32: Valores U [W/m ² K] transmitancia térmica para el programa de reacondicionamiento térmico.		
Elemento	Estándar	Valor	Elemento	Estándar	Valor
Techo	Valor U [W/ (m ² K)]	0,28	Techo	Valor U [W/ (m ² K)]	0,25
Muro pesado		0,40	Muro pesado		0,35
Piso ventilado		0,5	Piso ventilado		0,32

Fuente: Elaboración Propia

Respecto de la regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda, se observa una mejora en

los valores de transmitancia térmica en los elementos de la envolvente correspondientes a techo, muro y piso ventilado, definidos para el programa de reacondicionamiento térmico de viviendas.

El AGIES no consideró una nueva evaluación para aquellas medidas que no sufrieron cambios respecto al PDA vigente, ni tampoco para aquellas medidas que sufrieron modificaciones a las cuales por restricciones metodológicas (ver Capítulo 3) no pueden cuantificarse el efecto en la reducción de la calidad del aire.

1.2 Cambios en la temporalidad de medidas vigentes entre el PDA Vigente y el Anteproyecto.

La Tabla 2 presenta el número de recambio de calefactores y reacondicionamientos térmicos realizados a la fecha. Estos antecedentes permiten identificar la cantidad-residual- de recambios y reacondicionamientos del plan vigente que aún deben implementarse, se considerará como supuesto la redistribución lineal (supuesto base de todo AGIES de PDA) de estas medidas en un plazo temporal de 10 años.

Tabla 2: Cantidad de recambios de calefactores realizados durante el plan Vigente

Año	Plan Vigente	
	Reacondicionamientos térmicos	Recambio de calefactores
2017	S/I	271
2018	365	470
2019	560	419
2020	409	749
2021	101	1.707
2022	60	764
2023	S/I	184
2024	S/I	366
Total	1.495	4.930

"S/I" = sin información

Fuente: Elaboración propia.

La construcción del supuesto para el número de reacondicionamientos residual de calefactores y recambios que deberán ser aplicados, corresponde a:

$$N^{\circ} \text{ Anual} = \frac{N^{\circ} \text{ Total} - N^{\circ} \text{ Realizados}}{\text{Total de Años del Plan}}$$

Donde:

N° Anual: corresponde a la cantidad de recambio de calefactores y/o de reacondicionamientos térmicos que se utilizaran como supuesto de evaluación del AGIES para ser implementados anualmente¹.

N° Total: Corresponde a la totalidad de recambios de calefactores y/o de reacondicionamientos térmicos a realizar según el Anteproyecto.

N° Realizados: Corresponde a los recambios de calefactores y/o de reacondicionamientos térmicos realizados con anterioridad a la implementación del anteproyecto y que deben ser contabilizados en las metas (ver Tabla 2)

Total de años del plan: corresponde a la cantidad de años que se implementará el plan según el Anteproyecto, para este caso se especifica que son 10 años.

Aplicando esta ecuación obtenemos el número de recambios y reacondicionamientos térmicos evaluados para un período de 10 años, estos valores se ajustan al nuevo horizonte que propone el PDA, puesto que se extiende la aplicación del instrumento en este caso hasta el 2035.

¹ Se debe considerar que este es un supuesto de evaluación y que este supuesto no establece que esta sea la meta anual de recambios y/reacondicionamientos.

Tabla 3: Supuesto de implementación anual del programa de recambio de calefactores y del programa de reacondicionamiento térmico de viviendas

Año	Anteproyecto	
	Reacondicionamientos térmicos	Recambio de calefactores
2026	1.650	2.107
2027	1.651	2.107
2028	1.650	2.107
2029	1.651	2.107
2030	1.650	2.107
2031	1.651	2.107
2032	1.650	2.107
2033	1.651	2.107
2034	1.650	2.107
2035	1.651	2.107
Total	16.505	21.070

Fuente: Elaboración Propia.

Esta distribución corresponde a un supuesto de evaluación del AGIES, la cual no es vinculante y por ende no debe ser considerado como una meta de recambios anuales del PDA- el PDA solo establece una meta global a 10 años-.

1.3 Concentraciones atmosféricas

En la Tabla 4 se presentan los valores de Percentil 98 y de los promedios trianuales de MP_{2,5} para la estación de monitoreo Valdivia 1 entre 2018 y 2023.

Tabla 4: Evaluación de la norma de MP_{2,5} - Estación Valdivia 1

Año	Percentil 98 [µg/ m ³]	Promedio trianual [µg/ m ³]
2017	128	37
2018	150	37
2019	133	33
2020	112	32
2021	114	29
2022	111	29
2023	90	31

Fuente: SMA (2021).

Estos valores son utilizados como información de línea base y a partir de los cuales se calcula la reducción en concentración de las medidas y el cumplimiento del Plan. Los criterios utilizados para la elección del valor corresponden a la data coincidente en su temporalidad con la elaboración de los inventarios de emisión o la más actualizada, y representar el escenario de mayor concentración de las estaciones con mediciones en la comuna, por consiguiente, es el escenario de mayor dificultad para su cumplimiento.

Para el caso del presente AGIES se consideró la concentración del año 2021² correspondiente a 114 µg/m³ para la concentración diaria y de 29 µg/m³ para la concentración anual.

1.4 Inventario de Emisiones

La Tabla 5 presenta el inventario de emisiones para MP_{2,5} al año 2021, el cual corresponde a la información más actualizado.

² Se utiliza el año 2021 como base, ya que los valores para el inventario de emisiones corresponden al año 2021, por consiguiente, para que la metodología pueda ajustar correctamente los Factores de Emisión-Concentración se debe comparar el año del inventario con las concentraciones de ese mismo año.

Tabla 5: Inventario de emisiones de MP₂, al año 2021.

1026

Sector del inventario	2021
Área Residencial	2.402
Puntual Industria	27
Móviles - En Ruta	29
Áreas-Incendios/Quemas	10
Total	2.468

Fuente: Anteproyecto del PDA.

Como se puede observar, la mayor participación en las emisiones es generada por el sector residencial, el que consistentemente supera un 97% de aporte a las emisiones de MP_{2,5}, producto principalmente del uso de la biomasa (leña) para calefacción.

2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio (ACB), ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Boardman *et al.*, 2011; Hanley & Splash, 1993; Layard & Glaister, 1994). La reducción de emisiones asociadas a planes de descontaminación ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados a continuación.

Las reducciones de emisiones son atribuibles a las medidas aplicadas al sector residencial que define el anteproyecto. El AGIES es elaborado mediante una secuencia de análisis o modelos que permiten relacionar los 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, un modelo de concentración-respuesta basado en

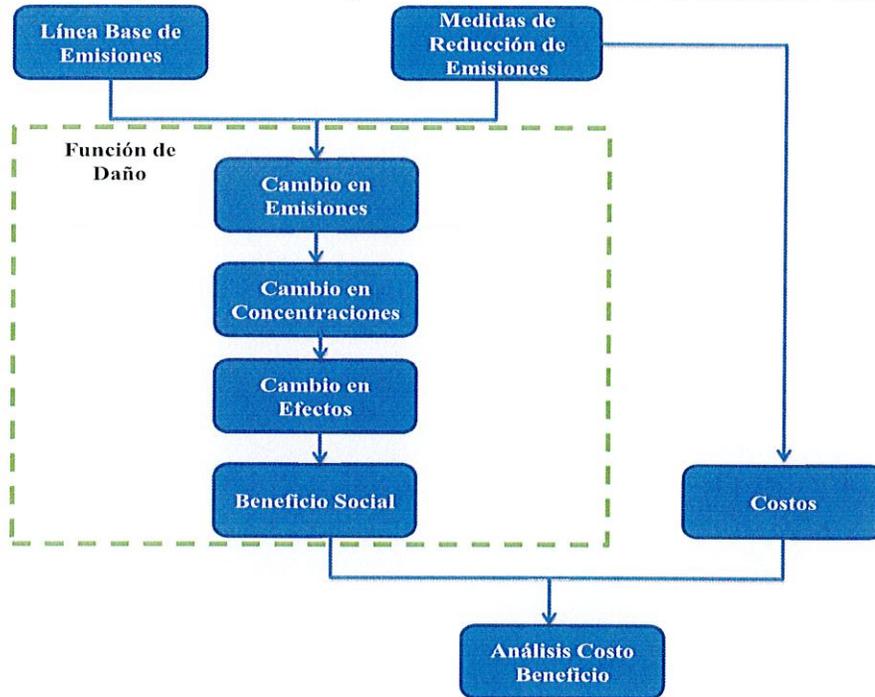
estudios epidemiológicos³ y un modelo económico de valorización de los beneficios. Paralelamente, se incorpora información sobre los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el ACB (ver Figura 2).

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} producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura y morbilidad (reducción de casos de enfermedades asociadas al o los contaminantes evaluados). 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.

Con respecto a los costos, se incorpora el costo para el Estado asociados al recambio de calefactores, los subsidios para el reacondicionamiento térmico de las viviendas y el aseguramiento de la disponibilidad de leña seca para la zona sujeta al plan. Del mismo modo, se consideran los costos que enfrentarán los privados ante la medida que prohíbe el uso de calefactores que no cumplan con la normativa vigente, ya que deberán incurrir en la compra de un calefactor con características acorde a lo que exige el D.S. N° 39 de 2011 del MMA. Este mismo criterio aplica para la medida que prohíbe el uso de chimeneas, así como los costos para el sector industrial, asociado a la implementación de tecnologías de abatimiento para el cumplimiento de los límites propuestos por el PDA.

³ 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 (Szklo & Nieto, 2014).

Figura 2: Diagrama metodológico del ACB para la evaluación del AGIES



Fuente: Evaluación propia basado en EPA (2000) y MMA (2013b).

Una de las limitaciones del análisis tiene relación con los beneficios por reducción de $MP_{2,5}$ que no fueron valorizados. Entre ellos se encuentra la mejora en visibilidad y en materiales, los efectos sobre ecosistemas, la disminución de gases de efecto invernadero, los beneficios para la agricultura y suelos, la imagen país, las externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, los efectos en la salud en otras comunas del país y los beneficios derivados de la reducción del *black carbon*⁴. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional, o bien, a la 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 (Lave & Gruenspecht, 1991; Arrow et al., 1996). La toma de decisión debe tener una visión integral que incorpore otras variables, tales como el riesgo de la

⁴ 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 un tiempo de residencia que va de días a semanas. Está asociado al aumento de la temperatura global.

población expuesta⁵, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, otros aspectos económicos, entre otras⁶.

3. Consideraciones Metodológicas

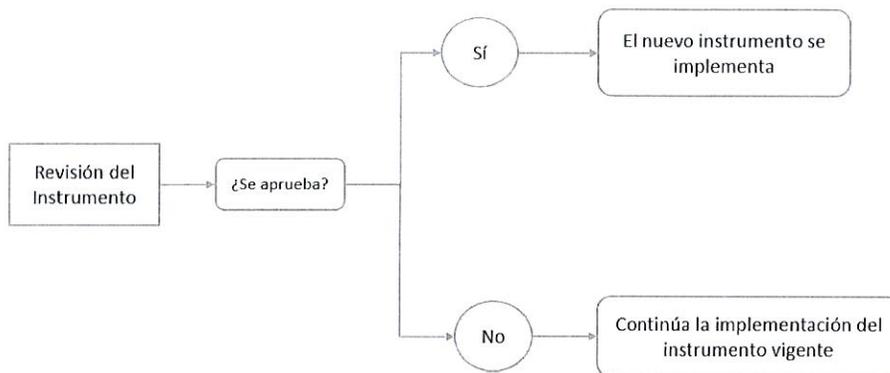
La evaluación del AGIES utiliza la metodología anteriormente descrita, la cual se basa principalmente en comparar la situación de línea base con la situación con proyecto. Este enfoque plantea un desafío metodológico al evaluar una revisión de un PDA (o cualquier otra normativa), ya que el ejercicio del AGIES con la finalidad de asignar una correcta toma de decisión, busca aislar tanto los efectos (reducción de la emisión, reducción de la concentración) como los costos y beneficios generados específicamente por la propuesta del instrumento, evitando la influencia de otros instrumentos que puedan incidir en los resultados.

En este contexto, existe una secuencia lógica que vincula el desafío metodológico con la decisión futura sobre la implementación o la no implementación del instrumento. La Figura 3 representa los escenarios de decisión:

⁵ En el 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.

⁶ El D.S. N°38 y D.S. N°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.

Figura 3: Árbol de decisión para un nuevo instrumento.



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la Figura 2, existen dos situaciones que pueden generarse, la primera, es que se apruebe el Anteproyecto, en esta situación se asumirá como supuesto que las medidas ya evaluadas en el AGIES del PDA vigente serán consideradas como parte de Línea Base (con la finalidad de evitar la doble contabilización de los efectos). La segunda considera que el Anteproyecto no es aprobado, situación en la cual el instrumento vigente (actual PDA) seguirá su curso natural. Si bien, esta es una situación hipotética y que debe ser considerada en una adecuada modelación matemática, las consideraciones de una y otra situación, traerán efectos en la modelación.

Comprendiendo lo anterior y considerando que en este PDA se incorporan mejoras (ver Tabla 1), es crucial evaluar el escenario adecuado. Un supuesto clave en este caso es que la construcción de la línea base debe incorporar todas las políticas, planes, programas, proyectos u otros instrumentos que puedan tener efectos sobre la calidad del aire, tanto presente como futura. Esto permite evitar el doble conteo de costos y beneficios, asegurando que estos no sean asignados a más de un instrumento. Por ejemplo, la política de electromovilidad del Ministerio de Transportes contempla el recambio progresivo de autobuses con motores a combustión por autobuses eléctricos. Esta medida genera una reducción de emisiones en el sector transporte, lo que se traduce en una mejora en la calidad del aire. Como este efecto, sus costos y beneficios ya se encuentran asociado a la política de electromovilidad, esta debe considerarse dentro de la línea base. Así, al evaluar un Plan de Descontaminación (PDA) que establezca este recambio de buses dentro de sus medidas, no se

1031

atribuirán nuevamente esos beneficios o costos al PDA evitando duplicidades.

En consecuencia, cualquier reducción de emisiones o concentraciones generada por otro instrumento debe considerarse parte de la línea base.

4. Resultados

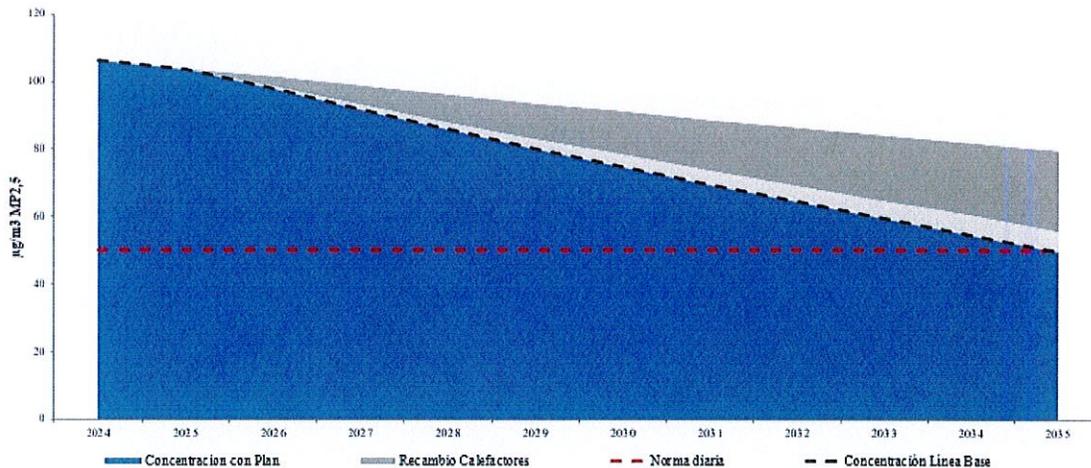
Con la finalidad de poder presentar en forma global los resultados y considerando la complementariedad de las medidas tanto del PDA vigente y las cuales aún deben implementarse y los cambios asociados a la actualización del PDA se presentarán los siguientes resultados.

4.1 Resultados Generales en Calidad del Aire

La incorporación de las medidas residuales se considera a partir del año 2026- el periodo de 10 años del PDA corresponde a los años 2026 a 2035-.

La Figura 3 presenta las reducciones estimadas para la concentración atmosférica de $MP_{2,5}$ en su métrica diaria, según las medidas establecidas en el capítulo 1.2.

Figura 4: Evolución de la concentración diaria de $MP_{2,5}$ [$\mu g/m^3$] de línea base y con reducción medidas



Fuente: Elaboración propia.

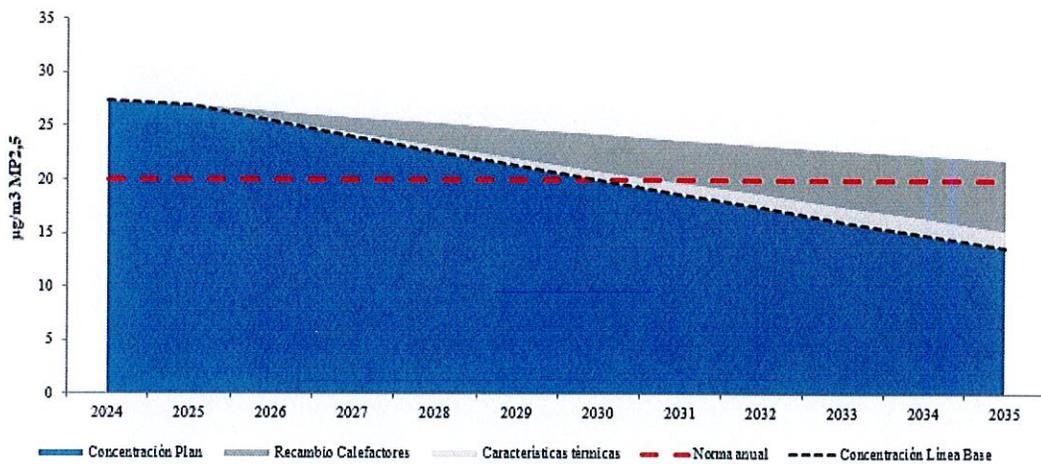
Se estima que, las implementaciones de las medidas residuales en conjunto con los nuevos estándares térmicos permitirán el

cumplimiento la norma diaria para MP_{2,5} el año 2035, logrando una concentración de 49,72 µg/m³.

1032

Por su parte la concentración anual de MP_{2,5} presenta reducciones progresivas a medida que las medidas residuales evaluadas son implementadas, se observa que, al año 2030 se cumple la norma anual al alcanzar una concentración de 19,81 µg/m³, alcanzando al año final de la evaluación (2035) una concentración de 13,65 µg/m³, tal como lo muestra la Figura 4

Figura 5 Evolución de la concentración anual de MP_{2,5} [µg/m³] de línea base y con reducción medidas



Fuente: Elaboración propia

Se evalúan las medidas de recambio de calefactores y reacondicionamiento térmico de viviendas ya que son estas medidas las que alcanzan mayores reducciones y que permiten demostrar el cumplimiento del PDA al año 2035.

Metodológicamente no fue posible atribuirle reducciones en concentración adicionales a las ya existentes a la aplicación de estándares térmicos más exigentes (ver Tabla 1), que permitan diferenciar el efecto de la mejora propuesta en el anteproyecto evaluado-línea base vs situación con proyecto-. Ya que, matemáticamente la estimación de la mejora arrojó reducciones menores a 1 µg/m³, haciendo imposible determinar un efecto del cambio, este resultado es netamente una restricción matemática del modelo empleado para la evaluación, por ende, se debe tener presente que la mejora en la tramitación térmica zona es crucial para mejorar la calidad de

vida de las personas y contribuir a la descontaminación de la ciudad.

Tal como se explicó en el capítulo 3, estas reducciones corresponden a remanentes del Plan vigente, pero que, sin embargo, deben ser consideradas para el cumplimiento de la Norma de Calidad al considerarse una complementariedad entre el Plan vigente y el nuevo plan.

4.2 Evaluación de Costos y Beneficios.

Para la evaluación de costos y beneficios, es necesario considerar tanto los costos adicionales de las medidas como los efectos que estas puedan generar. Sin embargo, con base en los resultados presentados en Anexos 8.2, se identifican los siguientes puntos:

1. La modificación de las medidas no generará efectos adicionales significativos en la reducción de la concentración de contaminantes, por lo que no es posible cuantificar efectos sobre reducción de casos de mortalidad o de morbilidad. Este beneficio social no pudo ser cuantificado, mayoritariamente por restricciones matemáticas, ya que tanto la situación de línea base como la situación con proyecto presentan diferencias que, según la modelación del AGIES, generan reducciones menores a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver en Anexo 8.2). Este resultado impide aislar el efecto del cambio propuesto por el ante proyecto a nivel de costos y beneficios.
2. No se cuenta con antecedentes que permitan identificar diferencias en los costos de aislación térmica entre el escenario del PDA vigente y la nueva propuesta, por lo que no se pueden atribuir costos adicionales al nuevo PDA.
3. Existe una complementariedad entre la evaluación del PDA vigente y la propuesta del anteproyecto de revisión del PDA, lo que implica que deben analizarse de manera integrada.

Por lo tanto, a continuación, se presentan los costos y beneficios asociados al instrumento en su conjunto:

Tabla 6: Costos y Beneficios [MM USD] de la implementación del plan en su totalidad.

	PDA vigente		Modificaciones propuestas anteproyecto en
Beneficios	285	+	0
Costos	56	+	0
Razón B/C	5,1		

Fuente: elaboración Propia.

Por lo tanto, se determina que en la actualización del PDA se mantienen los beneficios del Plan Vigente y que la

1035

complementariedad entre el plan vigente y su revisión conserva la relación de beneficios 5,1 veces mayores a los costos.

5. Conclusiones

La propuesta de anteproyecto, para efectos de la presente evaluación, contempla únicamente cambios en los niveles de transmitancia térmica para el programa de reacondicionamiento térmico. La evaluación de esta medida concluye que no es posible cuantificar efectos adicionales en la reducción de emisiones al compararse con el escenario actual. Por lo tanto, no es posible cuantificar reducciones en concentración, costos ni beneficios respecto del plan vigente.

La evaluación del AGIES incluyó las medidas implementadas hasta la fecha y consideró las mejoras en las medidas nuevas, además de incorporar nuevos valores de emisión (actualización del inventario) y nuevos valores de concentración (actualizados al año del inventario), con esto la modelación para la evaluación del nuevo PDA consideró que existe una complementariedad entre el plan vigente y el nuevo plan, y de esta manera se estimaron sus efectos.

Para evaluar el cumplimiento de las metas del plan, se consideraron las medidas del PDA vigente que aún tienen un periodo residual de implementación, específicamente el programa de recambio de calefactores y el de reacondicionamiento térmico, los cuales deben completarse para el año 2035.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas propuestas en el anteproyecto permitirían cumplir con la norma diaria de MP 2,5 al año 2035.
- Las medidas del anteproyecto permitirían cumplir con la norma anual de MP 2,5 al año 2030.
- La complementariedad entre el PDA vigente y su revisión sugiere que la razón beneficio-costos es de 5,1.

6. Referencias

1037

- Arrow, K., Cropper, M., Eads, G., Hahn, R., Lave, L., Noll, R., Portney, P., Russell, M., Schmalensee, R., Smith, K. & Stavins, R. (1996). Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and safety regulation?. *Science* 272(5259): 221-222.
- Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A. & Weimer, D. (2011). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, 4th edition.
- Chang, T.Y. & Weinstock, B. (1975). Generalized Rollback Modeling for Urban Air Pollution Control. *Journal of the Air Pollution Control Association* 25(10): 1033-1037. <https://doi.org/10.1080/00022470.1975.10470175>
- Hanley, N. & Splash, C. (1993). *Cost of Benefit Analysis and the Environment*. Edward Elgar Publishing Ltd., Cheltenham.
- EPA (2000). *Guidelines for preparing economic analyses*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.
- Lave, L. B., & Gruenspecht, H. K. (1991). Increasing the efficiency and effectiveness of environmental decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees A Critical review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(5), 680-693. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466868>
- Layard, R. & Glaister, S. (1994). *Cost-benefit analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN 9780521466745.
- MIDEPLAN. (2011). *Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos*, División de Planificación. Santiago, Chile.

- MIDESO. (2023). Informe Precios Sociales 2023. Departamento de Metodologías - División de Evaluación Social de Inversiones. Subsecretaría de Evaluación Social, Sistema Nacional de Inversiones. https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf
- MMA. (2011a). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA. (2011b). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.
- 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. (2013a). 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. (2013b). Guía Metodológica para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.
- de Nevers, N. & Morris, J.R. (1975). Rollback Modeling: Basic and Modified. Journal of the Air Pollution Control Association 25(9): 943-947. DOI: 10.1080/00022470.1975.10468116
- Szklo, M. & Nieto, F. (2014). Epidemiology: Beyond the Basics, Jones & Bartlett Publishers.

7. Ficha de elaboración del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General de Impacto Económico y Social del Anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Valdivia y su área circundante
	Versión de AGIES	Versión 1.
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de zona saturada: Decreto Supremo N° 17 de 2014, del Ministerio del Medio Ambiente
	Tipo de regulación	Plan de Descontaminación Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	12 de diciembre de 2024
	Alcance geográfico	Ciudad Valdivia
	Instrumento nuevo o revisión	Nuevo
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio. Beneficios en salud en base a MMA (2013a)
	Nivel de evaluación de beneficios	Valoración de beneficios en salud
	Tasa de descuento	5.5%
	Reducción de concentraciones por parámetro	Año 2035: MP _{2.5} 49,72 µg/m ³ N
	Años de evaluación	2025-2034
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	No evaluados
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	No evaluados
	Valor actual neto en MM USD	No evaluados

8. Anexos

8.1 Metodología para el sector residencial

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

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

Donde:

Emisiones: Emisiones del contaminante [gr/año]

η_i : Eficiencia de calefacción del equipo de tecnología i

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

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

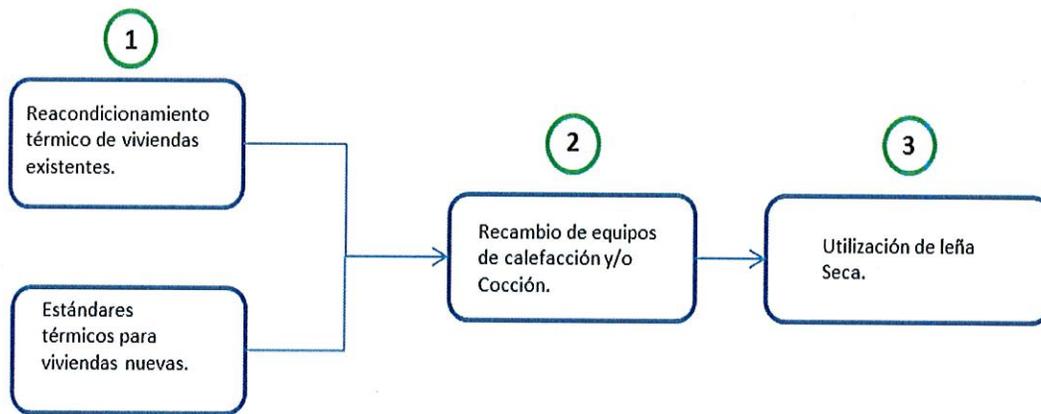
PC_j: Poder calorífico del combustible utilizado por la tecnología j [MJ/kg]

La reducción de emisiones⁷ corresponde a la diferencia entre las emisiones finales y las iniciales. Las emisiones finales consideran una mejora en el factor de emisión y eficiencia de los equipos, además de un incremento en el poder calorífico del combustible utilizado. La medida de confort térmico de las personas se mantiene constante.

En este sector, la estimación de la reducción de emisiones debe considerar que las medidas presentan interacciones, por lo que no pueden ser evaluadas independientemente, sino que de forma secuencial. La Figura 6 muestra la metodología descrita que se implementa con el fin de evitar sobreestimar la reducción de emisiones en el sector.

⁷ 0 emisiones evitadas en el escenario con Plan.

Figura 6: Interacción de las medidas para el sector residencial.



Fuente: Elaboración propia.

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

8.2 Análisis del escenario propuesto versus la situación base.

1.043

Con el fin de aplicar la metodología descrita en el capítulo 2, junto con las consideraciones metodológicas del capítulo 3, se presenta a continuación un ejercicio de evaluación que busca mostrar la magnitud de las reducciones en emisiones para las medidas remanentes del PDA, bajo dos escenarios:

- La situación con transmitancia térmica correspondiente al plan vigente.
- La situación con transmitancia térmica según la propuesta de anteproyecto.

Estos cambios se resumen en la Tabla 1

1. Reducción de emisión con la transmitancia térmica correspondiente al "Plan vigente"

Tabla 7: reducción de emisiones, "Plan vigente" en ton/año

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Recambio Calefactores	201	402	587	764	942	1.119	1.296	1.473	1.651	1.828
Reac. Térmico	47	93	139	184	229	272	316	358	400	442
Total	248	495	726	948	1.17	1.391	1.612	1.832	2.051	2.269

2. Reducción de emisión del escenario con la transmitancia térmica correspondiente a la propuesta de anteproyecto.

Tabla 8: reducción de emisiones "propuesta de anteproyecto" en ton/año

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Recambio Calefactores	201	402	587	764	942	1.119	1.296	1.473	1.651	1.828
Reac. Térmico	48	96	143	190	236	281	326	369	413	455
Total	249	498	730	954	1.177	1.4	1.622	1.843	2.063	2.283

La diferencia entre ambos escenarios se resume en la siguiente tabla, que muestra la reducción adicional atribuible a los nuevos niveles de transmitancia térmica:

Tabla 9: comparación [ton/año] entre Tabla 8 y Tabla 7

Años	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Comparación	1,5	2,9	4,4	5,8	7,2	8,5	9,9	11,2	12,5	13,8

Como se observa, al año 2035, la implementación de los nuevos niveles de transmitancia térmica permitiría una reducción adicional de **13,8 toneladas anuales** en comparación con mantener los valores actuales del plan vigente, considerando los recambios establecidos en el capítulo 1.2 más atrás

ara estimar cómo esta reducción de emisiones se traduce en mejoras en la calidad del aire, se utiliza un factor de conversión entre emisiones y concentración, basado en los datos de los capítulos 1.3 (concentraciones) y 1.4 (emisiones).

El cálculo de un factor entre la emisión y la concentración para la métrica diaria, obtendremos que:

$$\text{Factor} = \frac{\text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right]}{\text{Emisión} \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]} = \frac{114}{2468} = 0.046 \approx 0.05$$

El análisis permite estimar que, en la ciudad de Valdivia, una reducción de **1 tonelada de MP2,5** genera una disminución de aproximadamente **0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en la concentración. Esto implica que para reducir **1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , se requiere disminuir aproximadamente **21,65 toneladas anuales** de emisiones.

Aplicando este factor a la diferencia en emisiones presentada anteriormente, se obtiene la siguiente estimación de reducción en concentración:

Tabla 10: reducción en concentración [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] asociada a la diferencia entre el escenario plan vigente y el escenario propuesta de anteproyecto

Años	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Red Conc	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7

Si bien el cambio en los niveles de transmitancia térmica genera reducciones en las emisiones, su efecto sobre las concentraciones atmosféricas es marginal. Al año 2035, con plena implementación, la reducción sería de solo **0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , lo que representa aproximadamente un 1,1% del total de reducción necesaria para alcanzar la meta de **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

En términos de evaluación económica, esto presenta una dificultad metodológica: la diferencia entre la línea base y el escenario con proyecto es muy baja como para generar efectos económicos diferenciables en cuanto a costos y beneficios. En la práctica, ambos escenarios se sitúan dentro del mismo rango numérico, lo que limita la capacidad del AGIES de capturar impactos económicos atribuibles exclusivamente a este cambio.