



**EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL - REGIÓN
METROPOLITANA**
ID Licitación: 611134-3-LE24

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

NOVIEMBRE 2024

Título del Proyecto

**EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL - REGIÓN
METROPOLITANA**

Autores:

Jefe de proyecto: Luis Cifuentes

Experto asesor: Cristóbal de la Maza

Ingeniero Senior de proyecto: Rocío Herrera

Ingeniero proyecto: Trinidad Flores, Scarlett Cárdenas,
Sayén Santander

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna N° 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social: Subsecretaría del Medio Ambiente

RUT: 61.979.930-5

Dirección: San Martín 73, Santiago

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo general determinar medidas de reducción de emisiones de material particulado, sus precursores y otros gases para el sector residencial, además de generar los insumos necesarios para llevar a cabo el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) sobre estas medidas, en el marco de la actualización del PPDA RMS.

Cuerpo del informe

118 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

Noviembre 2024

Información Contractual

Correlativo Contrato:

OC N°: 611134-25-SE24

Contraparte técnica

Nombre: Roberto Delgado

Cargo: Encargado Área de Calidad del
Aire y Cambio Climático, Seremi del
Medio Ambiente de la Región
Metropolitana

E-mail: rdelgado@mma.gob.cl

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas.....	III
Lista de Figuras.....	VI
Acrónimos y Abreviaturas.....	VII
Resumen Ejecutivo	9
1. Antecedentes y justificación del estudio	10
2. Objetivos del estudio	11
2.1 Objetivo general.....	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. Proyección del inventario de emisiones del sector Residencial para la RMS	12
3.1 Diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las medidas actuales asociadas al sector residencial en el PPDA RMS	12
3.1.1 <i>Medidas actuales del sector residencial en el PPDA RMS.....</i>	<i>12</i>
3.1.2 <i>Revisión de estudios disponibles y recopilación de diagnósticos de medidas</i>	<i>14</i>
3.1.3 <i>Estimación de la reducción de emisiones de medidas</i>	<i>29</i>
3.2 Proyección del inventario del sector Residencial año base 2022, a 15 años	36
3.2.1 <i>Metodología de proyección de emisiones.....</i>	<i>36</i>
3.2.2 <i>Resultados de la proyección del inventario de emisiones.....</i>	<i>50</i>
4. Análisis de las medidas actuales del PPDA RMS y de otras normativas asociadas al sector Residencial que tengan injerencia en las emisiones atmosféricas, que permita identificar sinergias con la actualización del presente Plan	62
4.1 Revisión del estudio "Revisión de las Medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago - PPDA", en lo que respecta al sector Residencial, para evaluar qué medidas deberían mantenerse, retirarse o modificarse en la actualización del PPDA RMS.....	62
4.2 Levantamiento y revisión de normativa nacional que tenga incidencia en las emisiones del Sector Residencial, donde se identifiquen sinergias con la actualización del PPDA RMS..	67
5. Propuesta de medidas nuevas y/o mantención o modificación de las medidas actuales, para la actualización del presente Plan	70
5.1 Revisión de antecedentes nacionales e internacionales sobre medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial que no se encuentren en el actual PPDA .	70

5.1.1	<i>Antecedentes nacionales</i>	70
5.1.2	<i>Antecedentes internacionales</i>	78
5.2	Propuesta de medidas nuevas y/o mantención o modificación de las actuales, la cual debe contar con descripción, justificación y distintos escenarios normativos para la posterior evaluación de cada una de ellas	87
5.2.1	<i>Propuesta respecto a medidas del PPDA vigente</i>	87
5.2.2	<i>Propuesta de medidas nuevas</i>	90
5.3	Costos incrementales de inversión, operación y mantención de cada medida según los escenarios propuestos	91
5.3.1	<i>P1: Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos</i>	92
5.3.2	<i>M1: Definición de la Zona A y B.</i>	95
5.3.3	<i>P2, C1 y C2: Programas educativos y de difusión</i>	99
5.3.4	<i>E1: Incorporación de Energía Distrital para nuevos proyectos inmobiliarios en la RM.</i>	101
6.	Determinación del potencial de reducción de emisiones de las medidas propuestas, con una proyección de 15 años a partir del año base 2022	108
6.1	Metodología para estimar los potenciales de reducción de emisiones	108
6.1.1	<i>P1: Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos</i>	108
6.1.2	<i>M2: Prohibición de uso de calefactores a leña en Zona A</i>	109
6.2	Resultados de la estimación de potenciales de reducción	110
6.3	Análisis y priorización de las medidas propuestas en términos de costos, potencial de reducción y dificultad de implementación	112
7.	Conclusiones	113
8.	Bibliografía	115

Lista de Tablas

Tabla 3-1 Medidas actuales del PPDA RMS del Sector Residencial	12
Tabla 3-2 Identificación de estudios revisados	14
Tabla 3-3 Sistematización de las medidas del PPDA RMS del sector residencial – Estudio 1	15
Tabla 3-4 Resumen general del total de emisiones [ton/año] – Estudio 2	19
Tabla 3-5 Estado de Avance de las Medidas del PPDA RMS, año 2022	20
Tabla 3-6 Factores de emisión de MP10 para artefactos a leña	25
Tabla 3-7 Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes ...	25
Tabla 3-8 Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles	26
Tabla 3-9 Principales hallazgos de los estudios revisados	29
Tabla 3-10 Clasificación de medidas del sector residencial del PPDA RMS	29
Tabla 3-11 Cantidad de artefactos a leña por provincia, año 2022	31
Tabla 3-12 Cantidad de artefactos a leña por provincia en la RM, año 2018	32
Tabla 3-13 Disminución de la cantidad de calefactores y cocinas a leña en la Zona A, periodo 2018-2022	32
Tabla 3-14 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]	33
Tabla 3-15 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición Zona A	33
Tabla 3-16 Disminución de la cantidad de calefactores en la Zona B, periodo 2018-2022	33
Tabla 3-17 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]	34
Tabla 3-18 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición Zona B	34
Tabla 3-19 Recambios de calefactores a leña realizados en la RM (2018-2022)	35
Tabla 3-20 Disminución de la cantidad de calefactores en la RM, periodo 2018-2022	35
Tabla 3-21 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]	36
Tabla 3-22 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición RM	36
Tabla 3-23 Referencias utilizadas para la proyección del inventario de emisiones	39
Tabla 3-24 Estimación de recambios anuales que podría realizar Anglo American en cada provincia, Escenario 3.1	40
Tabla 3-25 Estimación de recambios anuales que podría realizar Anglo American en cada provincia, Escenario 3.2	40
Tabla 3-26 Estimación de recambios anuales por tipo de artefacto a leña, Escenario 3.1	41
Tabla 3-27 Estimación de recambios anuales por tipo de artefacto a leña, Escenario 3.2	41
Tabla 3-28 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 1	42
Tabla 3-29 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 2	42
Tabla 3-30 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1 ..	43
Tabla 3-31 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2 ..	43
Tabla 3-32 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 1 [ton/año]	46
Tabla 3-33 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 2 [ton/año]	46
Tabla 3-34 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1 [ton/año]	47
Tabla 3-35 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2 [ton/año]	47

Tabla 3-36 Factores de emisión utilizados en la proyección de emisiones.....	49
Tabla 3-37 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año], Escenario 1.....	50
Tabla 3-38 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año], Escenario 2.....	51
Tabla 3-39 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año], Escenario 3.1.....	51
Tabla 3-40 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año], Escenario 3.2.....	52
Tabla 3-41 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1.....	56
Tabla 3-42 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2.....	56
Tabla 3-43 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1.....	57
Tabla 3-44 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2.....	57
Tabla 3-45 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1.....	58
Tabla 3-46 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2.....	58
Tabla 3-47 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1.....	59
Tabla 3-48 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2.....	59
Tabla 3-49 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1.....	60
Tabla 3-50 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2.....	60
Tabla 3-51 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1.....	60
Tabla 3-52 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2.....	61
Tabla 4-1 Evaluación modificación medidas sector residencial PPDA RMS	63
Tabla 4-2 Límites de emisión según potencia, D.S. 39 de 2011 del MMA.....	69
Tabla 4-3 Límites de emisión según potencia, PPDA, D.S. 31 de 2016 del MMA.....	69
Tabla 5-1 Medidas de reducción de emisiones atmosféricas de antecedentes nacionales	76
Tabla 5-2 Medidas de reducción de emisiones atmosféricas de antecedentes internacionales.	84
Tabla 5-3 Propuestas respecto a medidas del PPDA vigente	87
Tabla 5-4 Propuesta de nuevas medidas para el PPDA	91
Tabla 5-5 Asignación presupuestaria en marco de Subprograma de fiscalización ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación de la Subsecretaría de Salud Pública	92

Tabla 5-6 Parámetros generales	93
Tabla 5-7 Parámetros parrillas residenciales	93
Tabla 5-8 Costos de inversión medida P1	93
Tabla 5-9 Aumento en el número de fiscalizaciones ambientales realizadas	94
Tabla 5-10 Costos operacionales medida P1	94
Tabla 5-11 Costos totales de implementación para la medida P1 a partir del año base (2022)..	95
Tabla 5-12 Aumento en el número de fiscalizaciones ambientales realizadas	96
Tabla 5-13 Cantidad de recambio de artefactos durante el periodo de 2026-2037	96
Tabla 5-14 Parámetros generales	96
Tabla 5-15 Parámetros artefactos a leña	97
Tabla 5-16 Parámetros Aire Acondicionado	97
Tabla 5-17 Costos de inversión medida M1	97
Tabla 5-18 Costos operacionales medida M1	98
Tabla 5-19 Costos totales de implementación para la medida P1 a partir del año base (2022)..	99
Tabla 5-20 Costos fijos por programas de educación y difusión para las medidas P2, C1 y C2.	100
Tabla 5-21 Costo anual de mantención	101
Tabla 5-22 Costos totales de implementación para las medidas P2, C1, C2.	101
Tabla 5-23 Tamaño del proyecto en Temuco	102
Tabla 5-24 Parámetros generales medida E1	102
Tabla 5-25 Consumo energético RM	102
Tabla 5-26 Costos Unitarios de Calderas GLP	103
Tabla 5-27 Cálculo Sistema de Generación de Calor	103
Tabla 5-28 Costo de Instalación en Vivienda	104
Tabla 5-29 Costo de Inversión Total Temuco	104
Tabla 5-30 Costos Operacionales Temuco	104
Tabla 5-31 Resumen costos Temuco ajustados a 2024	105
Tabla 5-32 Inversión Anualizada Temuco	105
Tabla 5-33 Costo Total Medida E1	105
Tabla 5-34 Costos totales de Implementación de la medida E1	106
Tabla 5-35 Comparación tecnologías de calefacción RM	106
Tabla 6-1 Medidas propuestas que poseen potencial de reducción de emisiones	108
Tabla 6-2 Cantidad de horas promedio al año por parrilla residencial	109
Tabla 6-3 Factores de emisión estimados para parrillas a gas	109
Tabla 6-4 Disminución cantidad artefactos a leña por ampliación Zona A	110
Tabla 6-5 Reducción de emisiones generada por medida P1 [t/año], 2022-2037	111
Tabla 6-6 Reducción de emisiones generada por ampliación Zona A en medida M2 [t/año], 2022-2037	111
Tabla 6-7 Reducción total de emisiones en periodo de evaluación [ton]	112
Tabla 6-8 Costo-eficiencia de medidas evaluadas [M CLP/ton reducida]	112

Lista de Figuras

Figura 3-1 Interacción medidas sector residencial	28
Figura 3-2 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 1	44
Figura 3-3 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 2	44
Figura 3-4 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1	45
Figura 3-5 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2	45
Figura 3-6 Emisiones de MP10 proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]	53
Figura 3-7 Emisiones de MP2,5 proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]	54
Figura 3-8 Emisiones de NOx proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]	54
Figura 5-1 Potencial de reducción de MP10 y consumo de leña para medida de recambio de calefactores	71
Figura 5-2 Concentración horarias de MP2,5 e ingresos de urgencias respiratorias	72
Figura 5-3 Paquete de 14 medidas iniciales de la Estrategia	73
Figura 5-4 Desempeño energético de vivienda estudiada posterior a la mejora	74
Figura 5-5 Resumen de variables utilizadas en cada país	82
Figura 5-6 Resumen de emisiones totales por escenario y contaminante en cada país	83
Figura 5-7 Porcentaje de urbanización comunas Zona B – RM	90
Figura 5-8 Costos Anualizados tecnologías de calefacción	107

Acrónimos y Abreviaturas

Abreviaturas

ACB:	Análisis Costo Beneficio
ACE:	Análisis Costo Efectividad
AGIES:	Análisis General del Impacto Económico y Social
BS:	Beneficio Social
BSN:	Beneficio Social Neto
FE:	Factores de Emisión
FEC:	Factores Emisión-Concentración
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IPC:	Ingreso Per Cápita
MMA:	Ministerio del Medio Ambiente
NA:	Nivel de Actividad
PPDA:	Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental
RMS:	Región Metropolitana de Santiago
SEREMI:	Secretaría Regional Ministerial
TIR:	Tasa Interna de Retorno
VAN:	Valor Actual Neto
VET:	Valor Económico Total
WTP:	Disposición a Pagar, por sus siglas en inglés “Willingness to Pay”

Prefijos

T:	Tera (10^{12})
G:	Giga (10^9)
M:	Mega (10^6)
K:	Kilo (10^3)
m:	Mili (10^{-3})
μ :	Micro (10^{-6})
n:	Nano (10^{-9})

Unidades Básicas

A:	Ampere (Corriente eléctrica)
m:	Metro (Longitud)
Kg:	Kilogramo (Masa)
S:	Segundo (Tiempo)
°C:	Celsius (Temperatura)

Unidades Derivadas

m^2 : Metro cuadrado m^2 (Superficie o área)

m^3 : Metro cúbico (Volumen)

m/s : Metro por segundo (Velocidad)

m/s^2 : Metro por segundo al cuadrado (Aceleración)

J: Joule (Energía, Trabajo)

W: Watt (Potencia)

Formato

"," separador decimal

"." separador de miles

Resumen Ejecutivo

El presente informe corresponde a la entrega final del estudio que evalúa las medidas de descontaminación atmosférica para el sector residencial de la Región Metropolitana. En línea con lo anterior, se presenta una proyección de 15 años del inventario de emisiones del sector residencial en la Región Metropolitana de Santiago (RMS), a partir del inventario con año base 2022. Además, se incluye un análisis de las medidas actuales del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la RMS (PPDA RMS) para identificar sinergias con la actualización del presente Plan.

Para realizar la proyección del inventario de emisiones, en primer lugar, se realiza un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las medidas actuales asociadas al sector residencial en el PPDA RMS, el cual sirve como insumo para la elaboración de la proyección. Se presenta una sistematización de las medidas actuales del sector residencial en el PPDA RMS (Ver Tabla 3-1). Asimismo, se revisan estudios disponibles con el objetivo de identificar información relevante para el diagnóstico de las medidas del PPDA RMS, recopilando los principales hallazgos de cada estudio. Luego, se realiza la proyección a 15 años, basada en el inventario del sector residencial con año base 2022, detallando la metodología e información utilizada. Dicha proyección considera cuatro escenarios de proyección: el Escenario 1 asume un 95% de cumplimiento del PPDA vigente, el Escenario 2 considera que la cantidad de artefactos a leña aumenta según la cantidad de viviendas, el Escenario 3.1 considera la implementación del recambio de 50.000 calefactores a leña comprometido por Anglo American en el marco del proyecto Los Bronces Integrado, y el Escenario 3.2 considera la implementación de 70.000 recambios por Anglo American.

Por otro lado, la principal modificación propuesta a las medidas actuales corresponde a la redefinición de la Zona A y Zona B del PPDA, en donde se propone agregar a la Zona A las comunas de Peñaflor, Padre Hurtado, Buin, El Monte, Lampa, Colina y Talagante (M1). Por otro lado, se propone como nueva medida la prohibición de uso de parrillas a carbón durante episodios críticos (P1), esto a raíz de la creciente relevancia que tendrán las parrillas residenciales en las emisiones del sector residencial, como se pudo observar en la proyección de emisiones. Por último, se propone como nueva medida la incorporación de un sistema de calefacción con Energía Distrital (ED) para nuevos proyectos inmobiliarios en la Zona B, diseñados para atender complejos habitacionales con el fin de reducir las emisiones asociadas a los sistemas individuales de calefacción, promoviendo el uso eficiente de energías renovables.

Si bien las medidas propuestas destacan por su potencial en la reducción de emisiones y el uso eficiente de energías renovables, los análisis realizados permitieron identificar desafíos importantes en términos de costos de inversión y operación, principalmente en la implementación de la Energía Distrital. En la Sección 5 y Sección 6 del presente informe se muestra en detalle la estimación de los costos y reducción de emisiones asociadas para estimar la costo-eficiencia.

1. Antecedentes y justificación del estudio

El D.S. N°31/2016 del MMA, del 24 de noviembre de 2017, que establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (en adelante PPDA), tiene por objetivo dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental de aire, asociadas a los contaminantes Material Particulado Respirable (MP10, Material Particulado Fino Respirable (MP2,5) y Ozono (O₃), en un plazo de 10 años.

Mediante Resolución Exenta N°1442 del MMA, de 24 de noviembre de 2022, se da inicio al proceso de revisión y actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. Para lo anterior se requiere contar con el inventario de emisiones de contaminantes locales de los distintos sectores identificados en el PPDA vigente. En este caso en particular, se considera la elaboración del inventario de emisiones del sector Residencial.

Durante el año 2022, se realizó un estudio denominado "Caracterización y catastro de calefactores a leña de uso residencial en la Región Metropolitana" (de ahora en adelante, "Estudio 2022", disponible en <https://airerm.mma.gob.cl/documentos/>), encargado por la Secretaría Regional Ministerial de la Región Metropolitana (SEREMI MA RM). En este estudio se llevó a cabo un catastro piloto de calefactores a leña, el cual fue extrapolado a toda la Región Metropolitana. Con este catastro se obtuvo un inventario de emisiones de calefactores a leña de la Región, el cual sirvió de base para caracterizar el consumo de leña y sus derivados, además de las emisiones de contaminantes locales asociadas a su combustión en el Sector Residencial.

Adicionalmente, durante 2023 se elaboró el inventario de emisiones para el sector residencial de la RMS (licitación ID 611134-7-LE23) tomando como insumo la información levantada durante 2022 y también nuevos antecedentes de caracterización de la población y sus consumos energéticos en la Región, como lo es la encuesta CASEN de 2022.

Los estudios mencionados previamente son la base para poder avanzar en la evaluación de medidas de descontaminación atmosférica para la RMS en el sector residencial, sin embargo, para la priorización de dichas medidas se requiere adicionalmente realizar una evaluación detallada del potencial de reducción de emisiones en cada caso, además de generar proyecciones de emisiones y evaluar los costos asociados a ellas a estas medidas, que es lo que se busca en el presente estudio.

Los resultados que se buscan en este estudio son de gran importancia para poder realizar el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) que tendrá el Plan de Descontaminación Atmosférica de la RMS, insumo esencial en el proceso de actualización de este instrumento.

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo general

Determinar medidas de reducción de emisiones de material particulado, sus precursores y otros gases para el sector residencial, además de generar los insumos necesarios para llevar a cabo el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) sobre estas medidas, en el marco de la actualización del PPDA RMS.

2.2 Objetivos específicos

- a) Obtener una proyección del inventario de emisiones del sector Residencial para la RMS.
- b) Realizar un análisis de las medidas actuales del PPDA RMS y de otras normativas asociadas al sector Residencial que tengan injerencia de las emisiones atmosféricas, que permita identificar sinergias con la actualización del presente Plan.
- c) Proponer medidas nuevas y/o una mantención o modificación de las medidas actuales, para la actualización del presente Plan, donde se indique descripción, justificación y costos asociados a cada una de ellas.
- d) Determinar el potencial de reducción de emisiones de las medidas propuestas, con una proyección de 15 años a partir del año base 2022. Lo anterior puede ser para medidas por separado o grupo de ellas y sus interacciones.
- e) Realización de Seminario Online (coordinación, invitación y convocatoria, registro de asistencia, respaldos digitales, presentaciones, entre otros) con presentación de Resultados de Informe Final.

3. Proyección del inventario de emisiones del sector Residencial para la RMS

3.1 Diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las medidas actuales asociadas al sector residencial en el PPDA RMS

En la presente sección se detalla el diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las medidas actuales del sector residencial en el PPDA de la Región Metropolitana de Santiago (RMS) y de otras normativas asociadas al sector. Lo anterior será utilizado como insumo para la elaboración de la proyección del inventario de emisiones del sector residencial de la Región Metropolitana de Santiago (RMS).

3.1.1 Medidas actuales del sector residencial en el PPDA RMS

En la Tabla 3-1 se presenta una sistematización de las medidas actuales del PPDA RMS, correspondiente al sector residencial, las cuales se encuentran en el capítulo VII del D.S 31/2017, Se indica el N° de artículo, el capítulo, organismo a cargo, y tipo de medida.

Respecto al tipo de medida, la clasificación “Política Pública” corresponde a medidas de políticas públicas generales y elaboración de normativas generales o autorregulación; “Educación y Difusión” corresponden a medidas que busquen motivar e informar a las personas respecto a la sustentabilidad; “Estudios” son medidas que tienen por objeto generar información que permita evaluar, hacer un diagnóstico, propuestas, entre otras funcionalidades; y las “Regulatorias” corresponden a normas de carácter general y obligatorio, establecidas en el plan que regulan fuentes emisoras u otras actividades. Esta clasificación de medidas proviene de los Informes de Estado de Avance del PPDA de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Tabla 3-1 Medidas actuales del PPDA RMS del Sector Residencial

Medidas RM	Artículo PPDA	Capítulo PPDA	Tipo de medida	Organismo responsable
Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A	74	VII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75	VII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Fortalecimiento seguimiento calidad del aire Zona B	76	VII	Política pública	MMA
Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin	77	VII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Prohibición de quema de residuos en calefactores	79	VII	Regulatorio	SEREMI de Salud

Medidas RM	Artículo PPDA	Capítulo PPDA	Tipo de medida	Organismo responsable
Ordenanzas municipales uso de calefactores a leña, pellet de madera y otros derivados de la madera	80	VII	Política pública	SEREMI de MMA
Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81	VII	Política pública	MMA
Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82	VII	Política pública	SEREMI de MMA
Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera, certificados y que cumplan límite emisión MP	83	VII	Regulatorio	Superintendencia de Electricidad y Combustible
Rediseño placa calefactores a leña y pellet de madera	84	VII	Política pública	MMA
Listado de calefactores a leña y pellet de madera que cumplan norma de emisión establecida en Artículo 83	85	VII	Educación y difusión	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
Comercialización de leña seca debe cumplir Norma NCh2907. Fiscalización de la comercialización mediante metodología de la Norma NCh2965.	86	VII	Regulatorio	Superintendencia del Medio Ambiente
Comerciantes de leña deben contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento del Artículo 86	87	VII	Regulatorio	Superintendencia del Medio Ambiente
Estándares técnicos para acondicionamiento térmico en viviendas existentes	88	VII	Política pública	SEREMI de Vivienda y Urbanismo
Subsidios especiales para acondicionamiento térmico en comunas de Zona B	89	VII	Política pública	SEREMI de Vivienda y Urbanismo
Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica en la RM	90	VII	Estudios	MMA
Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91	VII	Estudios	MMA
Fomento de proyectos/estudios de generación energía sustentable para calefacción	92	VII	Política pública	MMA
Informe sistema de certificación y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93	VII	Estudios	MMA
Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94	VII	Política pública	MMA
Medida Permanente Período GEC: Control de humos visibles	120.e	XII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña y otros derivados madera - Alerta ambiental	121.b	XII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Preemergencia ambiental	122.c	XII	Regulatorio	SEREMI de Salud
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Emergencia ambiental	123.c	XII	Regulatorio	SEREMI de Salud

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Revisión de estudios disponibles y recopilación de diagnósticos de medidas

Teniendo un enfoque en la identificación de información que sirva para el diagnóstico cualitativo y/o cuantitativo de las medidas del PPDA RMS, se revisaron los estudios y reportes detallados en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Identificación de estudios revisados

ID	Nombre del estudio	Referencia
Estudio 1	Revisión de las medidas del PPDA Región Metropolitana	(ECOS, 2023)
Estudio 2	Inventario de Emisiones Sector Residencial – Región Metropolitana	(Gramsch et al., 2023a)
Estudio 3	Informe de Avance de PPDA RM	(SMA, 2023)
Estudio 4	Catastro de emisiones de calefactores y cocinas	(Yáñez, 2022)
Estudio 5	Análisis de tendencia del Material Particulado en la Región Metropolitana y regiones Centro Sur	(MMA, 2020)
Estudio 6	Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente del Centro de Sistemas Públicos	(Centro de Sistemas Públicos, 2019)
Estudio 7	Manual de procedimientos calificación energética de viviendas en Chile	(Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Minvu, 2019)
Estudio 8	Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes en la Región Metropolitana	(Gramsch, 2014)
Estudio 9	Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana	(MMA, 2016)

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes subsecciones se presenta el detalle de la revisión realizada para cada estudio anteriormente presentado.

3.1.2.1 Revisión de las medidas del PPDA Región Metropolitana – Estudio 1

El estudio “Revisión de las medidas del PPDA Región Metropolitana” (ECOS, 2023) tiene como objetivo la revisión cuantitativa y cualitativa de las medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago en el sector residencial. Busca identificar posibles mejoras en el diseño y aplicación del plan para aumentar la efectividad, considerando criterios tales como el cambio climático, género, inclusión social, entre otros. La metodología de ECOS Chile se utilizó para sistematizar el PPDA y caracterizar sus medidas, evaluar la conformidad de la ejecución y resultados de las medidas, basada en la Resolución Exenta 1655/2019 de la SMA, priorizar las brechas detectadas en la criticidad y conformidad de las medidas, y proponer estrategias de actualización del PPDA. Los objetivos específicos del estudio fueron: (1) Revisión y levantamiento de antecedentes del PPDA, (2) Evaluación cuantitativa y cualitativa de las medidas de los capítulos III a XII del PPDA, (3) Sistematización de los resultados e identificación de oportunidades de mejora para las medidas del PPDA.

Durante el análisis del estudio, la contraparte técnica proporcionó los productos elaborados, los cuales también fueron revisados. De esta forma, se revisó y recopiló únicamente la información relacionada con el sector residencial.

En la Tabla 3-3 se presenta la sistematización de las medidas del sector residencial a partir de lo revisado en el estudio, en el cual se detalla el tipo de registro¹, la criticidad², estado³ de la medida y prioridad⁴. Es importante destacar que el estudio fue desarrollado con la información disponible en el momento, la cual era escasa. Esto influyó en que muchas medidas sean clasificadas como “No conforme” únicamente por falta de información para ser evaluada.

Tabla 3-3 Sistematización de las medidas del PPDA RMS del sector residencial – Estudio 1

Medidas RM	Artículo PPDA	Capítulo PPDA	Tipo de registro	Criticidad	Estado	Prioridad
Zonas sujetas al plan	73	VII	Antecedente	Baja	No conforme	Media prioridad
Prohibición total de calefacción a leña en Zona A	74	VII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad
Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75	VII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad
Fortalecimiento monitoreo calidad del aire Zona B RM	76	VII	Medida mediano plazo	Media	No conforme	Alta prioridad
Prohibición salamandras, braseros y otros de uso domiciliario	77	VII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad
Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81	VII	Medida mediano plazo	Baja	Conforme	Conforme

¹ Contenido del PPDA, refiere a obligaciones, actividades o medidas.

² Nivel de relevancia en su ejecución.

³ Estado de verificación documental, ordenanzas o estudios que regulen o incentiven las fuentes de emisión.

⁴ Prioridad de ejecución.

Medidas RM	Artículo PPDA	Capítulo PPDA	Tipo de registro	Criticidad	Estado	Prioridad
Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82	VII	Medida Corto plazo	Baja	Parcialmente conforme	Baja prioridad
Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera	83	VII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad
Evaluación Estándares y Subsidios para el Reacondicionamiento Térmico en la Zona B	88 – 89	VII	Medida corto plazo	Alta	Parcialmente conforme	Alta prioridad
Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica	90	VII	Medida corto plazo	Baja	Conforme	Conforme
Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91	VII	Medida corto plazo	Baja	No conforme	Media prioridad
Fomento generación energía sustentable para calefacción	92	VII	Medida corto plazo	Alta	Parcialmente conforme	Alta prioridad
Informe sistema de certificación de emisiones y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93	VII	Medida mediano plazo	Baja	No conforme	Media prioridad
Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94	VII	Medida mediano plazo	Baja	No conforme	Media prioridad
Control de Humos Visibles	120.e	XII	Medida corto plazo	Media	Parcialmente conforme	Baja prioridad

Medidas RM	Artículo PPDA	Capítulo PPDA	Tipo de registro	Criticidad	Estado	Prioridad
Prohibición de artefactos de calefacción residencial de leña y sus derivados – Alerta ambiental	121.b	XII	Medida corto plazo	Media	Parcialmente conforme	Media prioridad
Prohibición de artefactos de calefacción residencial de leña y sus derivados – Preemergencia ambiental	122.c	XII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad
Prohibición de artefactos de calefacción residencial de leña y sus derivados – Emergencia ambiental	123.c	XII	Medida corto plazo	Alta	No conforme	Máxima prioridad

Fuente: Elaboración propia en base a (ECOS, 2023)

3.1.2.2 Inventario de Emisiones Sector Residencial – Región Metropolitana – Estudio 2

El estudio N°2 "Inventario de Emisiones Residenciales – Región Metropolitana" (Gramsch et al., 2023a) fue desarrollado en 2023 para el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, y tiene como objetivo principal desarrollar un inventario de emisiones de contaminantes locales del sector residencial de la Región Metropolitana para el año 2022.

Los objetivos específicos del documento incluyen:

- Realizar un levantamiento bibliográfico para caracterizar las distintas fuentes de emisión del sector residencial y los energéticos utilizados.
- Implementar una metodología que mejore los resultados de un estudio previo sobre calefactores y cocinas a leña de uso residencial en la Región Metropolitana.
- Crear un sistema de registro digital para compilar información sobre niveles de actividad y factores de emisión asociados al sector residencial.
- Elaborar el inventario de emisiones del sector residencial para la Región Metropolitana al año 2022.

El estudio entrega como resultados las emisiones residenciales de la RM, emitidas por la calefacción a leña, y por otros tipos de combustibles entre ellos gas licuado, gas natural, y kerosene. También, se entregan emisiones totales de restaurantes de parrilladas, hornos de barro y carritos ambulantes, cuyas emisiones fueron poco significativas, a excepción de las parrillas residenciales, que generan emisiones importantes para el sector residencial.

La estimación de las emisiones de carritos, hornos y restaurantes de parrilladas se realiza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1 Estimación de emisiones de carritos, hornos, restaurantes, parrilladas

$$E_{ca} = FE_{ca} * N_a * A_a$$

Donde:

- E : Emisión del contaminante “c” provenientes del tipo de fuente “a” (correspondiente a carritos, hornos, restaurantes o parrillas) [kg/año].
- FE_{ca} : Factor de emisión del contaminante “c” para el tipo de fuente “a” (correspondiente a carritos, hornos, restaurantes o parrillas).
- N_a : Número de fuentes de tipo “a”.
- A_a : Nivel de actividad para la fuente de tipo “a”.

Por otro lado, las emisiones de calefacción a leña se estimaron mediante la Ecuación 3-2, definida por la EPA y aplicada en el Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana del año 2014 (Gramsch, 2014):

Ecuación 3-2 Estimación emisiones provenientes del uso de leña en calefacción y cocina

$$E_{ca} = FE_{ca} * N_a * A_c * M_h * M_o * M_l$$

Donde:

- E_{ca} : Emisiones del contaminante “c” provenientes del artefacto “a” [ton/año].
- FE_{ca} : Factor de emisión del contaminante “c” para el artefacto “a” para la leña [ton/kg]
- N_a : Número de artefactos del tipo “a”.
- A_c : Nivel de actividad para el artefacto tipo “a” definido por el consumo anual de combustible [kg/año] para ese artefacto.
- M_h : Modificador relacionado con la humedad de la leña.
- M_o : Modificador relacionado con la operación del artefacto.
- M_l : Modificador relacionado con el tipo de leña.

A continuación, en la Tabla 3-4 se presentan las emisiones totales estimadas para cada fuente de emisión y contaminante, para las provincias de Santiago, Cordillera, Chacabuco, Maipo, Melipilla y Talagante.

Tabla 3-4 Resumen general del total de emisiones [ton/año] – Estudio 2

Fuente de emisión	MP2,5	MP10	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4	OC	BC	THC
Calefacción a Leña	1.322	1.349	12.806	139	7.650	19	116	179.809	1.037			
Gas licuado	43,5	43,5	915,5	1.523,7		1,4						
Gas natural	10,2	10,2	451,5	536,9	29,6	3,2	2,6					
Kerosene	2,9	10,9	51,6	205,5	3,6	304,9	10,2					
Restaurante	4,7	5,8	4,6							5,7	0,1	
Hornos	0,8	0,8	6,0							1,4	0,0	
Carritos	1,1	1,4	26,3	0,5	0,1							0,6
Parrillas Residenciales	667,8	703,0	12.379,1	167,0	71,2							
Total	2.053,0	2.124,6	26.640,5	2.572,6	7.754,5	328,5	128,8	179.809,0	1.037,0	7,1	0,1	0,6

Fuente: (Gramsch et al., 2023a)

3.1.2.3 Informe del Estado de Avance de PPDA RM, año 2022 – Estudio 3

El informe de avance del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (PPDA RM) del año 2022⁵ (SMA, 2023), proporciona una actualización del estado de implementación de las medidas.

La contraparte técnica proporcionó dos archivos Excel, que corresponden a anexos digitales del informe de avance. Uno de estos archivos contiene una sistematización de las medidas del PPDA RM, y el otro contiene las actividades reportadas al año 2022.

En el primer archivo se detalla:

- Órgano público a cargo
- Oficio
- Categoría: Educación y difusión, Elaboración de estudios, Política pública y Regulatorias
- Medida del PPDA
- Actividad reportada 2022
- Cantidad reportada

El segundo, medidas PPDA RM, se clasifica la medida de acuerdo a:

- Órgano público
- Medida del PPDA
- Categoría: Educación y difusión, Elaboración de estudios, Política pública y Regulatorias
- Tipo según configuración: Permanente/No permanente
- Estado 2022: Permanente, y no permanente como: terminada, iniciada, no iniciada.

En la Tabla 3-5 se muestra el estado de avance de cada medida al año 2022.

Tabla 3-5 Estado de Avance de las Medidas del PPDA RMS, año 2022

Medida	Artículo	Actividad reportada 2022	Tipo de configuración	Estado 2022
Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas en la Zona A	74	Fiscalización	Permanente	Permanente
Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75	S/I	Permanente	Permanente
Fortalecimiento seguimiento calidad del aire Zona B	76	S/I	Permanente	Permanente
Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin	77	Fiscalización	Permanente	Permanente

⁵ Año más actual disponible públicamente.

Medida	Artículo	Actividad reportada 2022	Tipo de configuración	Estado 2022
Prohibición de quema de residuos en calefactores	79	S/I	Permanente	Permanente
Ordenanzas municipales uso de calefactores a leña, pellet de madera y otros derivados de la madera	80	Propuesta de Ordenanza Municipal, enviada a Municipios; y link que redirige a ordenanzas municipios de la RM (Zona B)	No permanente	Iniciada
Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81	Informe "Caracterización y catastro de parrillas, hornos de barro y carros ambulantes para uso comercial que utilicen leña y sus derivados en la RMS"	No permanente	Iniciada
Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82	Listado de PCE aprobados	Permanente	Permanente
Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera, certificados y que cumplan límite emisión MP	83	Fiscalización	Permanente	Permanente
Rediseño placa calefactores a leña y pellet de madera	84	S/I	No permanente	Terminada
Listado calefactores a leña y pellet de madera que cumplan con norma de emisión	85	Link página web SEC	Permanente	Permanente
Comercialización de leña seca	86	Fiscalización	Permanente	Permanente
Comerciantes de leña deben contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento del Artículo 86	87	S/I	Permanente	Permanente
Estándares técnicos para acondicionamiento térmico en viviendas existentes	88	Entrega de subsidios	Permanente	Permanente
Subsidios especiales para acondicionamiento térmico en comunas de Zona B	89	Entrega de subsidios	Permanente	Permanente
Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica en la RM	90	S/I	No permanente	Terminada
Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91	S/I	No permanente	No iniciada
Fomento de proyectos/estudios de generación energía sustentable para calefacción	92	S/I	No permanente	No iniciada
Informe sistema de certificación y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93	S/I	No permanente	No iniciada
Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94	S/I	No permanente	Iniciada
Medida Permanente Período GEC: Control de humos visibles	120.e	S/I	Permanente	Permanente
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña GEC	121.b, 122.c, 123.c	Fiscalización	Permanente	Permanente

Fuente: Elaboración propia en base a (SMA, 2023)

3.1.2.4 Catastro de emisiones de calefactores y cocinas – Estudio 4

El objetivo del estudio N°4 es informar acerca de la creación de los medios que permitan elaborar un catastro de calefactores y cocinas a leña en la Región Metropolitana y su respectivo inventario (Yáñez, 2022), a través de:

- Caracterización de los tipos de calefactores y cocinas a leñas
- Creación de un sistema de registro digital para una base de datos de calefactores y cocinas a leña
- Elaboración de un catastro piloto de calefactores y cocinas
- Elaboración del inventario de emisiones de calefactores y cocinas
- La creación de material de difusión de los resultados del estudio

A continuación, se presenta información relevante recopilada del estudio.

Penetración de leña

A nivel nacional se estimó un total de 1.721.032 casas que utilizan leña como combustible. En particular, en la Región Metropolitana se estima un total de 145.870 casas que consumen leña, correspondiente a una penetración del 7%.

Metodología para el cálculo de emisiones MP10 provenientes del uso de leña en calefacción y cocina

Esta metodología fue definida por la EPA y aplicada en el Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana del año 2014 (Gramsch, 2014). A continuación, se presenta el cálculo para estimar las emisiones MP10 provenientes del uso de leña en calefacción y cocina.

Ecuación 3-3 Cálculo para estimar emisiones MP10 provenientes del uso de leña en calefacción y cocina

$$E_{ca} = FE_{ca} * N_a * A_c * M_h * M_o * M_l$$

Donde:

- E_{ca} : Emisiones del contaminante “c” provenientes del artefacto “a” [ton/año].
- FE_{ca} : Factor de emisión del contaminante “c” para el artefacto “a” para la leña [ton/kg]
- N_a : Número de artefactos del tipo “a”.
- A_c : Nivel de actividad para el contaminante “c” y el artefacto tipo “a” definido por el consumo anual de combustible [kg/año] para ese artefacto.
- M_h : Modificador relacionado con la humedad de la leña.
- M_o : Modificador relacionado con la operación del artefacto.
- M_l : Modificador relacionado con el tipo de leña.

Metodología para el cálculo de las emisiones provenientes de asados en parrilla residenciales

A continuación, se presenta la metodología propuesta para estimar las emisiones provenientes de parrillas residenciales para esparcimiento. Incluyen emisiones de la quema de carbón (incluidos el uso de líquido para encendedores y emisiones de todo tipo de carne cocinada en parrillas de carbón, gas y eléctricas).

Las emisiones de esta categoría de fuente incluyen los contaminantes CO, NOx, MP10, MP2,5, COV y HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos).

A continuación, se presenta el cálculo para estimar las emisiones provenientes de parrillas residenciales:

Ecuación 3-4 Cálculo para estimar emisiones provenientes de parrillas residenciales

$$E_c = FE_c * N_a * M$$

Donde:

- E_c : Emisiones del contaminante “c” provenientes de las parrillas [kg/año].
- FE_c : Factor de emisión del contaminante “c” para el artefacto “a” por hora [g/kg].
- N_a : Número de artefactos del tipo “a” en cada comuna.
- M : Masa de carne cocinada por parrilla, proveniente de las encuestas.

Los resultados de este estudio se utilizaron como insumo para la elaboración del inventario de emisiones del sector residencial, en este informe identificado como “Estudio “ (ver Sección 3.1.2.2)

3.1.2.5 Análisis de tendencia del Material Particulado en la Región Metropolitana y regiones Centro Sur – Estudio 5

El estudio N°5, “Análisis de tendencia del Material Particulado en la RM y regiones Centro Sur”, tiene como objetivo general, generar antecedentes técnicos mediante la caracterización fisicoquímico del material particulado en la RM para la estación Parque O’Higgins, entre los años 2014 – 2018, con el fin de estudiar la tendencia de concentración de MP10 y MP2,5 de las principales ciudades de la zona centro-sur del país (Rancagua - Coyhaique) con planes de descontaminación vigente, para apoyar el seguimiento de la evolución de la calidad del aire a nivel nacional (MMA, 2020). En este documento no se obtuvo información relevante para el diagnóstico de evaluación cuantitativa y cualitativa de las medidas del PPDA RMS.

3.1.2.6 Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente del Centro de Sistemas Públicos – Estudio 6

En relación al estudio N°6, “Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente del Centro de Sistemas Públicos”, su objetivo general es evaluar la modalidad de producción de los bienes y servicios entregados por el propio programa, enfocando el análisis en los criterios y mecanismos de focalización, en la gestión y ejecución de los procesos utilizados en su implementación y desempeño y resultados intermedios del programa (Centro de Sistemas Públicos, 2019). Sus objetivos específicos se basan en evaluar y analizar la eficacia y eficiencia de los programas en términos de focalización, priorización y producción de bienes y servicios, identificando errores de inclusión y exclusión, y verificando la coherencia y coordinación en los procesos establecidos. Además, se busca examinar si los

objetivos programáticos son alcanzables, evaluar el desempeño actual y determinar si existen problemas normativos que dificulten la ejecución. También se pretende identificar brechas entre el diseño teórico y la ejecución, evaluar las funciones de los actores involucrados y la gestión presupuestaria, y analizar la efectividad de los mecanismos de seguimiento y generación de información. Se estimaron reducciones asociadas al programa de recambio de calefactores para los Planes de Descontaminación de Valle Central de O'Higgins, Talca y Maule, Chillán y Chillán viejo, Temuco y Padre de las Casas, Osorno y Coyhaique. A partir de este estudio no se obtuvo información relevante para el diagnóstico de evaluación cuantitativa y cualitativa de las medidas del PPDA RMS.

3.1.2.7 Manual de procedimientos calificación energética de viviendas en Chile – Estudio 7

El estudio N°7 es un documento que corresponde a la quinta versión del manual de procedimientos y contiene las directrices técnicas, procedimentales y de gestión necesarias para realizar calificaciones energéticas a viviendas nuevas y existentes mediante la herramienta “Calificación Energética de Viviendas” (CEV) en Chile. La CEV busca introducir y difundir la eficiencia energética en el sector de la edificación, con el fin de que a corto plazo sea de importancia principal, tanto en la oferta como en la demanda habitacional, y que el mercado la reconozca como una señal de compromiso con el medio ambiente y la sustentabilidad. A partir de este estudio no se obtuvo información relevante para el diagnóstico de evaluación cuantitativa y cualitativa de las medidas del PPDA RMS.

3.1.2.8 Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana – Estudio 8

Por último, el estudio 8 elaborado por el Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile presenta modelos de dispersión utilizados, metodologías para calcular emisiones de diferentes fuentes, e inventario de emisiones 2012, lo cuales incluyen aparte del sector residencial, emisiones industriales, evaporativas, agrícolas, y de transporte. Para las emisiones residenciales se utilizó la clasificación de combustible, derivados de leña y otros (kerosene, gas licuado, otros).

Para las emisiones residenciales se estudian los siguientes combustibles:

- Leña
- Parafina o kerosene
- Gas licuado GLP
- Gas natural GN
- Gas de ciudad – gas propano diluido GPD

A continuación, se presentan las metodologías estudiadas y utilizadas para estimar las emisiones en el documento según su categoría.

Metodología de cálculo en las emisiones de Leña

A continuación, se presenta el cálculo para estimar las emisiones MP10 provenientes del uso de leña en calefacción y cocina.

Ecuación 3-5 Cálculo para estimar emisiones MP10 provenientes del uso de leña en calefacción y cocina

$$E_{ca} = FE_{ca} * N_a * A_{ca} * M_h * M_o * M_l$$

- E_{ca} : Emisiones del contaminante “c” provenientes del artefacto “a” [ton/año].
- FE_{ca} : Factor de emisión del contaminante “c” para el artefacto “a” para la leña (ton/kg)
- N_a : Número de artefactos del tipo “a”.
- A_c : Nivel de actividad para el contaminante “c” y el artefacto tipo “a” definido por el consumo anual de combustible [kg/año] para ese artefacto.
- M_h : Modificador relacionado con la humedad de la leña.
- M_o : Modificador relacionado con la operación del artefacto.
- M_l : Modificador relacionado con el tipo de leña.

Un resumen de los factores de emisión utilizados en este inventario.

Tabla 3-6 Factores de emisión de MP10 para artefactos a leña

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)	Referencia
Salamandra	15,3	AP-42
Estufa simple	15,3	AP-42
Estufa doble entrada	9,8	AP-42
Chimenea hogar abierto	17,3	AP-42
Chimenea hogar cerrada	9,8	AP-42
Caldera a leña	9,8	AP-42
Estufa a pellet	2,1	AP-42
Cocina a leña	15,3	AP-42
Otros	17,3	AP-42

Fuente: (Gramsch, 2014)

Tabla 3-7 Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)							Referencia
	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO ₂ ¹	CH4	
Salamandra	126,3	1,3	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa simple	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa doble entrada	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Chimenea hogar abierto	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Chimenea hogar cerrada	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Caldera a leña	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42
Estufa a pellet	115,4	1,3	26,5	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)							Referencia
	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO ₂ ¹	CH4	
Cocina a leña	126,3	1,4	115	0,18	1,1	1.700	9,8	AP-42

¹ El factor de emisión es mayor que la masa de leña que ingresa a la estufa porque por cada kg de leña también ingresan aproximadamente 7,3 kg de aire.

Fuente: Elaboración propia en base a (Gramsch, 2014)

Metodología de cálculo en las emisiones de otros combustibles

Para los demás combustibles residenciales (parafina, gas licuado, gas natural, o gas) las emisiones se obtienen multiplicando el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo al siguiente cálculo:

Ecuación 3-6 Cálculo para estimar emisiones de otros combustibles residenciales

$$E_c = FE_c * A_c$$

Donde:

- E_c : Emisiones del contaminante “c” en estudio [ton/año] por comuna.
- FE_c : Factor de emisión del contaminante “c” en estudio, en función del tipo de combustible [ton/kg] utilizado.
- A_c : Consumo anual del combustible por comuna para el artefacto. El consumo se obtiene de la SEC y se actualiza cada año.

Los factores de emisión se obtuvieron del Inventario de Emisiones 2005 para la RM:

Tabla 3-8 Factores de emisión por estufas residenciales que utilizan otros tipos de combustibles

Combustible	COT ¹	CO	NOx	MP	SO ₂	Unidad	NH ₃
Gas licuado	87,47	221,68	1.090,42	33,55	1,4	kg/1000 m ³	3,78x10 ⁻³ (kg/ton)
Parafina	298,73	599,13	2.156,88	299,57	3.567,06	kg/1000 m ³	0,0951 (kg/ton)
Gas natural	180	640	1.500	182,8	10	kg/10 ⁶ m ³	8,34x10 ⁻⁶ (kg/m ³) ²
Gas ciudad	180	640	1.500	182,8	0,01	kg/10 ⁶ m ³	2,65x10 ⁻⁶ (kg/ m ³) ²

¹ Compuestos orgánicos totales.

² DEVELOPMENT AND SELECTION OF AMMONIA EMISSION FACTORS, Final Report by R. Battye, W. Battye, C. Overcash, and S. Fudge.

Fuente: Elaboración propia en base a (Gramsch, 2014)

3.1.2.9 Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana – Estudio 9

En el estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana” (en adelante, AGIES del PPDA) (MMA, 2016) se realiza una evaluación ambiental y económica de las medidas del PPDA de distintos sectores, incluido el sector residencial.

A partir del AGIES del PPDA, se presenta la metodología utilizada para la estimación de emisiones por calefacción para el sector residencial:

Ecuación 3-7 Ecuación para la estimación de emisiones

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

Donde:

- Emisiones: Emisiones [g/año]
- η_i : Eficiencia de calefacción del equipo tecnología i
- FE_i : Factor de emisión equipo tecnología i [g/kg]
- Demanda de calor: Demanda de calor de la vivienda j [MJ/vivienda-año]
- PC_j : Poder calorífico del combustible utilizado por tecnología j [MJ/kg]

En cuanto a los supuestos considerados, los supuestos de evaluación son:

- Prohibición leña zona A:
 - Vigencia: 2017
 - Cumplimiento: 50% en 2017, 70% en 2018, 80% en 2019, 85% en 2020, 90% entre 2021 y 2025, 95% en 2026.
- Prohibición salamandras y otros:
 - Vigencia: 2017
 - Cumplimiento: 50% en 2020, 60% en 2021, 70% en 2022, 80% en 2023, 90% entre 2024 y 2025, 95% en 2026.
- Prohibición leña zona B:
 - Vigencia: 2017
 - Cumplimiento: 50% en 2022, 60% en 2023, 70% en 2024, 80% en 2025, 95% en 2026.

Mientras que los supuestos transversales incluyen:

- Equipos de recambio: Se asume que los equipos que reemplazarán a los prohibidos o recambiados corresponden en un 10% a pellets, 40% kerosene, 48% a gas y 2% eléctricos, proporción similar a la actual distribución de combustibles para calefacción en la región metropolitana.
- Se asume un crecimiento anual del parque de calefactores de 1,06%, según proyecciones del estudio (CMM, 2014).

Respecto a la evaluación de medidas del sector residencial en dicho documento, la reducción de emisiones⁶ se estima como las emisiones finales (escenario con Plan) menos las iniciales (escenario línea base). 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 (MMA, 2016).

⁶ O emisiones evitadas, dado que son las emisiones que no se emitirán en el escenario con Plan.

Adicionalmente, se destaca que para la estimación de la reducción de emisiones se debe considerar que las medidas del sector residencial poseen interacciones entre sí, por lo que no pueden ser evaluadas en forma independiente, sino que en forma secuencial, tal como se presenta en la Figura 3-1.

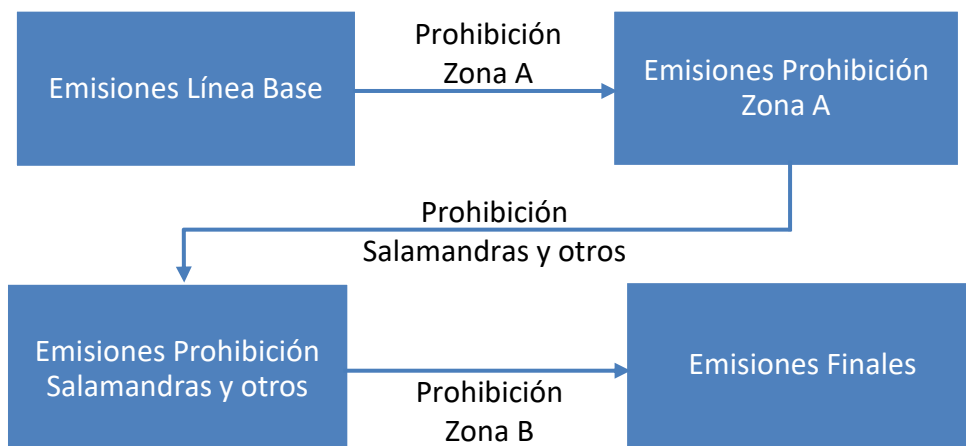


Figura 3-1 Interacción medidas sector residencial

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2016)

3.1.2.10 Resumen Estudios analizados

A modo de resumen, en la Tabla 3-9 se presentan los principales hallazgos de cada uno de los estudios revisados respecto a evaluación cuantitativa y/o cualitativa de las medidas. Cabe destacar que, a partir de la revisión de los estudios, se puede concluir que existe escasa información cuantitativa acerca de las medidas del sector residencial.

Tabla 3-9 Principales hallazgos de los estudios revisados

Estudio	Principales hallazgos
Estudio 1	Fichas técnicas con información de tipo cualitativa, estado, tipo de registro, tipo de medida, criticidad, prioridad, organismo a cargo, entre otros.
Estudio 2	Se recopiló información de tipo cuantitativa. El estudio entrega como resultados las emisiones residenciales de la RM, emitidas por la calefacción a leña, y por otros tipos de combustibles entre ellos gas licuado, gas natural, y kerosene. También, se entregan emisiones totales de restaurantes de parrilladas, hornos de barro y carritos ambulantes, las que serían poco significativas. Por otro lado, las emisiones generadas por parrillas residenciales si son significativas y corresponden a un hallazgo importante de este estudio.
Estudio 3	Proporciona una actualización del estado de implementación de las medidas. Ver Tabla 3-5.
Estudio 4	Caracterización de los tipos de calefactores y cocinas a leñas. Elaboración de un catastro piloto de calefactores y cocinas. Elaboración del inventario de emisiones de calefactores y cocinas.
Estudio 5	S/I
Estudio 6	S/I
Estudio 7	S/I
Estudio 8	Presenta modelos de dispersión utilizados, factores de emisión, cantidad de artefactos, metodologías para calcular emisiones de diferentes tipos de combustibles, e inventario de emisiones 2012, lo cuales incluyen aparte del sector residencial, emisiones industriales, evaporativas, agrícolas, y de transporte. Para las emisiones residenciales se utilizó la clasificación de combustible, derivados de leña y otros (kerosene, gas licuado, otros).
Estudio 9	Se estima la reducción de emisiones asociada a las medidas de los artículos 74, 75 y 77, y se proyectan emisiones del sector residencial a 2026. Para ello, se distribuyen porcentajes de cumplimiento asignados para distintos periodos de tiempo.

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Estimación de la reducción de emisiones de medidas

Como se pudo notar a partir de la revisión de estudios (ver Sección 3.1.2), existe escasa información cuantitativa para evaluar las medidas del sector residencial del PPDA. Para evaluar las medidas, en primer lugar, se realizó una clasificación de estas en tres categorías:

- Reducción permanente: Medidas cuya implementación implica una reducción de emisiones permanente, ya sea de forma indirecta o directa.
- Reducción en GEC: Medidas cuya implementación aplica en el periodo de Gestión de Episodios Críticos (GEC), por lo que implican una reducción de emisiones acotada a ese periodo (1 de mayo al 31 de agosto).
- Fiscalización: Medidas cuyo objetivo es fiscalizar otras medidas o la calidad del aire.
- Condiciones habilitantes: Medidas enfocadas en desarrollar las condiciones necesarias para la implementación de otras medidas.

En la Tabla 3-10 se presenta la clasificación de las medidas del sector residencial, según lo descrito anteriormente.

Tabla 3-10 Clasificación de medidas del sector residencial del PPDA RMS

Clasificación	Medida	Artículo PPDA
Reducción permanente	Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A	74
Reducción permanente	Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75

Clasificación	Medida	Artículo PPDA
Fiscalización	Fortalecimiento seguimiento calidad del aire Zona B	76
Reducción permanente	Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin	77
Reducción permanente	Prohibición de quema de residuos en calefactores	79
Condiciones habilitantes	Ordenanzas municipales uso de calefactores a leña, pellet de madera y otros derivados de la madera	80
Condiciones habilitantes	Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81
Condiciones habilitantes	Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82
Reducción permanente	Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera, certificados y que cumplan límite emisión MP	83
Reducción permanente	Rediseño placa calefactores a leña y pellet de madera	84
Condiciones habilitantes	Listado de calefactores a leña y pellet de madera que cumplan norma de emisión establecida en Artículo 83	85
Reducción permanente	Comercialización de leña seca debe cumplir Norma NCh2907. Fiscalización de la comercialización mediante metodología de la Norma NCh2965.	86
Fiscalización	Comerciantes de leña deben contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento del Artículo 86	87
Reducción permanente	Estándares técnicos para acondicionamiento térmico en viviendas existentes	88
Condiciones habilitantes	Subsidios especiales para acondicionamiento térmico en comunas de Zona B	89
Condiciones habilitantes	Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica en la RM	90
Condiciones habilitantes	Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91
Condiciones habilitantes	Fomento de proyectos/estudios de generación energía sustentable para calefacción	92
Condiciones habilitantes	Informe sistema de certificación y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93
Condiciones habilitantes	Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94
Reducción en GEC	Medida Permanente Período GEC: Control de humos visibles	120.e
Reducción en GEC	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña y otros derivados madera - Alerta ambiental	121.b
Reducción en GEC	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Preemergencia ambiental	122.c
Reducción en GEC	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Emergencia ambiental	123.c

Fuente: Elaboración propia

En el presente estudio se evalúan únicamente las medidas que tienen un efecto directamente cuantificable en las emisiones, que corresponden a las siguientes:

- Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A⁷.
- Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B⁸.
- Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin⁹.

Considerando como año base el 2022, la estimación de reducciones se realiza entre el año de inicio de vigencia de la medida (2018) y el año base.

En la Tabla 3-11 se presenta la cantidad de artefactos por provincia estimada para el año 2022 en el estudio “Inventario de Emisiones Sector Residencial – Región Metropolitana” (Gramsch et al., 2023a).

Tabla 3-11 Cantidad de artefactos a leña por provincia, año 2022

Artefacto	Santiago	Cordillera	Chacabuco	Maipo	Melipilla	Talagante	Total RM
Doble cámara	3.598	4.738	7.833	8.262	8.791	8.837	42.059
Salamandra	2.858	4.562	9.698	7.956	2.269	6.312	33.654
Estufa hechiza	1.014	1.755	746	3.060	4.537	505	11.617
Cocina a leña	119	351	0	612	0	252	1.335
Chimenea abierta	312	351	746	612	1.134	505	3.660
Brasero	71	0	0	0	0	757	828
Cámara simple	214	175	746	306	851	252	2.544
Estufa a pellets	71	175	0	306	0	252	805
Total	8.257	12.107	19.770	21.113	17.582	17.674	96.503

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la cantidad de artefactos por provincia para el año 2018 (año de inicio de las medidas) se estima a partir de un reporte interactivo online¹⁰ elaborado por el Instituto Forestal (INFOR), en donde se presenta el porcentaje de viviendas que consumen leña y el consumo promedio por vivienda, desagregado en viviendas urbanas y rurales, a nivel comunal. La información se encuentra disponible para el periodo 1992-2019, interpolando información de estudios realizados a partir de 2015 por el INFOR en ciertas regiones¹¹ y de un estudio realizado por el INFOR en el año 1994 para la estimación del consumo de leña por vivienda. Para las macrozonas que no contaban con información, el INFOR realizó una estimación de expertos. A partir del porcentaje de viviendas que consumen leña por comuna de la RM estimado en dicho reporte, se estima la cantidad de viviendas que consumen leña en la Región Metropolitana (RM)

⁷ Artículo 74, Capítulo VII PPDA RMS.

⁸ Artículo 75, Capítulo VII PPDA RMS.

⁹ Artículo 77, Capítulo VII PPDA RMS.

¹⁰ Reporte disponible en:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoib2JmNTVmZTA0NjRhYy00NmE4LWI5NzktYmFIYWExMTAxODUwliwidCI6IjcwZTI3NDhjLTAzN2MtNDIiO5N2RkLTl0ODAxYTc2ZmFIYSlmMiOjR9&pageName=ReportSection>

¹¹ O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén.

para el año 2018. Luego, asumiendo la misma distribución de artefactos del año base 2022 (Gramsch et al., 2023a) y un artefacto por vivienda, se calcula la cantidad de artefactos a leña en la RM, presentado en la Tabla 3-12.

Es relevante destacar que existe cierta incertidumbre en los datos asociada a la fuente de información con la que se estima la cantidad de artefactos de 2018.

Tabla 3-12 Cantidad de artefactos a leña por provincia en la RM, año 2018

Artefacto	Santiago	Cordillera	Chacabuco	Maipo	Melipilla	Talagante	Total
Doble cámara	15.468	6.255	8.937	16.879	10.063	11.766	69.367
Salamandra	12.284	6.023	11.065	16.254	2.597	8.404	56.627
Estufa hechiza	4.361	2.317	851	6.252	5.194	672	19.646
Cocina a leña	513	463	0	1.250	0	336	2.563
Chimenea abierta	1.340	463	851	1.250	1.298	672	5.876
Brasero	304	0	0	0	0	1.008	1.313
Cámara simple	919	232	851	625	974	336	3.937
Estufa a pellets	307	232	0	625	0	336	1.500
Total	35.496	15.984	22.556	43.136	20.125	23.531	160.828

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1 Medida “Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A”

Para estimar las emisiones de esta medida, se calcula la disminución de artefactos de tipo doble cámara, cámara simple y cocina a leña en la Zona A, entre 2018 y 2022, lo que se presenta en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13 Disminución de la cantidad de calefactores y cocinas a leña en la Zona A, periodo 2018-2022

Artefacto	2018	2022	Variación cantidad
Doble cámara	15.468	3.598	11.870
Cámara simple	919	214	705
Cocina a leña	513	119	394

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se estiman las emisiones promedio por tipo de artefacto a partir del inventario de emisiones de 2022 y la cantidad de artefactos en la Zona A (ver Tabla 3-11). Esto se presenta en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Doble cámara	0,01	0,01	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	2,00	0,01
Cámara simple	0,01	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,64	0,00
Cocina a leña	0,02	0,02	0,12	0,00	0,11	0,00	0,00	1,56	0,01

Fuente: Elaboración propia

Tomando como supuesto que se mantiene la emisión promedio por artefacto, se estiman las reducciones al multiplicar dichos valores con la disminución en la cantidad de artefactos (ver Tabla 3-13). Los resultados de las reducciones estimadas por la medida para el periodo 2018-2022 se presentan en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición Zona A

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Doble cámara	137	134	1.615	18	371	3	15	23.794	137
Cámara simple	4	4	30	0	7	0	0	449	3
Cocina a leña	6	6	46	1	41	0	0	616	4
Total	147	145	1.691	19	419	3	16	24.858	143

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2 Medida “Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B”

Para estimar las emisiones de esta medida, se calcula la disminución de artefactos de tipo doble cámara, cocina a leña, cámara simple y estufa a pellets en la Zona B, entre 2018 y 2022, lo que se presenta en la Tabla 3-16. Esto se realiza considerando como nuevos calefactores a los ingresados desde 2017.

Tabla 3-16 Disminución de la cantidad de calefactores en la Zona B, periodo 2018-2022

Artefacto	2018	2022	Variación cantidad
Doble cámara	53.899	38.461	15.439
Cámara simple	3.018	2.331	687
Estufa a pellets	1.193	743	459

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se estiman las emisiones promedio por tipo de artefacto a partir del inventario de emisiones de 2022 y la cantidad de artefactos en la Zona B (ver Tabla 3-11). Esto se presenta en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Doble cámara	0,01	0,01	0,13	0,00	0,03	0,00	0,00	1,98	0,01
Cámara simple	0,01	0,01	0,07	0,00	0,02	0,00	0,00	0,99	0,01
Estufa a pellets	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,42	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tomando como supuesto que se mantiene la emisión promedio por artefacto, se estiman las reducciones al multiplicar dichos valores con la disminución en la cantidad de artefactos (ver Tabla 3-16). Los resultados de las reducciones estimadas por la medida para el periodo 2018-2022 se presentan en la Tabla 3-18.

Tabla 3-18 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición Zona B

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Doble cámara	176	173	2.074	23	476	3	20	30.560	176
Cámara simple	6	6	46	1	11	0	0	677	4
Estufa a pellets	0,2	0,2	13,1	0,1	3,0	0,0	0,1	193,3	1,1
Total	183	179	2.134	24	490	3	20	31.430	181

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que esta metodología no tiene en consideración el límite de emisión de MP del cual depende la medida, dado que es simplificada y se basa únicamente en la reducción de emisiones generada por la disminución observada en la cantidad de artefactos a leña regulados por la medida en la Zona B. En este enfoque, se asume que dicha disminución es atribuible a la implementación de la medida, sin analizar específicamente el grado de cumplimiento de los límites de emisión. Por lo tanto, no se aborda si los artefactos en uso cumplen efectivamente con los límites establecidos, lo cual podría generar una diferencia en la precisión de las estimaciones obtenidas.

En línea con lo anterior, se debe tener en consideración la cantidad de recambio de calefactores a leña realizados hasta el momento en la Zona B (Tabla 3-19), en el marco del artículo 64 del PPDA a través de compensaciones de emisiones. Al compararlos con los resultados de la Tabla 3-16 se puede notar que se obtienen valores similares. Esto podría reflejar que la efectividad de la medida se ha visto influenciada por los recambios realizados gracias a los programas de compensación de emisiones, ya que gran parte de la disminución de calefactores a leña se debe a esto.

Tabla 3-19 Recambios de calefactores a leña realizados en la RM (2018-2022)

Provincia	Comuna	Cantidad
Chacabuco	Colina	798
	Lampa	1.058
	Tiltil	536
Cordillera	Pirque	296
	San José de Maipo	118
Maipo	Buin	987
	Calera de Tango	321
	Paine	359
Melipilla	Alhué	16
	Curacaví	886
	María Pinto	210
	Melipilla	1.397
	San Pedro	320
Talagante	El Monte	829
	Isla de Maipo	563
	Padre Hurtado	282
	Peñaflor	1.145
	Talagante	1.162
Total		11.283

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.3 Medida “Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin”

Para estimar las emisiones de esta medida, se calcula la disminución de artefactos de tipo salamandra, chimenea abierta, estufa hechiza y brasero en toda la RM, entre 2018 y 2022, lo que se presenta en la Tabla 3-20.

Tabla 3-20 Disminución de la cantidad de calefactores en la RM, periodo 2018-2022

Artefacto	2018	2022	Variación cantidad
Salamandra	56.627	33.654	22.973
Chimenea abierta	5.876	3.660	2.216
Estufa hechiza	19.646	11.617	8.029
Brasero	1.313	828	484

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se estiman las emisiones promedio por tipo de artefacto a partir del inventario de emisiones de 2022 y la cantidad de artefactos en la RM (ver Tabla 3-11). Esto se presenta en la Tabla 3-21.

Tabla 3-21 Estimación emisión promedio por artefacto [ton/año-artefacto]

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Salamandra	0,02	0,02	0,15	0,00	0,13	0,00	0,00	1,97	0,01
Chimenea abierta	0,01	0,01	0,07	0,00	0,06	0,00	0,00	0,96	0,01
Estufa hechiza	0,02	0,02	0,20	0,00	0,18	0,00	0,00	2,69	0,02
Brasero	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tomando como supuesto que se mantiene la emisión promedio por artefacto, se estiman las reducciones al multiplicar dichos valores con la disminución en la cantidad de artefactos (ver Tabla 3-20). Los resultados de las reducciones estimadas por la medida para el periodo 2018-2022 se presentan en la Tabla 3-22.

Tabla 3-22 Reducción de emisiones [ton] – Medida prohibición RM

Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3	CO2	CH4
Salamandra	408	400	3.367	35	3.052	5	29	45.318	261
Chimenea abierta	22	21	158	2	143	0	1	2.124	12
Estufa hechiza	194	190	1.603	18	1.453	2	14	21.576	124
Brasero	1	1	9	0	2	0	0	128	1
Total	624	612	5.136	54	4.650	7	45	69.145	399

Fuente: Elaboración propia

3.2 Proyección del inventario del sector Residencial año base 2022, a 15 años

A partir del inventario del sector residencial con año base 2022 (MMA, 2023), se elaboró una proyección de emisiones en un horizonte de evaluación de 15 años. En las siguientes subsecciones se presenta la metodología utilizada para la proyección del inventario de emisiones y los resultados obtenidos.

3.2.1 Metodología de proyección de emisiones

Se realizó una proyección de emisiones para un periodo de 15 años a partir del año base del inventario, en un escenario “*business as usual*” que no considera la implementación de compensaciones o mejoras adicionales a aquellas que puedan estar ya comprometidas. De acuerdo con el “Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones”, elaborado por GreenLab (GreenLabUC, 2016; MMA, 2017), la ecuación general para la estimación de emisiones es:

Ecuación 3-8 Ecuación general para la estimación de emisiones

$$Emisiones_i = NA * FE_i * (1 - EA)$$

Donde:

- NA: Nivel de actividad

- FE: Factor de emisión del contaminante i
- EA: Eficiencia de abatimiento (%)¹²

De acuerdo con la Ecuación 3-8, la estimación de la emisión depende del nivel de actividad, el factor de emisión y la eficiencia de abatimiento. En términos generales, la variación temporal para cada componente de la ecuación se ve influenciada por:

- NA: Cambios en el tiempo de los niveles de actividad (consumo de combustible u horas de operación, según la categoría) se relacionan con variaciones económicas o demográficas de la zona.
- FE o eficiencia de abatimiento: Cambios en el tiempo pueden ocurrir debido a mejoras tecnológicas, recambios o deterioro en la eficiencia de equipos.

Para proyectar las emisiones en el tiempo, se proyecta el nivel de actividad (NA), factor de emisión (FE) de cada fuente emisora y su eficiencia de abatimiento. Respecto a la proyección de los factores de emisión y la eficiencia de abatimiento de las distintas fuentes, ante la falta de información respecto al deterioro natural de las fuentes, se mantendrán constantes.

A continuación, se detalla la metodología de proyección del nivel de actividad y del factor de emisión.

3.2.1.1 Proyección del Nivel de Actividad

Para proyectar el nivel de actividad en el tiempo se utiliza una tasa de crecimiento¹³ anual, mediante la cual se elaboran vectores para el nivel de actividad. En términos generales, la proyección para un sector específico se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación, utilizando un nivel de actividad base y una tasa de crecimiento:

Ecuación 3-9 Ecuación general proyección nivel de actividad

$$NA_{s,t+n} = NA_{s,t} * (1 + r_s)^n$$

Donde:

- $NA_{s,t}$: Nivel de actividad del sector “s” en el periodo “t”
- r_s : Tasa de crecimiento del nivel de actividad del sector “s”
- n : Periodos entre el nivel de actividad base y el nivel de actividad proyectado

Siguiendo la metodología descrita, los antecedentes utilizados para la proyección del nivel de actividad se detallan en la Tabla 3-23.

¹² En caso de que la fuente de emisión cuente con algún sistema de abatimiento de emisiones que no esté considerado en el factor de emisión utilizado.

¹³ La cual puede ser negativa (en ese caso sería decrecimiento).

Respecto a la proyección de emisiones generadas por la calefacción a leña, se decide evaluar dos escenarios de proyección detallados a continuación:

- **Escenario 1:** Corresponde al Escenario Base. Se asume que se cumplirá en un 95% el PPDA vigente en 2037, por lo que se proyecta una disminución de los artefactos a leña regulados en los Artículos 74, 75 y 77.
- **Escenario 2:** Corresponde a un escenario sin regulación. Debido a que las medidas que prohíben el uso de calefactores a leña están lejos de cumplirse actualmente, y considerando el aumento de la población de la RM que se proyecta en los próximos años, se asume un aumento en la cantidad de calefactores a leña en función del aumento proyectado en la cantidad de viviendas de la RM.
- **Escenario 3:** Considera el recambio de calefactores a leña comprometido en el marco del proyecto Los Bronces Integrado (ver Sección 3.2.1.2).
 - **Escenario 3.1:** Corresponde a un escenario conservador con un total de 50.000 recambios.
 - **Escenario 3.2:** Corresponde a un escenario optimista con un total de 70.000 recambios.

Respecto a la proyección de emisiones generadas por la calefacción a otros combustibles, esta se realizó considerando los tres escenarios de proyección de las emisiones generadas por calefacción a leña. Para el Escenario 1 y el Escenario 3, la proyección de emisiones por la calefacción a otros combustibles considera que la disminución porcentual del consumo de leña proyectado se compensa con un aumento del consumo de gas natural, gas licuado y kerosene, en la misma proporción. Además, se suma a lo anterior el aumento proyectado en la cantidad de viviendas de la RM. Para el Escenario 2, la proyección de emisiones por la calefacción a otros combustibles considera únicamente el aumento proyectado en la cantidad de viviendas de la RM.

Tabla 3-23 Referencias utilizadas para la proyección del inventario de emisiones

Categoría	Escenario	Referencia utilizada para tasa de crecimiento
Calefacción a leña	Escenario 1	Proyección de la proporción de artefactos a leña en las provincias de la RM, asumiendo cumplimiento de PPDA en un 95%. También incluye la proyección viviendas totales en la RM.
	Escenario 2	Proyección viviendas totales en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).
	Escenario 3	Proyección viviendas totales en la RM a partir de proyección de población por comuna (INE, 2018), considerando recambio de calefactores a leña de Anglo American.
Calefacción con otros combustibles	Escenario 1	Variación del consumo de leña proyectado en Escenario 1, junto con la proyección de las viviendas en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).
	Escenario 2	Proyección viviendas totales en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).
	Escenario 3	Variación del consumo de leña proyectado en Escenario 3, junto con la proyección de las viviendas en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).
Restaurantes de parrilladas	-	Se mantiene constante dado su bajo aporte en las emisiones.
Hornos de barro	-	Proyección viviendas rurales en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).
Carritos ambulantes	-	Proyección población de la RM (INE, 2018).
Parrillas residenciales	-	Proyección viviendas totales en la RM, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural) (INE, 2018).

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Recambio de calefactores a leña – Proyecto Los Bronces Integrado

La proyección de emisiones del sector residencial considera, en el Escenario 3, el recambio de calefactores comprometido por Anglo American en el marco del proyecto Los Bronces Integrado. Dicho compromiso consiste en el recambio de calefactores a leña por calefactores eléctricos en

un horizonte de 7 años. Debido a que la cantidad de recambios que se realizarían no ha sido definida, se decide considerar un escenario conservador de 50.000 recambios (escenario 3.1) y uno optimista de 70.000 recambios (escenario 3.2). A continuación, se presentan los supuestos utilizados para su inclusión en la proyección de emisiones:

- Se acordó junto a la contraparte técnica que el año de inicio de los recambios será 2025, desde una perspectiva optimista.
- La cantidad de recambios se distribuye equitativamente por año: 6.250 recambios anuales en el Escenario 3.1, y 8.750 en el Escenario 3.2.
- Los recambios se distribuyen por provincia según distribución de la cantidad de artefactos existentes en la RM, tal como se presenta en la Tabla 3-24 y la Tabla 3-25.

Tabla 3-24 Estimación de recambios anuales que podría realizar Anglo American en cada provincia, Escenario 3.1

Provincia	Distribución recambios	Recambios por año
Santiago	9%	535
Cordillera	13%	784
Chacabuco	20%	1.280
Maipo	22%	1.367
Melipilla	18%	1.139
Talagante	18%	1.145

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-25 Estimación de recambios anuales que podría realizar Anglo American en cada provincia, Escenario 3.2

Provincia	Distribución recambios	Recambios por año
Santiago	9%	749
Cordillera	13%	1.098
Chacabuco	20%	1.793
Maipo	22%	1.914
Melipilla	18%	1.594
Talagante	18%	1.603

Fuente: Elaboración propia

- Dado que no se tiene información sobre los equipos retirados hasta el momento en la RM ni los que serían retirados por Anglo American, se asume que se retirarán los siguientes tipos de artefactos según la distribución actual de estos en la RM: salamandra, cámara simple, doble cámara y hechizo. En la Tabla 3-26 y la Tabla 3-27 se presenta la cantidad de artefactos que se recambiarían por año en el Escenario 3.1 y Escenario 3.2, respectivamente.

Tabla 3-26 Estimación de recambios anuales por tipo de artefacto a leña, Escenario 3.1

Artefacto	Santiago	Cordillera	Chacabuco	Maipo	Melipilla	Talagante	Total
Salamandra	199	319	653	555	157	454	2.337
Estufa hechiza	71	123	50	214	314	36	808
Cámara simple	15	12	50	21	59	18	175
Doble cámara	251	331	527	577	609	636	2.931
Total	536	785	1.280	1.367	1.139	1.144	6.251

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-27 Estimación de recambios anuales por tipo de artefacto a leña, Escenario 3.2

Artefacto	Santiago	Cordillera	Chacabuco	Maipo	Melipilla	Talagante	Total
Salamandra	279	446	914	778	220	636	3.273
Estufa hechiza	99	172	70	299	440	51	1.131
Cámara simple	21	17	70	30	82	25	245
Doble cámara	351	463	738	807	852	891	4.102
Total	750	1.098	1.792	1.914	1.594	1.603	8.751

Fuente: Elaboración propia

Considerando la distribución anterior, la cantidad de recambios anuales entre 2025 y 2032 se resta a la cantidad de artefactos proyectados para el Escenario 3 según la referencia presentada en la Tabla 3-23, para obtener la cantidad neta de artefactos cuyo consumo generará emisiones en el periodo 2022-2037.

En la Tabla 3-28, la Tabla 3-29, la Tabla 3-30 y la Tabla 3-31 se presenta la cantidad de artefactos a leña proyectada para el Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3.1 y Escenario 3.2, respectivamente. De forma complementaria, en la Figura 3-2, la Figura 3-3, la Figura 3-4 y la Figura 3-5 se muestra la proyección de la cantidad de artefactos a leña para el Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3.1 y Escenario 3.2, respectivamente.

Tabla 3-28 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 1

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	828	787	743	698	652	603	554	502	450	396	341	284	227	168	109	49
Cámara simple	2.544	2.568	2.589	2.610	2.629	2.645	2.663	2.678	2.689	2.702	2.712	2.719	2.728	2.733	2.742	2.751
Chimenea abierta	3.660	3.474	3.280	3.080	2.873	2.657	2.436	2.208	1.975	1.737	1.491	1.243	992	735	476	210
Cocina a leña	1.334	1.340	1.346	1.351	1.357	1.361	1.365	1.368	1.371	1.372	1.373	1.374	1.373	1.373	1.373	1.374
Doble cámara	42.059	42.390	42.701	42.995	43.266	43.516	43.744	43.947	44.129	44.289	44.424	44.542	44.631	44.699	44.821	44.948
Estufa a pellets	804	815	823	831	840	846	855	862	868	875	881	885	892	897	902	908
Estufa hechiza	11.617	11.006	10.371	9.717	9.045	8.353	7.645	6.920	6.180	5.426	4.657	3.877	3.085	2.284	1.474	654
Salamandra	33.656	31.973	30.220	28.391	26.495	24.535	22.506	20.418	18.274	16.075	13.826	11.531	9.192	6.815	4.407	1.961
Total	96.502	94.353	92.073	89.673	87.157	84.516	81.768	78.903	75.936	72.872	69.705	66.455	63.120	59.704	56.304	52.855

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-29 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 2

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	828	840	851	862	873	883	893	903	912	921	930	938	946	954	962	971
Cámara simple	2.544	2.581	2.616	2.651	2.684	2.715	2.746	2.774	2.802	2.828	2.852	2.875	2.897	2.917	2.941	2.965
Chimenea abierta	3.660	3.709	3.756	3.802	3.846	3.889	3.929	3.967	4.004	4.039	4.071	4.102	4.131	4.158	4.190	4.222
Cocina a leña	1.335	1.349	1.362	1.375	1.388	1.400	1.411	1.422	1.432	1.442	1.451	1.460	1.468	1.475	1.484	1.493
Doble cámara	42.059	42.619	43.162	43.687	44.193	44.679	45.144	45.587	46.007	46.409	46.787	47.144	47.477	47.788	48.158	48.531
Estufa a pellets	805	814	823	831	839	847	854	862	868	875	881	886	892	896	902	908
Estufa hechiza	11.617	11.749	11.874	11.996	12.113	12.225	12.331	12.432	12.527	12.618	12.702	12.781	12.855	12.922	13.004	13.086
Salamandra	33.654	34.135	34.601	35.052	35.486	35.903	36.301	36.681	37.041	37.385	37.709	38.016	38.301	38.569	38.886	39.207
Total	96.503	97.795	99.047	100.257	101.422	102.541	103.610	104.628	105.595	106.517	107.384	108.203	108.967	109.679	110.526	111.383

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-30 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	828	840	851	862	873	883	894	903	912	921	930	939	947	954	962	971
Cámara simple	2.544	2.582	2.617	2.477	2.334	2.189	2.046	1.901	1.750	1.603	1.452	1.474	1.497	1.517	1.540	1.564
Chimenea abierta	3.660	3.708	3.756	3.802	3.846	3.889	3.928	3.967	4.004	4.039	4.071	4.103	4.132	4.159	4.190	4.222
Cocina a leña	1.334	1.348	1.361	1.374	1.387	1.400	1.411	1.423	1.433	1.442	1.452	1.460	1.467	1.475	1.484	1.493
Doble cámara	42.059	42.618	43.161	40.757	38.331	35.887	33.421	30.931	28.422	25.891	23.338	23.698	24.030	24.340	24.710	25.083
Estufa a pellets	804	815	823	831	840	846	855	862	868	875	881	885	892	897	902	908
Estufa hechiza	11.617	11.749	11.875	11.189	10.497	9.802	9.099	8.392	7.680	6.963	6.238	6.318	6.392	6.458	6.541	6.620
Salamandra	33.655	34.133	34.601	32.717	30.813	28.891	26.952	24.997	23.019	21.026	19.014	19.319	19.605	19.872	20.189	20.512
Total	96.501	97.793	99.045	94.009	88.921	83.787	78.606	73.376	68.088	62.760	57.376	58.196	58.962	59.672	60.518	61.373

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-31 Proyección de la cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	828	840	851	862	873	883	894	903	912	921	930	939	947	954	962	971
Cámara simple	2.544	2.582	2.617	2.407	2.194	1.979	1.766	1.551	1.330	1.113	892	914	937	957	980	1.004
Chimenea abierta	3.660	3.708	3.756	3.802	3.846	3.889	3.928	3.967	4.004	4.039	4.071	4.103	4.132	4.159	4.190	4.222
Cocina a leña	1.334	1.348	1.361	1.374	1.387	1.400	1.411	1.423	1.433	1.442	1.452	1.460	1.467	1.475	1.484	1.493
Doble cámara	42.059	42.618	43.161	39.586	35.989	32.374	28.737	25.076	21.396	17.694	13.970	14.330	14.662	14.972	15.342	15.715
Estufa a pellets	804	815	823	831	840	846	855	862	868	875	881	885	892	897	902	908
Estufa hechiza	11.617	11.749	11.875	10.866	9.851	8.833	7.807	6.777	5.742	4.702	3.654	3.734	3.808	3.874	3.957	4.036
Salamandra	33.655	34.133	34.601	31.781	28.941	26.083	23.208	20.317	17.403	14.474	11.526	11.831	12.117	12.384	12.701	13.024
Total	96.501	97.793	99.045	91.509	83.921	76.287	68.606	60.876	53.088	45.260	37.376	38.196	38.962	39.672	40.518	41.373

Fuente: Elaboración propia

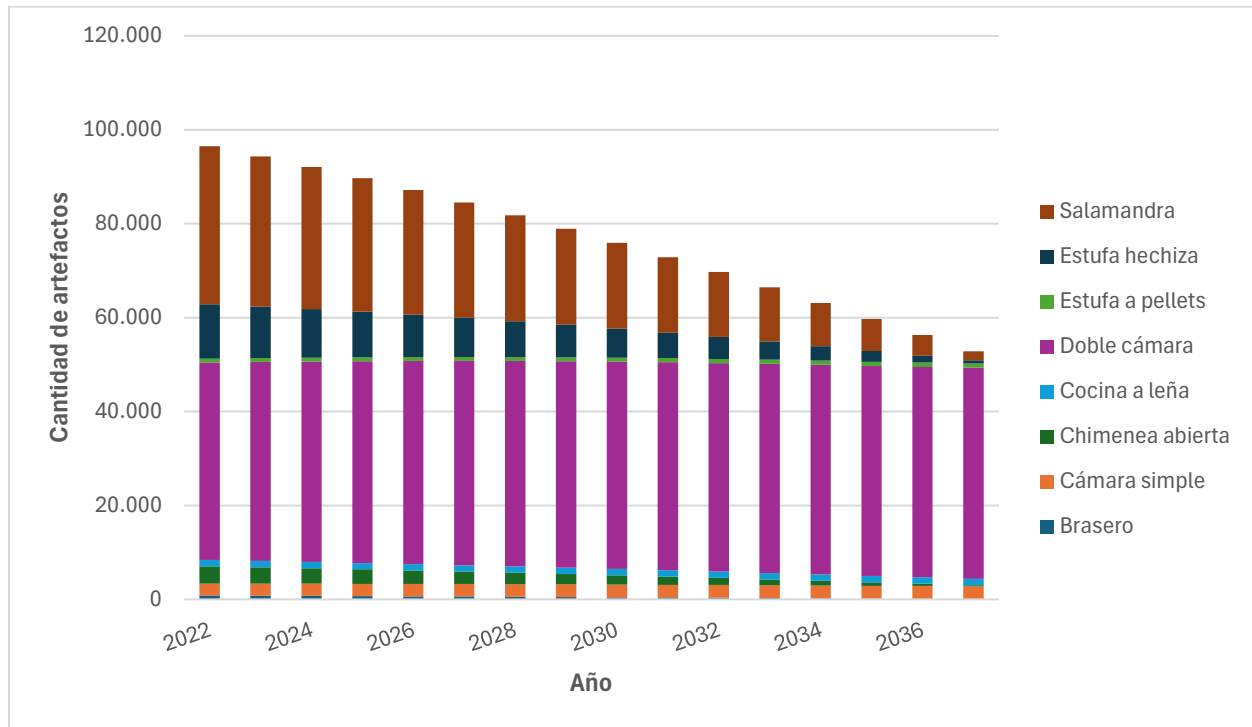


Figura 3-2 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

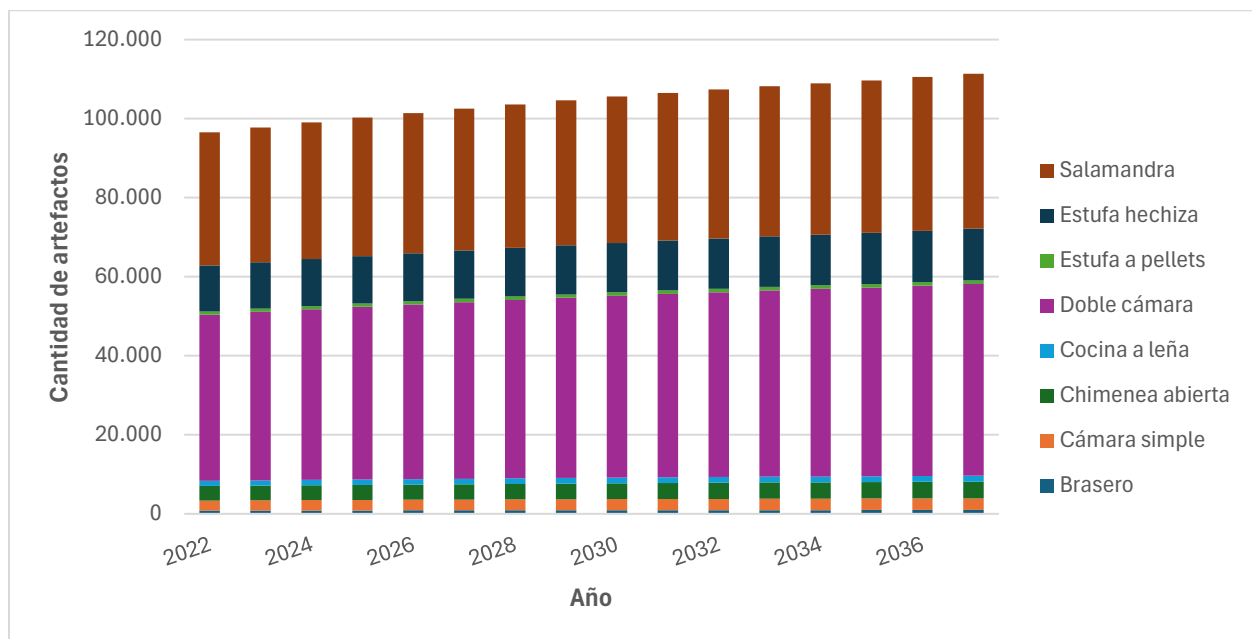


Figura 3-3 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

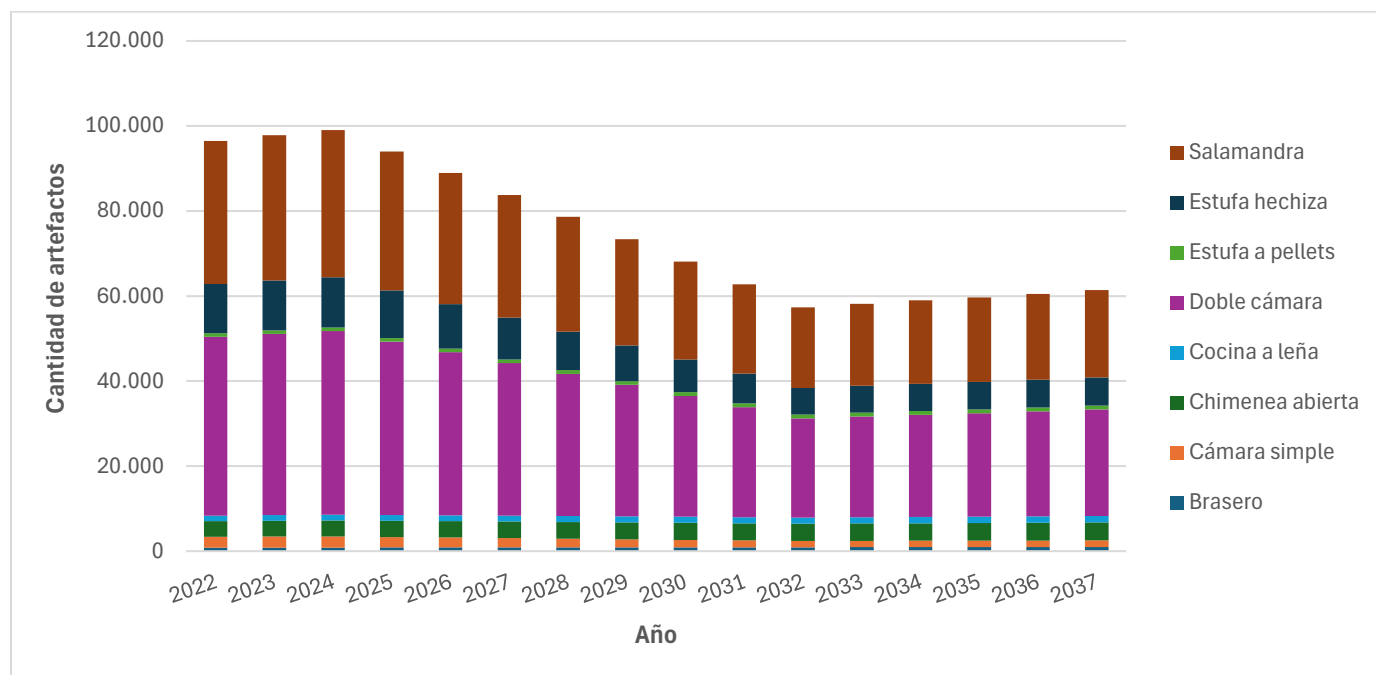


Figura 3-4 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1

Fuente: Elaboración propia

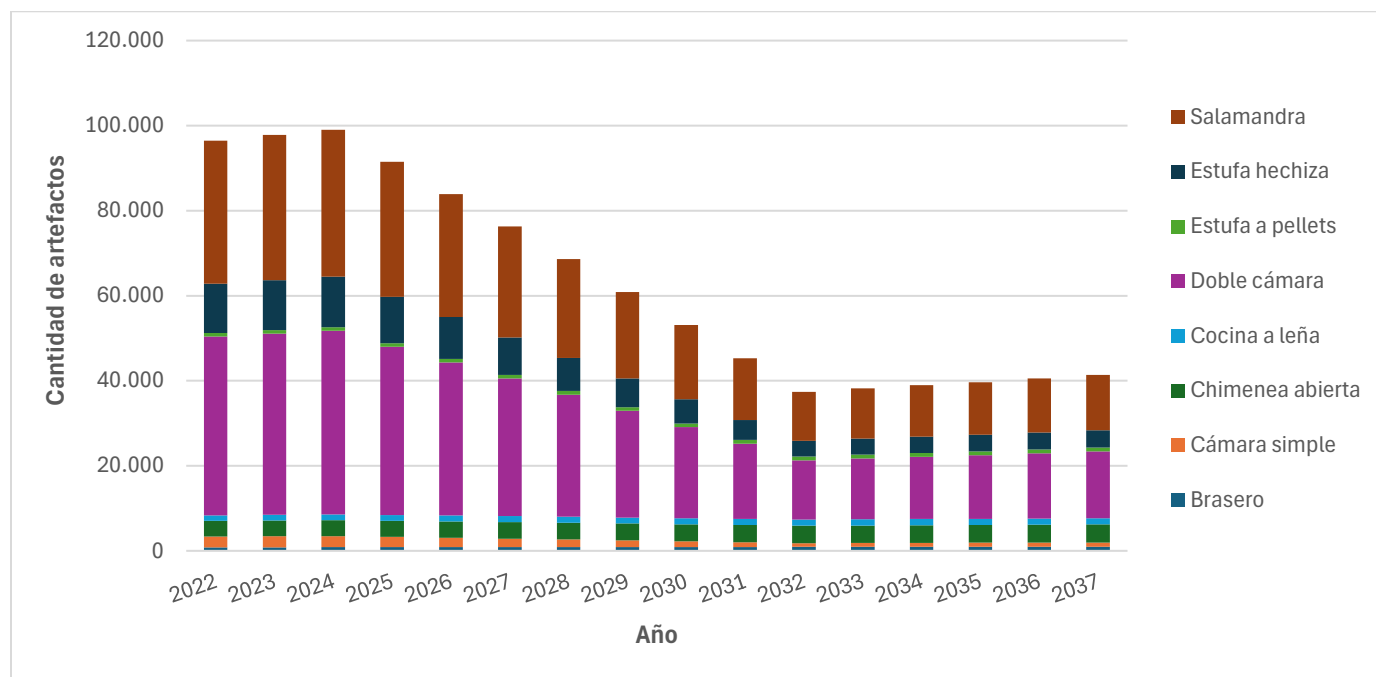


Figura 3-5 Cantidad de artefactos a leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2

Fuente: Elaboración propia

Adicional a lo anterior, a continuación se presenta la proyección del consumo de leña para los escenarios evaluados.

Tabla 3-32 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 1 [ton/año]

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	64	61	58	54	51	47	43	39	35	31	27	22	18	13	9	4
Cámara simple	716	722	727	733	739	743	748	752	755	759	762	765	767	769	772	774
Chimenea abierta	1.032	979	924	868	809	748	686	622	556	489	419	350	279	207	134	59
Cocina a leña	1.128	1.135	1.142	1.149	1.156	1.162	1.167	1.173	1.177	1.181	1.184	1.187	1.188	1.191	1.194	1.197
Doble cámara	24.513	24.679	24.833	24.979	25.111	25.230	25.338	25.432	25.514	25.583	25.638	25.684	25.714	25.732	25.778	25.828
Estufa a pellets	96	97	99	100	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Estufa hechiza	9.182	8.696	8.192	7.674	7.141	6.593	6.033	5.460	4.874	4.279	3.672	3.056	2.431	1.799	1.161	515
Salamandra	19.527	18.571	17.571	16.524	15.434	14.303	13.131	11.920	10.675	9.395	8.085	6.746	5.380	3.990	2.581	1.149
Total	56.257	54.941	53.547	52.080	50.541	48.930	47.249	45.502	43.693	41.824	39.895	37.920	35.887	33.812	31.741	29.640

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-33 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 2 [ton/año]

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76
Cámara simple	715	724	733	741	749	756	763	770	777	783	788	794	799	803	809	815
Chimenea abierta	1.032	1.045	1.058	1.071	1.083	1.095	1.106	1.117	1.127	1.137	1.145	1.154	1.162	1.169	1.178	1.187
Cocina a leña	1.128	1.139	1.150	1.160	1.170	1.180	1.189	1.197	1.205	1.213	1.220	1.226	1.232	1.238	1.244	1.251
Doble cámara	24.513	24.814	25.105	25.387	25.657	25.916	26.164	26.399	26.621	26.833	27.031	27.218	27.392	27.553	27.746	27.941
Estufa a pellets	96	97	99	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Estufa hechiza	9.182	9.283	9.380	9.474	9.564	9.649	9.731	9.808	9.881	9.950	10.014	10.075	10.130	10.181	10.243	10.306
Salamandra	19.526	19.826	20.119	20.401	20.671	20.931	21.179	21.414	21.638	21.851	22.051	22.240	22.416	22.581	22.777	22.976
Total	56.256	56.996	57.710	58.400	59.064	59.698	60.305	60.881	61.426	61.945	62.431	62.890	63.316	63.711	64.185	64.665

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-34 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 3.1 [ton/año]

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76
Cámara simple	716	724	733	692	650	608	565	523	479	436	393	398	403	408	413	419
Chimenea abierta	1.032	1.045	1.058	1.071	1.083	1.095	1.106	1.117	1.127	1.136	1.145	1.154	1.162	1.170	1.178	1.187
Cocina a leña	1.128	1.139	1.149	1.159	1.170	1.180	1.188	1.198	1.206	1.213	1.220	1.227	1.232	1.238	1.245	1.252
Doble cámara	24.513	24.814	25.105	23.682	22.247	20.801	19.344	17.872	16.390	14.896	13.389	13.578	13.751	13.911	14.104	14.299
Estufa a pellets	96	97	99	100	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Estufa hechiza	9.182	9.284	9.380	8.836	8.286	7.734	7.176	6.615	6.050	5.480	4.906	4.966	5.022	5.072	5.136	5.196
Salamandra	19.526	19.825	20.119	19.057	17.983	16.897	15.800	14.693	13.571	12.439	11.296	11.484	11.660	11.825	12.021	12.221
Total	56.257	56.994	57.708	54.664	51.588	48.486	45.353	42.192	39.000	35.780	32.529	32.989	33.414	33.810	34.284	34.762

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-35 Proyección del consumo de leña periodo 2022-2037, Escenario 3.2 [ton/año]

Artefacto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Brasero	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76
Cámara simple	716	724	733	672	611	549	488	426	363	300	237	242	247	252	257	263
Chimenea abierta	1.032	1.045	1.058	1.071	1.083	1.095	1.106	1.117	1.127	1.136	1.145	1.154	1.162	1.170	1.178	1.187
Cocina a leña	1.128	1.139	1.149	1.159	1.170	1.180	1.188	1.198	1.206	1.213	1.220	1.227	1.232	1.238	1.245	1.252
Doble cámara	24.513	24.814	25.105	23.001	20.885	18.759	16.620	14.468	12.306	10.130	7.943	8.132	8.304	8.465	8.658	8.853
Estufa a pellets	96	97	99	100	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Estufa hechiza	9.182	9.284	9.380	8.580	7.776	6.969	6.156	5.339	4.519	3.695	2.865	2.925	2.981	3.032	3.095	3.155
Salamandra	19.526	19.825	20.119	18.519	16.906	15.282	13.647	12.001	10.341	8.671	6.989	7.178	7.354	7.519	7.715	7.915
Total	56.257	56.994	57.708	53.170	48.601	44.005	39.379	34.724	30.038	25.325	20.580	21.040	21.465	21.861	22.335	22.813

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Proyección del Factor de Emisión

Los cambios en el FE se asocian a mejoras tecnológicas, recambio de equipos o deterioro de estos. Comúnmente no se han proyectado ni existen lineamientos claros de cómo proyectarlos. Así, para la proyección se decide mantener constantes los factores de emisión, los cuales corresponden a los utilizados en el estudio “Inventario de Emisiones Sector Residencial – Región Metropolitana” (Gramsch et al., 2023a).

En la Tabla 3-36 se detallan los factores de emisión para cada categoría del inventario, junto a la unidad de medida de cada uno. Es relevante tener en consideración las distintas unidades de medida de los FE, dado que esto se traduce en distintas unidades del nivel de actividad. En particular, el nivel de actividad de calefacción a leña y otros combustibles, hornos de barro y restaurantes de parrilladas corresponde al consumo anual del combustible que utilizan, que en el caso de la calefacción con gas licuado y gas natural se registra en unidades de volumen, mientras que en el resto de las categorías en unidades de masa. Por otro lado, como se puede observar, para carritos ambulantes y parrillas residenciales el nivel de actividad corresponde a las horas de uso por año.

Tabla 3-36 Factores de emisión utilizados en la proyección de emisiones

Categoría	Subcategoría	Unidad FE	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	CO	CO2	COV	NH3	CN	OC	THC
Calefacción a leña	Brasero	g/kg	10,0	9,8	1,3	0,2	9,8	115,4	1.700,0	26,5	1,1	-	-	-
	Cámara simple	g/kg	15,3	15,0	1,3	0,2	9,8	115,4	1.700,0	26,5	1,1	-	-	-
	Chimenea abierta	g/kg	17,3	17,0	1,4	0,2	9,8	126,3	1.700,0	114,5	1,1	-	-	-
	Cocina a leña	g/kg	17,3	17,3	1,4	0,2	9,8	126,3	1.700,0	114,5	1,1	-	-	-
	Doble cámara	g/kg	9,8	9,6	1,3	0,2	9,8	115,4	1.700,0	26,5	1,1	-	-	-
	Estufa a pellets	g/kg	2,1	2,1	1,3	0,2	9,8	115,4	1.700,0	26,5	1,1	-	-	-
	Estufa hechiza	g/kg	15,3	15,0	1,4	0,2	9,8	126,3	1.700,0	114,5	1,1	-	-	-
	Salamandra	g/kg	15,3	15,0	1,3	0,2	9,8	126,3	1.700,0	114,5	1,1	-	-	-
Calefacción otros combustibles	Gas licuado	kg/m3	0,0	0,0	1,7	0,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
	Gas natural	kg/m3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-	-	-
	Kerosene	kg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-	-	-
Carritos ambulantes	-	g/h	26,0	20,8	8,9	-	-	479,8	-	2,5	-	-	-	11,4
Hornos de barro	-	g/kg	15,3	15,3	-	-	-	115,4	-	-	-	0,3	26,5	-
Parrillas residenciales	-	g/h	26,4	25,0	6,3	-	-	464,0	-	2,7	-	-	-	-
Restaurantes de parrilladas	-	g/kg	5,9	4,8	-	-	-	4,6	-	-	-	0,1	5,8	-

Fuente: Elaboración propia en base a (Gramsch et al., 2023a)

3.2.2 Resultados de la proyección del inventario de emisiones

La proyección de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “MEDRM-Proyección_Emisiones.xlsx”. En la Tabla 3-37, Tabla 3-38, Tabla 3-39 y Tabla 3-40 se presenta la proyección de emisiones del sector residencial de la RM para el Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3.1 y Escenario 3.2, respectivamente (ver Sección 3.2.1.1). Se observa una tendencia general de disminución gradual de las emisiones de material particulado, CH₄, CO, CO₂, COV y NH₃ en el Escenario 1, Escenario 3.1 y Escenario 3.2, mientras que en el Escenario 2 las emisiones de dichos contaminantes aumentan en el tiempo. En el caso de las emisiones de los contaminantes NO_x y SO_x, se observa una tendencia al aumento en todos los escenarios.

**Tabla 3-37 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año],
Escenario 1**

Año	MP10	MP2,5	NO _x	SO _x	CH ₄	CO	CO ₂	COV	NH ₃	CN	OC	THC
2022	2.233	2.160	2.582	330	1.103	27.492	191.275	8.519	137	0,12	7	1
2023	2.198	2.125	2.674	342	1.077	27.299	186.799	8.189	134	0,12	7	1
2024	2.161	2.089	2.781	357	1.050	27.091	182.059	7.844	132	0,12	7	1
2025	2.126	2.053	3.024	390	1.021	26.947	177.072	7.486	130	0,12	7	1
2026	2.087	2.014	3.218	416	991	26.751	171.840	7.114	128	0,12	7	1
2027	2.041	1.969	3.261	422	959	26.439	166.361	6.724	124	0,12	7	1
2028	1.992	1.921	3.269	423	926	26.085	160.648	6.321	121	0,12	7	1
2029	1.941	1.871	3.276	424	892	25.709	154.707	5.904	117	0,12	7	1
2030	1.888	1.819	3.281	424	856	25.313	148.555	5.476	113	0,12	7	1
2031	1.833	1.765	3.281	424	820	24.895	142.200	5.036	109	0,12	7	1
2032	1.777	1.709	3.280	424	782	24.460	135.644	4.585	105	0,12	7	1
2033	1.718	1.652	3.278	424	743	24.008	128.926	4.125	100	0,12	7	1
2034	1.658	1.593	3.276	423	703	23.539	122.016	3.655	96	0,12	7	1
2035	1.596	1.532	3.274	423	663	23.055	114.961	3.177	91	0,12	7	1
2036	1.535	1.472	3.273	423	622	22.582	107.918	2.695	87	0,12	7	1
2037	1.473	1.411	3.272	422	581	22.103	100.775	2.206	82	0,12	7	1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-38 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año],
Escenario 2**

Año	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	CO	CO2	COV	NH3	CN	OC	THC
2022	2.233	2.160	2.582	330	1.103	27.491	191.272	8.519	137	0,12	7	1
2023	2.258	2.184	2.601	332	1.117	27.766	193.785	8.634	138	0,12	7	1
2024	2.281	2.207	2.618	334	1.131	28.028	196.214	8.745	140	0,12	7	1
2025	2.304	2.229	2.635	337	1.145	28.280	198.562	8.852	142	0,12	7	1
2026	2.326	2.250	2.651	339	1.158	28.522	200.816	8.956	143	0,12	7	1
2027	2.347	2.271	2.666	341	1.170	28.753	202.974	9.054	145	0,12	7	1
2028	2.367	2.290	2.680	342	1.182	28.973	205.037	9.148	146	0,12	7	1
2029	2.385	2.308	2.694	344	1.193	29.181	206.994	9.238	147	0,12	7	1
2030	2.403	2.326	2.706	346	1.204	29.377	208.848	9.323	149	0,12	7	1
2031	2.420	2.342	2.718	347	1.214	29.564	210.613	9.403	150	0,12	7	1
2032	2.436	2.357	2.729	349	1.224	29.738	212.266	9.479	151	0,12	7	1
2033	2.451	2.372	2.740	350	1.233	29.902	213.825	9.550	152	0,12	7	1
2034	2.465	2.385	2.749	351	1.241	30.053	215.274	9.616	153	0,12	7	1
2035	2.477	2.398	2.758	352	1.249	30.193	216.619	9.678	154	0,12	7	1
2036	2.493	2.413	2.769	354	1.258	30.363	218.230	9.752	155	0,12	7	1
2037	2.509	2.428	2.780	355	1.267	30.535	219.860	9.826	156	0,12	7	1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-39 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año],
Escenario 3.1**

Año	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	CO	CO2	COV	NH3	CN	OC	THC
2022	2.233	2.160	2.582	330	1.103	27.491	191.272	8.519	137	0,12	7	1
2023	2.257	2.184	2.601	332	1.117	27.765	193.781	8.634	138	0,12	7	1
2024	2.281	2.207	2.618	334	1.131	28.027	196.208	8.745	140	0,12	7	1
2025	2.208	2.135	2.625	335	1.071	27.374	185.857	8.305	133	0,12	7	1
2026	2.134	2.063	2.631	336	1.011	26.710	175.398	7.861	127	0,12	7	1
2027	2.060	1.989	2.636	336	950	26.035	164.851	7.413	120	0,12	7	1
2028	1.984	1.915	2.641	337	889	25.349	154.201	6.960	113	0,12	7	1
2029	1.907	1.840	2.644	337	827	24.651	143.453	6.502	106	0,12	7	1
2030	1.829	1.763	2.647	338	764	23.942	132.600	6.040	99	0,12	7	1
2031	1.751	1.686	2.649	338	701	23.222	121.652	5.573	92	0,12	7	1
2032	1.671	1.608	2.651	338	638	22.491	110.600	5.102	85	0,12	7	1
2033	1.686	1.622	2.661	339	647	22.655	112.163	5.173	86	0,12	7	1
2034	1.700	1.636	2.670	340	655	22.806	113.608	5.239	87	0,12	7	1
2035	1.713	1.648	2.679	342	663	22.946	114.952	5.301	88	0,12	7	1
2036	1.728	1.663	2.690	343	672	23.116	116.566	5.375	89	0,12	7	1
2037	1.744	1.678	2.701	344	681	23.288	118.190	5.449	90	0,12	7	1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-40 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2022 – 2037 [ton/año],
Escenario 3.2**

Año	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	CO	CO2	COV	NH3	CN	OC	THC
2022	2.233	2.160	2.582	330	1.103	27.491	191.272	8.519	137	0,12	7	1
2023	2.257	2.184	2.601	332	1.117	27.765	193.781	8.634	138	0,12	7	1
2024	2.281	2.207	2.618	334	1.131	28.027	196.208	8.745	140	0,12	7	1
2025	2.170	2.098	2.621	335	1.042	27.012	180.779	8.087	130	0,12	7	1
2026	2.058	1.988	2.623	335	953	25.986	165.242	7.424	120	0,12	7	1
2027	1.945	1.877	2.624	335	862	24.949	149.617	6.757	110	0,12	7	1
2028	1.831	1.765	2.625	335	772	23.901	133.888	6.085	100	0,12	7	1
2029	1.716	1.652	2.625	335	681	22.841	118.062	5.408	90	0,12	7	1
2030	1.600	1.539	2.624	334	589	21.770	102.130	4.727	79	0,12	7	1
2031	1.483	1.424	2.622	334	496	20.688	86.104	4.042	69	0,12	7	1
2032	1.365	1.308	2.619	334	403	19.595	69.973	3.352	59	0,12	7	1
2033	1.380	1.323	2.629	335	412	19.759	71.537	3.423	60	0,12	7	1
2034	1.394	1.336	2.639	336	421	19.910	72.982	3.489	61	0,12	7	1
2035	1.407	1.349	2.648	337	428	20.050	74.326	3.551	62	0,12	7	1
2036	1.422	1.364	2.659	339	438	20.220	75.940	3.624	63	0,12	7	1
2037	1.438	1.379	2.670	340	447	20.392	77.564	3.699	64	0,12	7	1

Fuente: Elaboración propia

Por su relevancia en la zona, en la Figura 3-6, la Figura 3-7 y la Figura 3-8 se muestra la proyección de emisiones por escenario de MP10, MP2,5 y NOx, respectivamente. Como es de esperar, se observa que el Escenario 1 tiene asociadas menores emisiones de material particulado dado que supone un 95% de cumplimiento del PPDA actual y, por consiguiente, una drástica disminución de las emisiones generadas por la calefacción a leña. En el Escenario 3.1 y Escenario 3.2, si bien la tendencia de las emisiones de MP10 y MP2,5 es a la baja, como también ocurre en el Escenario 1, entre 2022 y 2024 se observa un aumento en las emisiones debido a que en dichos años aún no comienzan los recambios de calefactores a leña comprometidos por Anglo American (ver Sección 3.2.1.2), por lo que el aumento está dado por el aumento en la cantidad de viviendas de la RM. A partir de 2025, cuando inician los recambios, hasta 2032, se observa una drástica disminución de las emisiones. Respecto al Escenario 2, se puede observar que las emisiones de material particulado tienden a aumentar en el tiempo, ya que este escenario, al no considerar el cumplimiento de las medidas del PPDA actual, se ve influenciado principalmente por el aumento de la población.

En el caso de NOx (ver Figura 3-8), se observa una tendencia al aumento en todos los escenarios evaluados, ya que la principal categoría emisora de este contaminante es la calefacción con otros combustibles (gas natural, gas licuado y kerosene), los cuales tienen asociados mayor generación de NOx. Contrario a lo que sucede para material particulado, en este caso los Escenarios 2, 3.1 y 3.2 son los que poseen menores emisiones, debido a que el primero considera que la leña tiene mayor participación que los “otros combustibles” en la calefacción al no suponer un cumplimiento del PPDA, mientras que los Escenarios 3.1 y 3.2 consideran que los calefactores a leña que se recambiarán serán por artefactos eléctricos, por lo que no supone un aumento de estos combustibles.

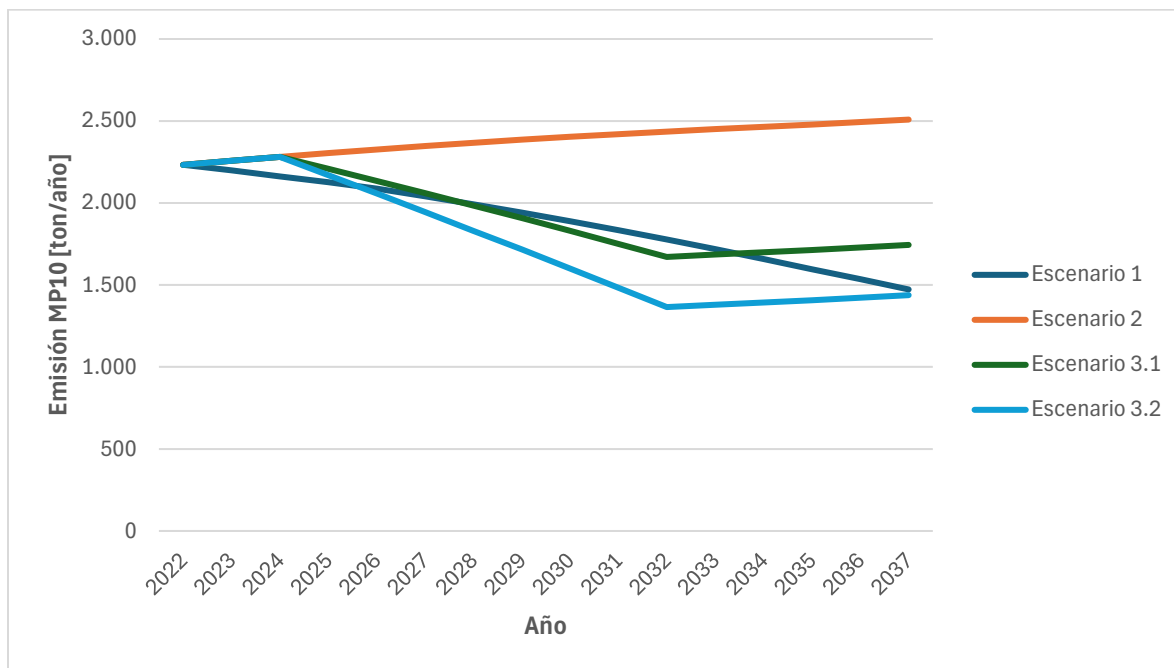


Figura 3-6 Emisiones de MP10 proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

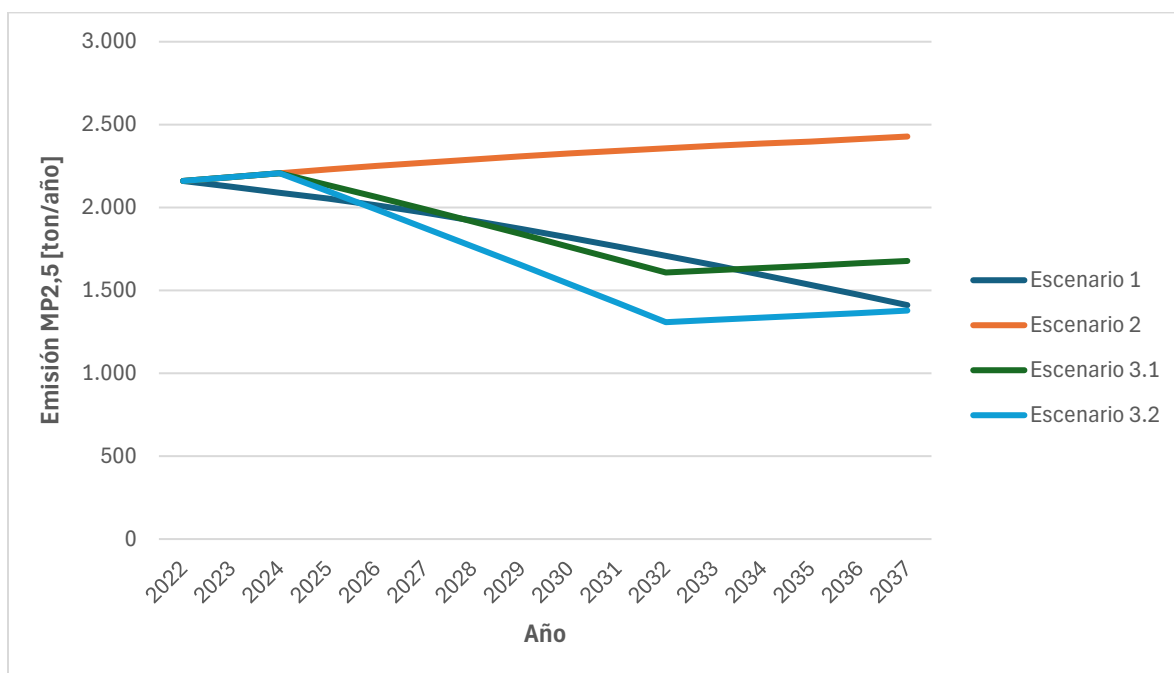


Figura 3-7 Emisiones de MP2,5 proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

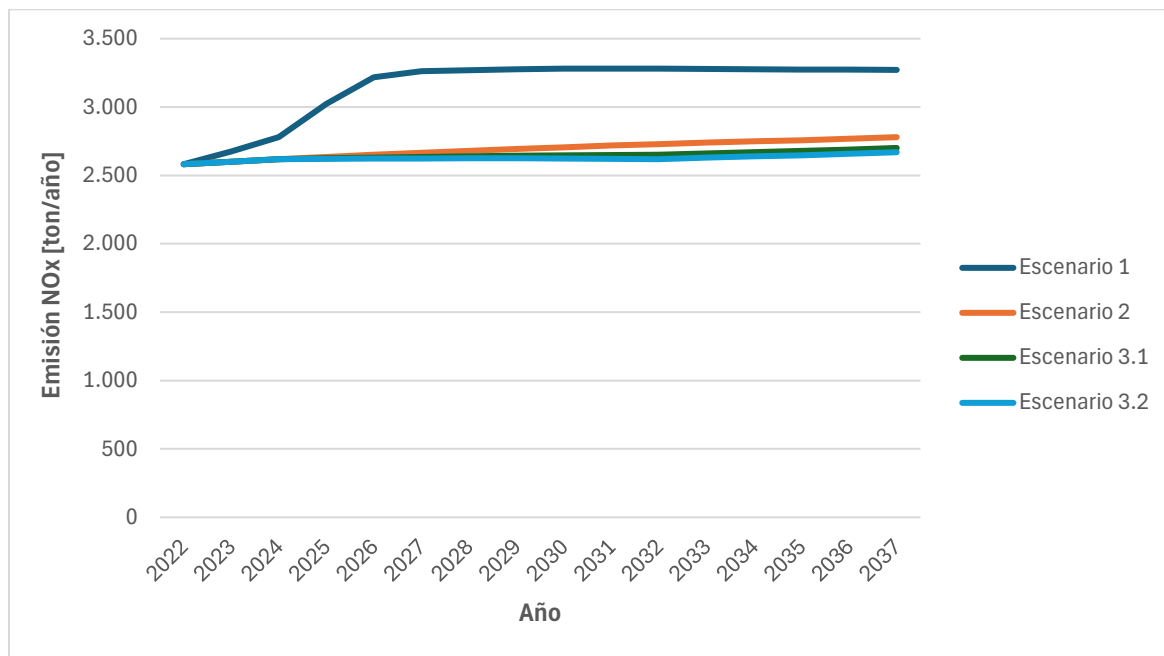


Figura 3-8 Emisiones de NOx proyectadas del sector residencial de la RM por Escenario de proyección [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, en la Tabla 3-41, la Tabla 3-42, la Tabla 3-43 y la Tabla 3-44 se presenta la proyección de emisiones de MP10 para el Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3.1 y Escenario 3.2, respectivamente, desagregado por categoría del inventario. Lo mismo se presenta en la Tabla 3-45, Tabla 3-46, Tabla 3-47 y Tabla 3-48 para MP2,5, y para NOx en la Tabla 3-49, Tabla 3-50, Tabla 3-51 y Tabla 3-52.

En el Escenario 1, se observa cómo la calefacción a leña va disminuyendo su contribución a las emisiones totales de material particulado (ver Tabla 3-41 y Tabla 3-45), representando en promedio un 65% de las emisiones en 2022 y un 42% de las emisiones en 2037. Esto resulta razonable dado que las principales medidas del PPDA están destinadas a disminuir y/o regular el consumo de leña. En el caso del Escenario 2 (ver Tabla 3-42 y Tabla 3-46), las emisiones por calefacción a leña representan, en promedio, un 67% de las emisiones de MP en 2037, lo que se explica porque dicho escenario no considera el cumplimiento del PPDA en cuando a las prohibiciones relacionadas con el uso de leña, sino que considera una tasa de crecimiento de la cantidad de artefactos a leña dada por el aumento en la cantidad de viviendas. En el caso del Escenario 3.1 (ver Tabla 3-43 y Tabla 3-47) la calefacción a leña representa, en promedio, un 53% de las emisiones de MP del sector residencial en 2037, mientras que en el Escenario 3.2 (ver Tabla 3-44 y Tabla 3-48) la calefacción a leña representa un 43%. Lo anterior se debe a que estos

escenarios, a pesar de no considerar el cumplimiento de las medidas del PPDA actual, sí consideran los recambios de calefactores a leña comprometidos por Anglo American, lo que genera una reducción del uso de leña en la calefacción y, por consiguiente, una reducción de las emisiones.

Por otro lado, respecto a las emisiones de NOx, se puede observar que la principal fuente emisora es la calefacción con otros combustibles (gas natural, gas licuado y kerosene). En el Escenario 1 se observa un aumento de las emisiones en el tiempo, debido al aumento en el uso de otros combustibles para calefacción que se explica por el aumento de las viviendas y por la transición de la leña a otros combustibles a raíz del cumplimiento del PPDA. En el Escenario 2, 3.1 y 3.3 el incremento en las emisiones de NOx es menos marcado, pero sostenido.

Tabla 3-41 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.457	1.415	1.370	1.324	1.275	1.224	1.171	1.117	1.060	1.002	942	881	818	754	690	625
Calefacción otros combustibles	65	67	70	77	83	84	85	85	85	85	85	86	86	86	86	86
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	703	708	712	717	721	725	728	732	735	738	741	743	746	748	751	754
Restaurantes de parrilladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Total	2.233	2.198	2.161	2.126	2.087	2.041	1.992	1.941	1.888	1.833	1.777	1.718	1.658	1.596	1.535	1.473

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-42 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.457	1.477	1.495	1.513	1.531	1.547	1.563	1.578	1.593	1.606	1.619	1.631	1.642	1.652	1.665	1.677
Calefacción otros combustibles	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	68	68	69	69	69	69
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	703	708	712	717	721	725	728	732	735	738	741	743	746	748	751	754
Restaurantes de parrilladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Total	2.233	2.258	2.281	2.304	2.326	2.347	2.367	2.385	2.403	2.420	2.436	2.451	2.465	2.477	2.493	2.509

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-43 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.457	1.477	1.495	1.418	1.339	1.261	1.181	1.100	1.019	937	854	866	877	887	900	912
Calefacción otros combustibles	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	68	68	69	69	69	69
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	703	708	712	717	721	725	728	732	735	738	741	743	746	748	751	754
Restaurantes de parrilladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Total	2.233	2.257	2.281	2.208	2.134	2.060	1.984	1.907	1.829	1.751	1.671	1.686	1.700	1.713	1.728	1.744

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-44 Proyección de emisiones de MP10 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.457	1.477	1.495	1.380	1.263	1.146	1.028	909	790	669	548	560	571	582	594	607
Calefacción otros combustibles	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	68	68	69	69	69	69
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	703	708	712	717	721	725	728	732	735	738	741	743	746	748	751	754
Restaurantes de parrilladas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Total	2.233	2.257	2.281	2.170	2.058	1.945	1.831	1.716	1.600	1.483	1.365	1.380	1.394	1.407	1.422	1.438

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-45 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.429	1.387	1.344	1.298	1.250	1.200	1.149	1.095	1.040	983	924	864	803	740	677	613
Calefacción otros combustibles	57	59	62	68	73	74	74	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	668	672	677	681	685	688	692	695	698	701	704	706	709	711	713	716
Restaurantes de parrilladas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total	2.160	2.125	2.089	2.053	2.014	1.969	1.921	1.871	1.819	1.765	1.709	1.652	1.593	1.532	1.472	1.411

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-46 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.429	1.448	1.466	1.484	1.501	1.517	1.533	1.548	1.562	1.575	1.587	1.599	1.610	1.620	1.632	1.645
Calefacción otros combustibles	57	57	57	58	58	58	59	59	59	59	60	60	60	60	60	61
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	668	672	677	681	685	688	692	695	698	701	704	706	709	711	713	716
Restaurantes de parrilladas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total	2.160	2.184	2.207	2.229	2.250	2.271	2.290	2.308	2.326	2.342	2.357	2.372	2.385	2.398	2.413	2.428

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-47 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.429	1.448	1.466	1.390	1.314	1.236	1.158	1.079	999	919	838	850	860	871	883	895
Calefacción otros combustibles	57	57	57	58	58	58	59	59	59	59	60	60	60	60	60	61
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	668	672	677	681	685	688	692	695	698	701	704	706	709	711	713	716
Restaurantes de parrilladas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total	2.160	2.184	2.207	2.135	2.063	1.989	1.915	1.840	1.763	1.686	1.608	1.622	1.636	1.648	1.663	1.678

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-48 Proyección de emisiones de MP2,5 por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	1.429	1.448	1.466	1.353	1.239	1.124	1.008	892	775	657	538	550	561	571	583	595
Calefacción otros combustibles	57	57	57	58	58	58	59	59	59	59	60	60	60	60	60	61
Carritos ambulantes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hornos de barro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	668	672	677	681	685	688	692	695	698	701	704	706	709	711	713	716
Restaurantes de parrilladas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total	2.160	2.184	2.207	2.098	1.988	1.877	1.765	1.652	1.539	1.424	1.308	1.323	1.336	1.349	1.364	1.379

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-49 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	149	145	141	137	133	129	124	120	115	110	105	100	94	89	83	77
Calefacción otros combustibles	2.266	2.360	2.470	2.716	2.913	2.960	2.972	2.982	2.991	2.995	2.998	3.002	3.005	3.007	3.011	3.015
Carritos ambulantes	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	167	168	169	170	171	172	173	174	175	175	176	177	177	178	178	179
Total	2.582	2.674	2.781	3.024	3.218	3.261	3.269	3.276	3.281	3.281	3.280	3.278	3.276	3.274	3.273	3.272

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-50 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	149	150	152	154	156	158	159	161	162	164	165	166	167	168	169	171
Calefacción otros combustibles	2.266	2.282	2.296	2.310	2.323	2.335	2.347	2.359	2.369	2.379	2.388	2.397	2.404	2.411	2.420	2.430
Carritos ambulantes	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	167	168	169	170	171	172	173	174	175	175	176	177	177	178	178	179
Total	2.582	2.601	2.618	2.635	2.651	2.666	2.680	2.694	2.706	2.718	2.729	2.740	2.749	2.758	2.769	2.780

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-51 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.1

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	149	150	152	144	136	128	120	111	103	95	86	87	88	89	91	92
Calefacción otros combustibles	2.266	2.282	2.296	2.310	2.323	2.335	2.347	2.359	2.369	2.379	2.388	2.397	2.404	2.411	2.420	2.430
Carritos ambulantes	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	167	168	169	170	171	172	173	174	175	175	176	177	177	178	178	179
Total	2.582	2.601	2.618	2.625	2.631	2.636	2.641	2.644	2.647	2.649	2.651	2.661	2.670	2.679	2.690	2.701

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-52 Proyección de emisiones de NOx por categoría, periodo 2022-2037 [ton/año], Escenario 3.2

Categoría	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Calefacción a leña	149	150	152	140	128	116	104	92	79	67	55	56	57	58	59	60
Calefacción otros combustibles	2.266	2.282	2.296	2.310	2.323	2.335	2.347	2.359	2.369	2.379	2.388	2.397	2.404	2.411	2.420	2.430
Carritos ambulantes	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parrillas residenciales	167	168	169	170	171	172	173	174	175	175	176	177	177	178	178	179
Total	2.582	2.601	2.618	2.621	2.623	2.624	2.625	2.625	2.624	2.622	2.619	2.629	2.639	2.648	2.659	2.670

Fuente: Elaboración propia

4. Análisis de las medidas actuales del PPDA RMS y de otras normativas asociadas al sector Residencial que tengan injerencia en las emisiones atmosféricas, que permita identificar sinergias con la actualización del presente Plan

4.1 Revisión del estudio "Revisión de las Medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago - PPDA", en lo que respecta al sector Residencial, para evaluar qué medidas deberían mantenerse, retirarse o modificarse en la actualización del PPDA RMS

En la presente sección, se detalla la revisión del estudio "Revisión de las Medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de Santiago - PPDA" (ECOS, 2023), en lo que respecta al sector Residencial, con el propósito de evaluar qué medidas deberían mantenerse, retirarse o modificarse en la actualización del PPDA RMS.

En la Tabla 4-1 se presentan las medidas asociadas al sector residencial junto a su respectiva evaluación realizada por ECOS en el estudio mencionado. Además, se agrega la propuesta de modificación del equipo consultor, basada en la evaluación realizada por ECOS. Cabe destacar que esta propuesta se basa únicamente en la evaluación realizada por el estudio (ECOS, 2023), mientras que la propuesta definitiva se detalla más adelante (ver Sección 5.2.1).

Tabla 4-1 Evaluación modificación medidas sector residencial PPDA RMS

Medidas RM	Artículo PPDA	¿Debe mantenerse?	¿Es aplicable?	¿Necesita mejoras?	¿Necesita otro marco normativo?	Evaluación cualitativa	Recomendación ECOS	Propuesta
Definición Zona A y Zona B	73	Sí	Sí	Sí	No	Bueno	- Reevaluar la necesidad de mantener dos zonas de operación.	Modificar
Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A	74	Sí	Sí	Sí	No	Bueno	- Considerar el apoyo de las Municipalidades para la fiscalización. - Revisar o actualizar el inventario de emisiones de la RM para identificar lugares a fiscalizar.	Mantener
Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75	Sí	Sí	Sí	No	Bueno	- Considerar el apoyo de las Municipalidades para la fiscalización. - Revisar o actualizar el inventario de emisiones de la RM para identificar lugares a fiscalizar.	Mantener
Fortalecimiento seguimiento calidad del aire Zona B	76	Sí	Sí	Sí	No	Bueno	- Establecer un criterio regional, ampliando las restricciones de la Zona A hacia la Zona B. - Realizar una encuesta de percepción de la calidad del aire en comparación con Santiago e impacto de la comunidad en la contaminación. - Obtener datos para campaña comunicacional sobre la responsabilidad de las actividades de las zonas rurales.	Mantener
Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin	77	Si	No	Si	No	Regular	- Considerar el apoyo de las Municipalidades para la fiscalización. - Revisar o actualizar el inventario de emisiones de la RM para identificar lugares a fiscalizar.	Mantener

Medidas RM	Artículo PPDA	¿Debe mantenerse?	¿Es aplicable?	¿Necesita mejoras?	¿Necesita otro marco normativo?	Evaluación cualitativa	Recomendación ECOS	Propuesta
Prohibición de quema de residuos en calefactores	79	No	No	Si	No	Malo	- Considerar el apoyo de las Municipalidades para la fiscalización. - Revisar o actualizar el inventario de emisiones de la RM para identificar lugares a fiscalizar.	Retirar
Ordenanzas municipales uso de calefactores a leña, pellet de madera y otros derivados de la madera	80	Si	Si	Si	No	Bueno	No aplica	Mantener
Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81	No	Si	No	No	Bueno	No aplica	Retirar
Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82	Si	Si	Si	No	Bueno	- Incluir el tipo de compensación y su estado, en el registro de los planes de compensación	Mantener
Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera, certificados y que cumplan límite emisión MP	83	Si	No	Si	No	Regular	- Incluir el contaminante CO en la comercialización de calefactores nuevos a leña y pellet de madera. - Vincular la medida con actividades/incentivos para promover la calefacción limpia.	Modificar
Rediseño placa calefactores a leña y pellet de madera	84	Si	Si	Si	No	Regular	- Mantener los registros de calefactores certificados por la SEC	Retirar
Listado de calefactores a leña y pellet de madera que cumplan norma de emisión establecida en Artículo 83	85	Si	Si	Si	No	Regular	- Mantener actualizados los medios de comunicación sobre las medidas del PDA. - Registrar cada medida en un repositorio documental.	Mantener
Comercialización de leña seca debe cumplir Norma NCh2907. Fiscalización de la comercialización mediante metodología de la Norma NCh2965.	86	No	Si	No	Si	Regular	- Establecer un registro público que detalle la cantidad de fiscalizaciones realizadas sobre humedad de leña seca	Retirar

Medidas RM	Artículo PPDA	¿Debe mantenerse?	¿Es aplicable?	¿Necesita mejoras?	¿Necesita otro marco normativo?	Evaluación cualitativa	Recomendación ECOS	Propuesta
Comerciantes de leña deben contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento del Artículo 86	87	Si	Si	No	No	Bueno	- Establecer un registro público que detalle la cantidad de fiscalizaciones realizadas sobre humedad de leña seca	Mantener
Estándares técnicos para acondicionamiento térmico en viviendas existentes	88	No	Si	No	Si	Malo	- Gestionar comunicación sobre los recursos invertidos y el número de viviendas beneficiadas	Retirar
Subsidios especiales para acondicionamiento térmico en comunas de Zona B	89	Si	No	Si	No	Regular	- Gestionar comunicación sobre los recursos invertidos y el número de viviendas beneficiadas	Mantener
Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica en la RM	90	No	Si	Si	Si	Malo	No aplica	Retirar
Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91	Si	Si	Si	No	Regular	- Elaborar un plan de acción para las actividades	Mantener
Fomento de proyectos/estudios de generación energía sustentable para calefacción	92	Si	No	No	Si	Regular	- Mantener un registro de los impedimentos para justificar el progreso o la ejecución de la medida	Mantener
Informe sistema de certificación y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93	No	No	Si	Si	Malo	- Elaborar un informe sobre las gestiones y actividades menores realizadas, que incluya un plan de acción y acuerdos entre ministerios para la ejecución de la medida	Retirar
Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94	No	No	Si	No	Malo	- Elaborar un informe sobre las gestiones y actividades menores realizadas, que incluya un plan de acción y acuerdos entre ministerios para la ejecución de la medida	Retirar
Medida Permanente Período GEC: Control de humos visibles	120.e	S/I	S/I	S/I	S/I	Malo	- Reevaluar la medida considerando su aplicabilidad en la fiscalización. Unificar los criterios y restricciones del PPDA para la RM, eliminando la Zona A y B.	Modificar

Medidas RM	Artículo PPDA	¿Debe mantenerse?	¿Es aplicable?	¿Necesita mejoras?	¿Necesita otro marco normativo?	Evaluación cualitativa	Recomendación ECOS	Propuesta
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña y otros derivados madera - Alerta ambiental	121.b	S/I	S/I	S/I	S/I	Malo	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar el apoyo de las Municipalidades y ampliar el alcance de las fiscalizaciones. - Realizar un levantamiento inicial de los sectores comunales donde se utilicen estos artefactos. - Establecer un plan de acción para las fiscalizaciones del personal del MINSAL y/o Municipalidad en caso de Alerta Ambiental. 	Modificar
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Preemergencia ambiental	122.c	S/I	S/I	S/I	S/I	Malo	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar el apoyo de las Municipalidades y ampliar el alcance de las fiscalizaciones. - Realizar un levantamiento inicial de los sectores comunales donde se utilicen estos artefactos. - Establecer un plan de acción para las fiscalizaciones del personal del MINSAL y/o Municipalidad en caso de Preemergencia Ambiental. 	Modificar
Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Emergencia ambiental	123.c	S/I	S/I	S/I	S/I	Malo	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar el apoyo de las Municipalidades y ampliar el alcance de las fiscalizaciones. - Realizar un levantamiento inicial de los sectores comunales donde se utilicen estos artefactos. - Establecer un plan de acción para las fiscalizaciones del personal del MINSAL y/o Municipalidad en caso de Emergencia Ambiental. 	Modificar

Fuente: Elaboración propia en base a (ECOS, 2023)

4.2 Levantamiento y revisión de normativa nacional que tenga incidencia en las emisiones del Sector Residencial, donde se identifiquen sinergias con la actualización del PPDA RMS

Se realiza un levantamiento y revisión de la normativa nacional con incidencia en las emisiones del sector residencial, con el fin de identificar sinergias con la actualización del PPDA RMS. En las siguientes subsecciones se detallan los hallazgos y las sinergias de la normativa nacional revisada.

4.2.1.1 Ley 20.586: Regula la certificación de los artefactos para combustión de leña y otros productos dendroenergéticos (Ministerio de Energía, 2012)

Esta ley describe las modificaciones realizadas al número 14 del Artículo 3° de la ley N° 18.410 que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Las modificaciones incluyen la incorporación de productos, máquinas, instrumentos, equipos, artefactos, aparatos y materiales eléctricos que utilicen leña y otros productos dendroenergéticos como medio de combustión¹⁴.

En cuanto a las sinergias encontradas, se definen los requisitos de comercialización y que no está permitido comercializar estos artefactos en el país sin contar con la certificación y la etiqueta de consumo energético. La Ley 20.586/2012 indica que la SEC autoriza a los organismos encargados de realizar los ensayos con el objetivo de otorgar un certificado de aprobación. Los certificados para artefactos que utilizan leña y otros productos dendroenergéticos como combustible deben acreditar el cumplimiento de la norma de emisión dictadas en conformidad al Artículo 40 o 44 de la Ley 19.300/1994¹⁵, correspondiente al D.S. N°39 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente y que se revisa en la siguiente subsección.

Mientras que el PPDA establece que los calefactores deben certificarse conforme a la metodología de la norma de emisión de material particulado, contenida en el D.S. N°39 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente¹⁶, al igual que la Ley 20.586/2012. Además, el PPDA especifica que la comercialización debe cumplir con los requerimientos técnicos de la Norma NCh2907¹⁷, que establece un contenido de humedad menor a 25%¹⁸.

4.2.1.2 Ley 21.499: Regula los Biocombustibles Sólidos (Ministerio de Energía, 2022)

Esta ley establece la existencia de estándares de calidad obligatorios para los biocombustibles sólidos¹⁹ que se comercialicen, obligando así a que solo se venda leña y pellet certificados

¹⁴ Artículo único, letra a) del Ley 20.586 de 2012 del Ministerio de Energía.

¹⁵ Artículo único, letra b) del Ley 20.586 de 2012 del Ministerio de Energía.

¹⁶ Artículo 83, del D.S. N° 31 de 2016 del MMA.

¹⁷ Artículo 86, del D.S. N° 31 de 2016 del MMA.

¹⁸ Página 7, de NCh2907. Obtenida de: <https://normastecnicas.mma.gob.cl/document/10>

¹⁹ Combustibles elaborados a partir de biomasa de origen leñoso o no leñoso, tales como leña, pellets, carbón vegetal, briquetas y astillas, entre otros.

(Ministerio de Energía, 2022). Su objetivo principal es regular la producción, comercialización y uso de los combustibles derivados de manera en Chile, fomentando su uso sostenible y contribuyendo a la reducción de la contaminación por material particulado fino (MP_{2,5}) y sus consecuencias.

En cuanto a sinergias encontradas, por un lado, la Ley 21.499/2022 establece mediante una resolución exenta, las especificaciones técnicas mínimas de calidad y las métricas que deberán cumplir los biocombustibles sólidos para poder ser comercializados en todo el territorio nacional, además de la obligatoriedad de estar inscritos en el registro público que llevará la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) como un registro habilitante.

Mientras que el PPDA, establece las restricciones en diferentes condiciones ambientales sobre los usos y prohibiciones, particularmente de leña seca, en todo el sector residencial de la Región Metropolitana. Además, el PPDA especifica que la comercialización debe cumplir con los requerimientos técnicos de la Norma NCh2907²⁰ en donde se establecen los límites en el contenido de humedad de esta. Ambas normativas con el fin de reducir las emisiones contaminantes.

4.2.1.3 Decreto 39: Establece norma de emisión de material particulado para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera (MMA, 2011)

Este decreto establece la norma de emisión para material particulado en artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera. Su objetivo es proteger la salud de las personas, mediante la fijación de límites de emisión de material particulado para artefactos nuevos, fabricados o importados, que operen con leña. La aplicación de esta norma no contradice un PPDA, ya que se aplica en todo el territorio nacional, a excepción de las zonas declaradas latentes y/o saturadas donde rija un plan de prevención y/o descontaminación con exigencias diferentes²¹.

La norma se aplica a artefactos nuevos con una potencia menor o igual a 25 kW que se comercialicen en el país después de la fecha de vigencia del decreto. No se aplica a artefactos en operación o instalados antes de la fecha de vigencia del decreto, ni a calderas generadora de calor destinadas principalmente al calentamiento de agua, cocinas y hornos de barro²².

En cuanto a las sinergias encontradas, se establece un límite máximo de emisión de MP. El D.S. N°39 de 2011 define que los calefactores nuevos que operan con leña deben cumplir con el límite máximo de emisión de material particulado indicado en la Tabla 4-2²³. El PPDA, por su parte, establece que sólo se permitirá la comercialización de calefactores nuevos a leñas que tengan una potencia térmica menor o igual a 25 kW y emitan un material particulado menor o igual a

²⁰ Artículo 86, del D.S. N° 31 de 2016 del MMA

²¹ Artículo 1, del D.S. N° 39 de 2011 del MMA.

²² Artículo 2, del D.S. N° 39 de 2011 del MMA.

²³ Artículo 4, del D.S. N° 39 del 2011 del MMA.

2,5 g/h ¹⁶ (Ver Tabla 4-3). También, se indica un listado de calefactores a leña y pellet de madera que cumplan con la norma de emisión establecida y pueden ser comercializados²⁴.

Tabla 4-2 Límites de emisión según potencia, D.S. 39 de 2011 del MMA

Potencia térmica nominal (kW)	Emisión de MP (g/h)
Menor o igual a 8	2,5
Mayor a 8 y menor o igual a 14	3,5
Mayor a 14 y menor o igual a 25	4,5

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

Tabla 4-3 Límites de emisión según potencia, PPDA, D.S. 31 de 2016 del MMA

Potencia térmica nominal (kW)	Emisión de MP (g/h)
Menor o igual a 25	Menor o igual a 2,5

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2016)

El D.S. N°39 de 2011 también define otros aspectos a considerar para cumplir las normas de emisión. Establece que la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) será la encargada del control y fiscalización del decreto²⁵. Además, las mediciones de material particulado en los artefactos nuevos se efectuarán mediante el Método CH-5G “Determinación de las Emisiones de Partículas de Calefactores a Leña medidas desde un Túnel de Dilución” contenido en la resolución exenta N°34 de 2006, del Ministerio de Salud, o el que lo actualice o reemplace²⁶. También, se indica que los procedimientos de ensayos y acondicionamiento del combustible se deberán efectuar mediante el Método CH-28 “Determinación de Material Particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña”, contenido en la resolución exenta N°1.349, de 1998, del Ministerio de Salud, o el que lo actualice o reemplace²⁶.

²⁴ Artículo 85, del D.S. N° 31 de 2016 del MMA.

²⁵ Artículo 5, del D.S. N° 39 de 2011 del MMA.

²⁶ Artículo 6, del D.S. N° 39 de 2011 del MMA.

5. Propuesta de medidas nuevas y/o mantención o modificación de las medidas actuales, para la actualización del presente Plan

5.1 Revisión de antecedentes nacionales e internacionales sobre medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial que no se encuentren en el actual PPDA

5.1.1 Antecedentes nacionales

Se revisaron los siguientes antecedentes nacionales sobre medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial.

- 1) Medidas costo-efectivas para reducir la contaminación del aire generada por la combustión de leña en ciudades del sur de Chile (MMA, 2010).
- 2) Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP_{2,5} y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile (Muñoz-Ibáñez & Cáceres-Lillo, 2020).
- 3) Contaminación Atmosférica y Hospitalizaciones (Escobar, 2023)
- 4) Estrategia de transición energética residencial (Ministerio de Energía, 2020).
- 5) Ordenanzas municipales que regulan el uso de la leña, comunas del centro y sur de Chile (Vivanco, 2020).
- 6) Cultura de leña: consumo y almacenamiento, estrategias de diseño para mejorar el desempeño energético de las viviendas en la ciudad de Valdivia y reducir el consumo residencial de leña (Reyes, 2021).
- 7) 21 Propuestas de políticas públicas para disminuir las emisiones de CO₂ en hogares de ciudades del centro - sur de Chile (Rojas et al., 2021).
- 8) Calefacción distrital en Chile y avances en la investigación de interacción entre suelo y tuberías en redes de calefacción distrital (Villalobos et al., 2023).
- 9) Guía para el sector inmobiliario: Tecnologías disponibles para energía distrital y oportunidades para el sector (ONED, 2022).

En las siguientes subsecciones se detallan los hallazgos de cada uno de los antecedentes nacionales revisados.

5.1.1.1 Medidas costo-efectivas para reducir la contaminación del aire generada por la combustión de leña en ciudades del sur de Chile

Este documento aborda la contaminación del aire causada por la combustión de leña para calefacción en la zona urbana sur del país. Se presentan los resultados del monitoreo de calidad del aire de MP₁₀ en diversas ciudades, junto con un análisis del consumo de leña e identifica las externalidades negativas asociadas a su uso como combustible para calefacción (MMA, 2010).

Se proponen medidas de mitigación de alta, media y baja inversión, considerando diferentes recursos para su implementación. Además, se especifican los costos de inversión requeridos para las medidas de alta inversión.

Como medidas de reducción de emisiones atmosféricas, se proponen y detallan dos medidas:

1. El recambio de calefactores.
2. El mejoramiento térmico de las viviendas.

Se especifican los supuestos empleados para la formulación de la medida, los resultados esperados en la reducción de emisiones, los costos de inversión necesarios para su implementación y el ahorro anual en el consumo de leña. En la Figura 5-1 se muestra el potencial de reducción de MP10 y consumo de leña para el recambio de calefactores.

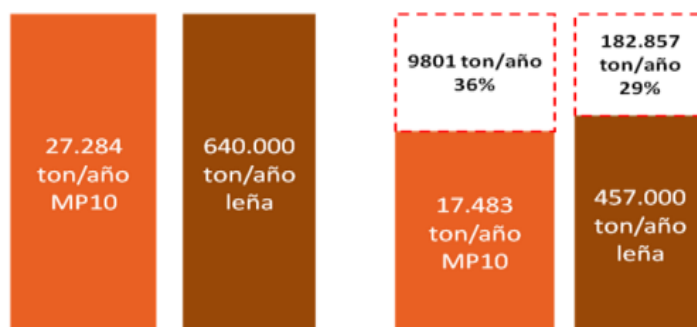


Figura 5-1 Potencial de reducción de MP10 y consumo de leña para medida de recambio de calefactores

Fuente: (MMA, 2010)

5.1.1.2 Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP2,5 y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile

Este documento analiza el impacto del recambio de tecnología de calefacción (RTC) en la concentración de MP2,5, junto con el número de ingresos hospitalarios diarios por urgencias respiratorias, comparando el año 2014 sin recambio y el 2016 con recambio. No presentan otras medidas de mitigación.

Se proporciona información relevante utilizada para el análisis, como los valores de RTC realizados durante el año, el número de ingresos hospitalarios, la concentración de MP2,5 y el número de horas en que la concentración excedió la norma. Además, se incluyen gráficos que muestran la concentración horaria de MP2,5 y el número de urgencias respiratorias, tal como se presenta en la Figura 5-2.

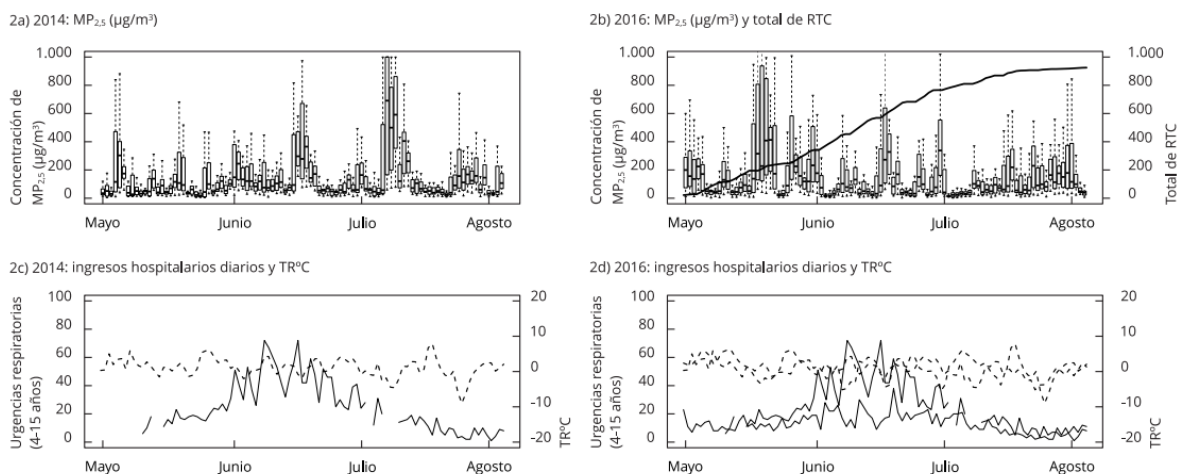


Figura 5-2 Concentración horaria de MP_{2,5} e ingresos de urgencias respiratorias

Fuente: (Muñoz-Ibáñez & Cáceres-Lillo, 2020)

5.1.1.3 Contaminación Atmosférica y Hospitalizaciones

El documento busca contribuir a la literatura con los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas. En particular, estudia la relación entre la contaminación atmosférica y las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños para la ciudad de Santiago entre los años 2013 y 2019. Para poder analizar este vínculo utiliza un enfoque mediante el uso del fenómeno de inversión térmica para poder identificar el efecto causal de contaminantes específicos como MP₁₀, MP_{2,5} y CO.

Entre los principales hallazgos, se logró encontrar una correlación directa entre el aumento de los contaminantes mencionados anteriormente y las hospitalizaciones respiratorias en niños, con un mayor impacto en aquellos con un menor nivel socioeconómico. Adicionalmente, el estudio menciona que reducir en un 25% el nivel promedio de la contaminación conduce a un aumento en el bienestar social, debido a una reducción en la tasa de hospitalizaciones infantiles, que se traduce en un beneficio económico de USD 1.4 millones anuales.

Frente a estos resultados encontrados, se provee una evidencia causal para promover políticas públicas de reducción del nivel de contaminación en el aire.

5.1.1.4 Estrategia de transición energética residencial

El documento presenta la estrategia para la transición energética residencial, se propone un enfoque gradual a través de un total de 14 medidas, las cuales se agrupan en cuatro subtemas generales (ver Figura 5-3):

1. Regular del mercado de la leña y otros biocombustibles sólidos.
2. Habilitar alternativas de calefacción distintas a la leña a precios accesibles.
3. Promover edificaciones y equipos eficientes.
4. Transición justa y sustentable.

Objetivo Estrategia	Regulación	Programas Públicos	Alianza público-privada
O1: Regular mercado de biocombustibles sólidos (leña y pellet)	1. Ley de Biocombustibles Sólidos (leña y pellet)	7. Fondo Leña Más Seca 8. Centros Integrales de Biomasa 9. Sello de Calidad de Leña	13. Estudio relación COVID19 y leña, y experiencias internacionales de transición
O2: Habilitar alternativas de calefacción distintas a la leña (electricidad, gas(*), energía distrital)	2. Implementación Artículo 148 de LGSE 3. Ley de Energía Distrital 4. Ley de Sistemas Medianos 5. Ley de Portabilidad Energética	10. Piloto programa recambio calefactores MEN 11. Impulso a proyectos piloto de Energía Distrital	14. Convenio Ministerio de Energía-Edelaysen (para habilitar tarifas competitivas de calefacción eléctrica para Coyhaique y Puerto Aysén)
O3: Promover edificaciones y equipos eficientes	6. Convenio de calefacción MEN-MINVU-MMA (publicar propuesta de actualización de reglamentación térmica Art. 4.1.10 OGUC)	12. Convenio de calefacción MEN-MINVU-MMA (aumento y diversificación de programas de subsidios de envoltente térmica y recambio de calefactores)	

Figura 5-3 Paquete de 14 medidas iniciales de la Estrategia

Fuente: Ministerio de Energía, 2020

Asimismo, se aborda la problemática del uso de leña, analizando sus causas y consecuencias. Entre las causas del consumo de leña se identifica: su predominio como el energético más usado, viviendas con alto consumo de energía, equipos ineficientes y mal operados, la ausencia de alternativas de costo similar y la leña como parte del estilo de vida. En cuanto a los problemas generados por su uso, se analiza su efecto en la salud, los bosques, los incendios, el cambio climático y la informalidad del mercado de leña.

Además, se realiza una modelación de alternativas energéticas para Aysén, que involucra una evaluación económica de soluciones energéticas en reemplazo de la leña. Las alternativas consideradas son el uso de gas natural, calefacción distrital y electricidad. Se analiza tanto el escenario actual como el escenario futuro, que incluye el recambio tecnológico, junto con los supuestos y costos asociados.

5.1.1.5 Ordenanzas municipales que regulan el uso de la leña, comunas del centro y sur de Chile

El documento evidencia y resume las ordenanzas municipales que regulan el uso de leña para calefacción en las comunas del centro-sur de Chile, se analizan algunas comunas de Santiago, así como Padre Las Casas, Temuco y Chillán.

Las ordenanzas presentadas en el documento se destacan por presentar subtemas principales como la calidad de la leña, el almacenamiento, la fiscalización, la comercialización y las restricciones en el uso de leñas y de equipos.

5.1.1.6 Cultura de leña: consumo y almacenamiento, estrategias de diseño para mejorar el desempeño energético de las viviendas en la ciudad de Valdivia y reducir el consumo residencial de leña

El documento propone y detalla soluciones de transición energética para mejorar el desempeño energético de las viviendas, enfocándose en dos propuestas principales:

1. Mejorar el envoltente de las viviendas.
2. Soluciones arquitectónicas, que amplía y distribuye correctamente la leña en el hogar.

Las soluciones se proponen para una vivienda representativa de Valdivia, se presentan los supuestos, las características físicas y la demanda energética de la vivienda considerada. Mientras que las soluciones entregan en detalle los cambios de materiales realizados, además de la demanda energética y el consumo de leña al año posterior a la mejora, en la Figura 5-4 se presenta el desempeño energético de la vivienda posterior a las mejoras.

	Demanda total anual de energía para calefacción (kWh/año)	Demanda de energía para calefacción por m ² (kWh/m ² / año)	Consumo total anual de leña (m ³ /año)	Consumo de leña por m ² (m ³ /m ² /año)
Vivienda original (30 m ²)	1297,7	43,2	8,47	0,28
Vivienda original con envoltente mejorada (30 m ²)	574,1	19,1	5,62	0,18
Vivienda propuesta (82 m ²)	442,7	5,4	4,33	0,05

Figura 5-4 Desempeño energético de vivienda estudiada posterior a la mejora

Fuente: Reyes, 2021

5.1.1.7 21 propuestas de políticas públicas para disminuir las emisiones de CO2 en hogares de ciudades del centro – sur de Chile

El documento presenta 21 propuestas de políticas públicas para reducir las emisiones de CO2 en ciudades del centro-sur de Chile, como Coronel, Temuco, Valdivia y Osorno. Las medidas propuestas se agrupan en los siguientes subtemas:

1. Energía.
2. Alimentación.
3. Calefacción.
4. Movilidad.
5. Medida Transversal.

De lo anterior, son de interés para el presente estudio los subtemas de energía, calefacción y transversales. Aunque no se incluyen datos específicos de cada propuesta, se proporciona una

descripción cualitativa de las medidas, y se mencionan referencias internacionales que puede ser de utilidad para obtener más información.

5.1.1.8 Calefacción distrital en Chile y avances en la investigación de interacción entre suelo y tuberías en redes de calefacción distrital.

El documento enfoca su estudio en la calefacción distrital, la cual consiste en suministrar agua caliente desde plantas de generación de calor hacia redes de calefacción central en edificaciones de viviendas, oficinas, comercio, educacional, hospitalaria y todos los lugares donde sea requerido con la idea de abarcar a la mayor parte de la población de un barrio, sector, ciudad o comuna.

Además, se mencionan las ventajas en términos de reducción de costos producto de la economía de escala al distribuirse a muchos usuarios. Dado que la calefacción se entrega como calor directamente en el lugar donde se necesita, no se requiere comprar combustible ni destinar espacios de almacenamiento ni mantención de equipos de calefacción. No se emiten residuos o contaminantes en el lugar donde se calefacciona. La calefacción puede estar encendida ininterrumpidamente día y noche, sin tener que apagar y encender para ahorrar dinero o para recargar. En la fuente de generación de calor es posible controlar las emisiones en plantas de calor usando filtros, lo cual permite reducir significativamente las emisiones en una ciudad. En comparación con las emisiones individuales que son muy difíciles de controlar e impedir, incluso con legislación y sanciones.

Este estudio es de interés para el presente estudio al ser una tecnología innovadora que en el largo plazo puede contribuir de forma eficiente en la reducción de emisiones.

Por último, se presenta, en la Tabla 5-1 un resumen de las medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial según los antecedentes nacionales.

Tabla 5-1 Medidas de reducción de emisiones atmosféricas de antecedentes nacionales

Medida	Descripción Medida	Fuente de información
Almacenamiento	Almacenar en lugar seco o protegido de humedad y/o agua. Aplica: San Joaquín (1998); La Reina (2013); Padre Las Casas (2010)	Vivanco, 2020
Centro Integrales de Biomasa	Aumentar la oferta de leña seca, pellet, astillas y/o briquetas	Ministerio de Energía, 2020
Convenio de calefacción MEN-MINVU-MMAa	Publicar propuesta de actualización de reglamentación térmica Art. 4.1.10 OGUC	Ministerio de Energía, 2020
Convenio de calefacción MEN-MINVU-MMAB	Aumento y diversificación de programas de subsidio de envolvente térmica y recambio de calefactores	Ministerio de Energía, 2020
Convenio Ministerio de Energía-Edelaysen	Convenio para habilitar tarifas competitivas de calefacción eléctrica de Coyhaique y Puerto Aysén	Ministerio de Energía, 2020
Creación de programas de recambio de calefactores con subsidio	Creación de programas de recambio de calefactores con subsidio	MMA, 2010
Facilitar acceso a instrumentos económicos para comerciantes leña	Facilitar acceso a instrumentos CORFO, SERCOTEC Y FOSIS para comerciantes de leña	MMA, 2010
Fiscalización	Fiscalizan inspectores municipales y Carabineros, se denuncia juzgado y puede haber sanción. Aplica: Las Condes (1997); Lo Barnechea (2009); San Joaquín (1998); Peñalolén (2015); Padre Las Casas (2010); Temuco (2010)	Vivanco, 2020
Fondo Leña Más Seca	Incrementar la oferta de leña que cumpla estándares de calidad	Ministerio de Energía, 2020
Fortalecimiento de la certificación de la leña	Fortalecimiento de la certificación de la leña, incluyendo usuarios responsables	MMA, 2010
Impulso a proyectos piloto de Energía Distrital	Generar acciones necesarias para el impulso y aceleración en la ejecución de proyectos piloto de energía distrital	Ministerio de Energía, 2020
Informar sobre la calidad térmica y posibles ahorros energéticos	Informar sobre la calidad térmica y posibles ahorros energéticos en calefactores y vivienda	MMA, 2010
Medidas independientes al Plan de descontaminación	Aplicación de medidas independientes a la vigencia de un Plan de descontaminación.	MMA, 2010
Mejorar envolvente vivienda	Mejorar la calidad de envolvente de muros y techumbres de viviendas	Reyes, 2021
Piloto programa recambio de calefactores MEN	Reducir el consumo de energía, emisiones de MP10 y la contaminación dentro del hogar	Ministerio de Energía, 2020
Programa de aislación térmica para hogares	Generar evidencia científica sobre articulación y pertinencia de los programas de subsidios de aislación térmica	IEUT-UC, 2021
Programa de eficiencia energética de hogares	Fortalecer programas de eficiencia energética, aporta en reducción de consumo energía	IEUT-UC, 2021
Sello de Calidad de Leña	Identificar y difundir a los comercializadores que cuentan con proceso productivo que asegura el cumplimiento de un estándar de calidad de leña	Ministerio de Energía, 2020

Medida	Descripción Medida	Fuente de información
Registro de stock de leña seca	Todo comerciante de leña deberá inscribirse a un registro de carácter obligatorio y mencionar mensualmente el stock de leña seca	PPDA, Concepción
Transparencia en Conversión Energética y Precio de la Leña	Los comerciales de leña deben informar al público la conversión y equivalencia en precio y energía calórica de la leña.	PPDA, Concepción
Diseño y ejecución de programas de fomento a productores y comercializadores de leña	SEREMI de Agricultura, mediante CONAF y/o INDAP y la SEREMI de Economía mediante CORFO y/o SERCOTEC, o quien los reemplace, diseñarán y ejecutarán programas anuales de fomento y apoyo a productores y comercializadores de leña para promover su formalización, mejoramiento de infraestructura, producción y calidad de leña	PPDA, Concepción
Fomento de proyectos de calefacción con Energías Renovables No Convencionales	Fomentar y priorizar proyectos de inversión orientados a la generación de energía para calefacción a través de Energías Renovables No Convencionales	PPDA, Concepción
Prohibición de calefacción a leña en departamentos habitacionales	Prohibición de utilización de calefactores a leña destinados a calefacción, en interior de departamentos con destino habitacional	PPDA, Concepción
Implementar un registro público de calefactores y cocinas a leña y sus derivados	Implementación de un registro público de calefactores y cocinas a leña, sería requisito obligatorio para ser beneficiario de un programa de recambio	PPDA, Concepción
Diseño de campaña comunicacional para promover buen uso de la biomasa en calefactores	Diseñar campaña comunicacional asociada a la promoción del buen uso de la biomasa en calefactores que usen ese tipo de combustible	PPDA, Concepción
Programa de calefacción limpia	Ejecutar programa de calefacción limpia y eficiente, construcción sustentable, acuerdos de producción limpia	PPDA, Concepción
Condiciones de almacenamiento de la leña	Fijar condiciones de almacenado de la leña, que se ubique en un sector seco, y protegido de la humedad, aguas directas e indirectas	BCN
Fomento de producción de derivados de biomasa de calidad para calefacción	Programa centro integral de biomasa, para fomentar producción de derivados de biomasa de calidad para la demanda de calefacción	MEN
Certificación pellet	Diseñar certificación para la calidad del pellet	CORFO, 2022

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Antecedentes internacionales

Se revisaron antecedentes internacionales sobre medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial. Los antecedentes revisados corresponden a estudios realizados por la EPA y la Unión Europea, además, se consideran países con condiciones similares a las chilenas con consumo de leña.

En las siguientes subsecciones se detallan los hallazgos de cada uno de los antecedentes internacionales revisados.

5.1.2.1 Strategies for reducing residential Wood smoke (EPA, 2013)

Este documento identifica estrategias para reducir la contaminación por material particulado producto del humo de leña residencial. Presenta una lista completa de estrategias y estudios de casos para identificar medidas apropiadas para la reducción del humo de leña para la comunidad. Cada medida incluye ejemplos de implementación y su respectivo enlace de información. La EPA recomienda una combinación de estrategias regulatorias, voluntarias y educativas, que incluyen:

1. Enfoques regulatorios para reducir el humo de leña.
2. Programas voluntarios para reemplazar viejas estufas de leña, calentadores hidrónicos y chimeneas.
3. Herramientas de educación y divulgación.
4. Sistemas de notificación pública y pronóstico de la calidad del aire.
5. Acciones federales para reducir el humo de leña residencial.

Los programas regulatorios incluyen:

1. Programas de reducción de la quema de leña:
 - a. Implementado en Sacramento, California, se prohíbe la quema de leña cuando la concentración de MP_{2,5} supera los 31 ug/m³, excepto en estufas certificadas por la EPA; si supera los 35 ug/m³, se prohíbe toda quema.
2. Límites de opacidad:
 - a. En el estado de Washington, no se permite que la emisión exceda un promedio del 20% de opacidad durante 6 minutos consecutivos en cualquier periodo de una hora.
 - b. El Departamento de Calidad del Aire del Condado de Maricopa en Arizona regula la presencia de emisiones visibles durante los periodos de quema restringida.
3. Contenido de humedad:
 - a. En Sacramento, la regulación exige que el contenido de humedad no supere el 20%.
4. Remoción de una estufa de leña vieja al revender una casa:
 - a. Implementado por Mammoth Lakes, California; el condado de Washoe en Nevada; y el estado de Oregón. Se exige la inoperatividad, remoción y

destrucción de estufas de leña viejas al revender una casa, válido para aparatos no certificados por la EPA.

5. Prohibición de uso de estufas no certificadas por la EPA:

- a. En el estado de Oregón, El Departamento de Calidad Ambiental estableció una ley en 1991 que estipula que sólo se pueden revender las estufas certificadas por el DEQ y la EPA fabricadas después de 1986. Además, la División de Códigos de Construcción aprobó una ley complementaria a principios de la década de 1990 que prohibía la instalación de estufas no certificadas.
- b. En Lincoln County, Montana, en 2006 se aprueba una regulación que prohíbe el uso de estufas de leñas no certificadas por la EPA, cada hogar debe tener un permiso de funcionamiento.

Además, de los enfoques regulatorios, las comunidades pueden implementar estrategias voluntarias para el control del humo de leña, que incluyen:

1. Reemplazo de estufas de leña:

- a. En Fairbanks, Alaska, existe un “programa de cambio y retiro de estufas de leña y calefactores hidrónicos”.
- b. El Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento (SMAQMD) se asoció con el programa local de climatización de 2008-2011 para reemplazar estufas a leña no certificadas en las áreas con más bajos ingresos, el programa financió hasta USD 2.500 por el inserto de estufas a leña certificadas por la EPA y hasta USD 3.500 por estufas a gas, mientras que el programa financió la instalación de los artefactos. Actualmente, el programa ofrece mediante un sistema de vales, hasta USD 1.500 para la compra/instalación de un dispositivo menos contaminante o la eliminación de un artefacto a leña.
- c. En Libby, Montana, con contribuciones financieras se reemplazó la mayoría de las estufas de leña. Se realizó un monitoreo de la calidad del aire antes y después del cambio; en interiores las emisiones se redujeron en un 70%.
- d. La ciudad de Pendleton en Oregón, con el “programa de cambio de estufas de leña para préstamos a bajo interés”, utilizó fondos de una subvención para financiar la compra de nuevas estufas y luego los hogares devolvieron el dinero.
- e. En Methow Valley, Washington, el “programa de recompensas por estufas de leña” ofreció hasta 250 dólares por entregar una estufa vieja de leña. Un total de 69 estufas calificaron en el programa, todas fueron desechadas y recicladas, resultando en una eliminación de 3 ton de MP2,5.
- f. En Yakima, Washington, el “programa anual de cambio de estufas de leña” ha cambiado más de 700 estufas.

5.1.2.2 Standards of Performance for New Residential Wood Heaters, New Residential Hydronic Heaters and Forced-Air Furnaces (EPA, 2020)

Este documento presenta las modificaciones realizadas por la EPA a las Normas de desempeño de fuentes nuevas de 2015, que abarcan calentadores de leña residenciales nuevo, calentadores hidrónicos residenciales y hornos de aire forzado. El documento aplica a fabricantes, propietarios y operadores de estufas de leña, calentadores de pellets e hidrónicos. Se especifica:

1. Plazos: Se mantienen las fechas de cumplimiento establecidas en el NSPS original, es decir, desde el 2020, no se pueden vender dispositivos de calefacción de madera que no cumplan con estándares de emisión estrictos.
2. Pruebas de certificación y cumplimiento: Los fabricantes deben participar en un programa de certificación que evalúa un calentador representativo por línea de modelo. Si este cumple con los límites de emisiones, toda la línea se considera certificada.
3. Etiquetas: Cada calentador debe estar equipado con una etiqueta permanente que contenga la información de identificación de la unidad y su estado de certificación de cumplimiento.
4. Límites emisión: Todas las estufas de leña y estufas a pellets tienen un límite de emisión de 2 g/h, con fecha de cumplimiento de 5 años después de la entrada en vigencia de la regla final en 2015.

5.1.2.3 Woodsmoke Reduction Program (California Air Resources Board, 2023)

Este documento presenta el Programa de reducción de humo de leña, el cual corresponde a un programa estatal que financia la reducción de emisiones. El programa busca promover el reemplazo voluntario de antiguas estufas de leña no certificadas por alternativas de calefacción domésticas más limpias y eficientes, el monto del incentivo variará según la ubicación de la residencia y los ingresos del hogar. Para participar en el programa se debe utilizar actualmente una estufa de leña no certificada o un inserto de leña fabricado antes del 1 de julio de 1988, siendo sustituidos por un dispositivo de calefacción elegible. El programa incluye componentes educativos y de divulgación para garantizar que los hogares se informen sobre todo lo relacionado a la quema de madera.

5.1.2.4 Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climático de vida corta (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

Este documento presenta las acciones definidas para el periodo de implementación de la Estrategia Nacional de Mitigación de Colombia. Las acciones propuestas tienen como objetivo fortalecer la gestión de información técnica para la toma de decisiones.

En cuanto a las medidas de mitigación para la reducción de emisión de leña residencial, se presenta el programa de estufas eficientes de leña denominado “Instalación de estufas

ecoeficientes para vivienda rural”. Este programa busca la implementación de estufas eficientes que utilizan una menor cantidad de combustible para satisfacer la misma demanda de energía. La meta del programa es incorporar 1.000.000 de estufas, móviles o fijas, para el periodo 2021-2030. La implementación de esta medida lograría una reducción de 883 toneladas de carbono negro para 2030 en comparación con el año base 2014, lo que representa una reducción del 19% respecto a lo proyectado.

5.1.2.5 Estudio Prospectivo sobre la cocción rural en el sector residencial de Colombia, México y Perú (Microsol, 2018)

Este documento presenta los resultados obtenidos en Colombia, México y Perú, al evaluar la implementación de tres escenarios de tecnologías:

1. Escenario de apoyo a cocinas a gas licuado de petróleo (GLP).
2. Escenario de apoyo a cocinas mejoradas (CM).
3. Escenario de estrategia mixta, combinando CM y GLP.

Además, se define una población muestra de 100.000 viviendas rurales en cada país para el año de referencia (2018) y se asume que el 100% de la población utiliza fogón abierto de leña para la cocción de sus alimentos durante el período de evaluación (2018-2030). Para realizar el análisis, se presenta para cada país la metodología y la información necesaria, incluyendo el consumo energético por familia, factores de emisión de los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), costos de tecnologías y combustibles, costos de implementación, mantenimiento, etc.

En la Figura 5-5 se presenta un resumen de las variables utilizadas para los cálculos de cada país. En la Figura 5-6 se presentan las emisiones totales por contaminantes en cada país para el escenario considerado.

Variable		Perú	Colombia	México	
Tecnología	Cantidad de cocinas implementadas		7.692	7.692	7.692
Consumo energético	Fogón tradicional con leña (kg/vivienda/año)		4.325	5.219	4.827
	Cocina mejorada con leña (kg/vivienda/año)		2.347	2.958	3.310
	Cocina a GLP (kg/vivienda/año)		132	168	241
Eficiencia energética	Ahorro de leña (%)		45,73	43,33	31,42
Factor de emisión	CN	Fogón tradicional con leña (g/kg)	1,10	1,10	0,39
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	0,74	0,74	0,10
		Cocina a GLP (g/kg)	0,01	0,01	0,01
	CO	Fogón tradicional con leña (g/kg)	89,10	89,10	70,00
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	42,00	42,00	27,00
		Cocina a GLP (g/kg)	14,90	14,90	14,90
	COVNM	Fogón tradicional con leña (g/kg)	26,10	26,10	4,07
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	1,87	1,87	0,38
		Cocina a GLP (g/kg)	18,80	18,80	18,80
Costo de implementación	Cocina mejorada (US\$)		126,00	367,91	161,45
	Cocinas a gas (US\$)		32,99	64,84	84,66
	Balón de gas-compra o garantía (US\$)		16,45	30,59	60,87
Costo de mantenimiento	Cocina mejorada (US\$)		15,99	64,23	22,57
	Cocinas a gas (US\$)		3,30	6,48	8,47
Costo de energéticos	GLP (US\$/kg)		1,19	1,36	1,023
	Leña (US\$/kg)		0,21	0,23	0,17
	Proporción de familias que compran leña		10,40%	11,80%	28,61%

Figura 5-5 Resumen de variables utilizadas en cada país

Fuente: Microsol, 2018

Emisiones totales por escenario de mitigación (t)				
Contaminante	País	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
CN	Perú	5.386	4.832	4.153
	Colombia	6.499	5.872	5.046
	México	2.132	1.752	1.514
CO	Perú	436.583	372.030	321.459
	Colombia	526.856	451.882	389.854
	México	383.123	327.951	283.301
COVNM	Perú	128.208	98.150	85.624
	Colombia	154.739	118.545	103.442
	México	23.015	17.318	15.895

Figura 5-6 Resumen de emisiones totales por escenario y contaminante en cada país

Fuente: Microsol, 2018

5.1.2.6 Inventory of national strategies for reducing the impact on air quality from residential wood combustion (IEA Bioenergy, 2022)

Este documento recopila información a través de un cuestionario detallado, proporcionando las fuentes originales de información con enlaces web. Nueve países participaron en la recopilación de datos: Alemania, Austria, Canadá, Suiza, Dinamarca, Italia, Noruega, Países Bajos y Suecia.

Para cada uno de los países, se proporciona información sobre las estrategias de sustitución de estufas, las restricciones regionales para los hornos, el endurecimiento de los límites de emisión, las inspecciones de estufas o calderas, etiquetas de calidad, enseñanza e información, entre otros. La información recopilada incluye las siguientes medidas y acciones:

1. Reemplazo y fechas de vencimiento de los electrodomésticos.
2. Restricciones y prohibiciones para los combustibles de biomasa.
3. Reforzamiento de los límites generales de emisión para combustión de biomasa.
4. Esquemas de apoyo financiero público.
5. Otras medidas regulatorias indirectas.
6. Inspección de calderas, estufas, combustibles o cenizas.
7. Posibles paradas forzosas de los aparatos.
8. Certificados o etiquetas de combustibles.
9. Certificados o etiquetas de estufas o calderas.

Por último, en la Tabla 5-2 se presenta un resumen de las medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial, según los antecedentes internacionales.

Tabla 5-2 Medidas de reducción de emisiones atmosféricas de antecedentes internacionales

Medida	Descripción	Lugar	Fuente
Programa de reducción de quema de leña	Si la concentración de MP2,5 supera los 31 ug/m ³ se prohíbe la quema, excepto de estufas certificadas por EPA y si supera los 35 ug/m ³ se prohíbe toda quema	Sacramento, CA, EEUU	EPA, 2013
Límites de opacidad	No se permite que la emisión exceda un promedio del 20% de opacidad durante 6 minutos consecutivos en cualquier periodo de una hora	Estado de Washinton, EEUU	EPA, 2013
Límites de opacidad	Regula la presencia de emisiones visibles durante los periodos de quema restringida	Maricopa, AZ, EEUU	EPA, 2013
Contenido de humedad	Se exige que el contenido de humedad no supere el 20%	Sacramento, CA, EEUU	EPA, 2013
Remoción de estufas de leña vieja al revender una casa	Exige que se retiren los aparatos de leña no certificados por la EPA, excepto estufas de pellets, al vender una vivienda	Mammoth Lakes, CA, EEUU	EPA, 2013
Remoción de estufas vieja al vender casa	Retirar los aparatos de leña no certificados por la EPA al vender una vivienda	Washoe, NV, EEUU	EPA, 2013
Remoción de estufas vieja al revender una casa	Requiere la remoción y destrucción de estufas de leña viejas y no certificadas al revender una casa	Estado de Oregón, EEUU	EPA, 2013
Prohibición de estufa no certificada por EPA	Ley de 1991 estipula que solo se pueden revender estufas certificadas por el DEQ y la EPA fabricadas después de 1986	Estado de Oregón, EEUU	EPA, 2013
Prohibición de estufa no certificada por EPA	Ley de 1990 prohíbe la instalación de cualquier estufa no certificada en casas	Estado de Oregón, EEUU	EPA, 2013
Prohibición de estufa no certificada por EPA	Ley de 2006 aprueba la regulación que prohíbe el uso de estufas de leñas que no estén certificadas por la EPA, se debe tener un permiso de funcionamiento	Lincoln County, MT, EEUU	EPA, 2013
Programa de cambio y retiro de estufas de leña y calefactores hidrónicos	Programa el cambio y retiro de estufas de leña, el municipio desarrolló materiales educativos y de divulgación, también proporcionó fondos para reparaciones y modernizaciones	Fairbanks, AK, EEUU	EPA, 2013
Programa de climatización para personas de bajos ingresos	Entre 2008 a 2011 se reemplazan estufas, pagando por ingresar una estufa y posee vales disponibles para comprar/installar un dispositivo	Sacramento, CA, EEUU	EPA, 2013
Reemplazo de estufas a leña	Se reemplazó la mayoría de las estufas de leña con contribuciones financieras, se realiza monitoreo de la calidad del aire antes y después del cambio	Libby, MT, EEUU	EPA, 2013
Programa de cambio de estufas de leña para préstamos a bajo interés	Se utilizan fondos de subvención para invertir en la compra de nuevas estufas y luego los hogares devuelven el dinero	Pendleton, OR, EEUU	EPA, 2013
Programa de recompensas por estufas de leña	Ofreció 250 dólares por entregar una estufa vieja a leña	Methow Valley, WA, EEUU	EPA, 2013
Programa anual de cambio de estufas de leña	Se reemplazan estufas de leña	Yakima, WA, EEUU	EPA, 2013

Medida	Descripción	Lugar	Fuente
Normas de desempeño de fuentes nuevas para calentadores de leña residencial	Plazos: Desde 2020 solo se venden dispositivos de calefacción que cumplen con estándares de emisión. Pruebas de certificación: Los fabricantes deben participar en programa de certificación. Etiquetas: Cada calentador debe estar etiquetado con la información de identificación y su certificación. Límites de emisión: Toda estufa tiene un límite de 2 g/h.	EEUU	EPA, 2020
Programa de reducción de humo de leña	Programa estatal financia promueve el reemplazo voluntario de antiguas estufas de leña no certificadas por alternativas limpias con dinero. Para participar en programa se debe utilizar una estufa de leña no certificada antes del 1 de julio de 1988	Estado de CA, EEUU	California Air Resources Board, 2023
Instalación de estufas ecoeficientes para vivienda rural	Busca implementar estufas eficientes que utilizan una menor cantidad de combustible, la meta del programa es incorporar 1.000.000 de estufas, móviles o fijas, para el periodo 2021-2030	Colombia	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021
Escenario de apoyo a cocinas a gas licuado de petróleo (GLP)	Se define una muestra de 100.000 viviendas, se asume que 100% usa fogón abierto de leña, considera que el 80% de las cocinas instaladas se adoptan por población y que en cada vivienda el 30% de las necesidades energéticas la cubre el GLP	Colombia, México y Perú	Microsol, 2018
Escenario de apoyo a cocinas mejoradas (CM)	Se define una muestra de 100.000 viviendas, se asume que 100% usa fogón abierto de leña, considera que el 80% de las cocinas instaladas se adoptan por población y que en cada vivienda el 80% de las necesidades energéticas la cubre CM	Colombia, México y Perú	Microsol, 2018
Escenario de estrategia mixta, combinando CM y GLP	Se definen 100.000 viviendas y se asume que 100% usa fogón abierto de leña, considera que el 80% de las cocinas instaladas se adoptan por población. Para el 50% de usuarios, las necesidades energéticas las cubre el 80% el CM y 20% por GLP. Para el otro 50%, las necesidades las cubre un 50% el CM y 50% el GLP	Colombia, México y Perú	Microsol, 2018
Reemplazo y fechas de vencimiento de los electrodomésticos	Austria, Canadá: Fijan fechas de caducidad y programa de financiación para reemplazo. Suiza: Solo reemplazo. Alemania: Sustituye si exceden límites de 0.15 g/m ³ MP y 4 g/m ³ de CO. Dinamarca: Se reemplaza los fabricados antes del 2003 al comprar vivienda. Italia: Reemplazo y fechas según el número de "estrellas" asignados.	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Dinamarca, Italia	IEA Bioenergy, 2022
Restricciones/prohibiciones para los combustibles de biomasa	Austria: En provincia de Styria y Graz prohíbe uso de estufas a leña como calefacción 2° si MP10 > 75 ug/m ³ durante 3 días consecutivos. Canadá: Metro Vancouver restringe calefacción a leña en meses cálidos y el uso de equipos no registrados, la ciudad de Montréal prohíbe uso madera con advertencia de smog y si no está certificada.	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Dinamarca, Noruega, Suecia	IEA Bioenergy, 2022

Medida	Descripción	Lugar	Fuente
	<p>Suiza: Prohíbe uso de madera si PM es alto y debe tener una humedad máxima de 20% de troncos.</p> <p>Italia: Se prohíbe uso leña en Milán y hay prohibiciones temporales en cuenca del Po al pasar los 50 ug/m³ de MP.</p> <p>Dinamarca, Suecia: Municipio puede prohibir temporalmente quemas de leña.</p>		
Reforzamiento de los límites generales de emisión para combustión de biomasa	Se aplican nuevos límites de emisión más estrictos	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Dinamarca, Italia, Países Bajos, Noruega, Suecia	IEA Bioenergy, 2022
Esquema de apoyo financiero público	<p>Austria: Inversión para estufa a pellets.</p> <p>Canadá: Tiene reembolsos por comprar mejores equipos a leña y hay financiación a bajo interés para ayudar a instalar equipos a leña.</p> <p>Alemania, Italia: Subsidios para reemplazo de estufas de leña antiguas.</p> <p>Noruega: Hubo un programa de financiamiento para reemplazar estufas anteriores a 1998.</p>	Austria, Canadá, Alemania, Italia, Noruega	IEA Bioenergy, 2022
Otras medidas regulatorias indirectas	<p>Austria: Quita requisito de tener chimenea en edificios e implementa impuesto al carbono.</p> <p>Canadá: Requisitos mínimos de eficiencia energética para construcción y posee un enfoque escalonado de recomendaciones para emisiones.</p> <p>Suiza: Altura de chimenea regulada, impuestos por CO₂ y límites emisión estrictos según densidad población.</p> <p>Alemania: No chimeneas en edificios nuevos y hay certificado de eficiencia energética obligatorio.</p> <p>Italia: No considerar la leña como fuente renovable para cumplir requisito del 50% del consumo con energía renovable y tiene 10% IVA la leña.</p> <p>Noruega: No obligatorio chimenea y restricciones por MP2,5 en invierno.</p>	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Italia, Noruega	IEA Bioenergy, 2022
Inspección de calderas, estufas, combustibles o cenizas	<p>Austria, Dinamarca: Obligatorias 1 vez al año por deshoilladores.</p> <p>Canadá: Inspecciones no obligatorias, sino que son motivadas por propósitos.</p> <p>Suiza: Cada 2 años por deshoilladores.</p> <p>Alemania: 2 veces en 7 años por deshoillador autorizado. Noruega: Irregular.</p> <p>Suecia: Cada 3 años por deshoillador.</p>	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Dinamarca, Alemania, Noruega, Suecia	IEA Bioenergy, 2022
Posible parada forzosa de los aparatos	<p>Austria, Canadá, Dinamarca, Italia, Noruega: Si aparato no cumple requisitos seguridad e impacta calidad del aire.</p> <p>Suiza: Si los límites no se cumplen.</p>	Austria, Canadá, Suiza, Alemania,	IEA Bioenergy, 2022

Medida	Descripción	Lugar	Fuente
	Alemania: Si aparato viejo no ha sido reemplazado.	Dinamarca, Alemania, Italia, Noruega, Suecia	
Certificados o etiquetas de combustibles, de estufas o calderas	Indican etiquetas que indican la certificación de la leña e indica etiqueta a calefacción y estufas certificadas	Austria, Canadá, Suiza, Alemania, Dinamarca, Italia, Suecia	IEA Bioenergy, 2022

Fuente: Elaboración propia

5.2 Propuesta de medidas nuevas y/o mantención o modificación de las actuales, la cual debe contar con descripción, justificación y distintos escenarios normativos para la posterior evaluación de cada una de ellas

En la presente sección se propone un listado de medidas nuevas y/o mantención o modificación de las actualizadas para considerarse en la actualización PPDA, con su respectiva descripción, justificación y distintos escenarios normativos.

5.2.1 Propuesta respecto a medidas del PPDA vigente

La Tabla 5-3 presenta un resumen de las medidas vigentes incluidas en el PPDA relacionadas al sector residencial, junto con las propuestas de modificación y/o mantención que se elaboraron en base al estudio del cumplimiento de cada una de ellas.

Tabla 5-3 Propuestas respecto a medidas del PPDA vigente

ID	Medida completa	Artículo PPDA	Propuesta	Detalle propuesta
M1	Definición Zona A y Zona B	73	Modificar	Se propone la redefinición de las Zonas A y B con el fin de reducir de manera óptima las emisiones de material particulado. En este punto, debido a que la Zona A abarca las comunas más urbanizadas (todas las comunas de la provincia de Santiago junto a Puente Alto y San Bernardo) se integran a esta las siguientes comunas: Peñaflor, Padre Hurtado, Buin, El Monte, Lampa, Colina y Talagante.
M2	Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A	74	Mantener	Se debe mejorar la fiscalización.
M3	Prohibición uso de calefactores nuevos que no cumplan límite de emisión en la Zona B	75	Mantener	Se debe mejorar la fiscalización.

ID	Medida completa	Artículo PPDA	Propuesta	Detalle propuesta
M4	Fortalecimiento seguimiento calidad del aire Zona B	76	Mantener	Fortalecer la difusión y educación a la población con respecto a los impactos nocivos en la salud de la contaminación.
M5	Prohibición uso en RM de salamandras, braseros, chimeneas de hogar abierto, calefactores hechizos u otros artefactos similares, que utilicen o puedan utilizar leña, carbón vegetal y otros derivados de la madera, para cualquier fin	77	Mantener	Mejorar fiscalización, abarcando no solo el uso, sino también la posesión del aparato.
M6	Prohibición de quema de residuos en calefactores	79	Mantener	Si bien no posee una evaluación cualitativa favorable ni reporta avances, se propone mantener la medida con el propósito de no retroceder en la prohibición.
M7	Ordenanzas municipales uso de calefactores a leña, pellet de madera y otros derivados de la madera	80	Mantener	-
M8	Catastro parrillas, hornos a barro y carros ambulantes que utilicen leña o sus derivados	81	Retirar	Se propone retirar la medida dado que ya se implementó completamente.
M9	Aprobación programa de compensación de emisiones no incluido en un programa de reducción de emisiones	82	Modificar	Incluir el tipo de compensación y su estado, en el registro de los planes de compensación
M10	Comercialización de calefactores nuevos a leña o pellet de madera, certificados y que cumplan límite emisión MP	83	Modificar	Redundante, se debe confirmar si la norma ya lo regula.
M11	Rediseño placa calefactores a leña y pellet de madera	84	Mantener	Mantener los registros de calefactores certificados por la SEC.
M12	Listado de calefactores a leña y pellet de madera que cumplan norma de emisión establecida en Artículo 83	85	Mantener	Incentivar el uso de calefactores certificados, difundiendo sus beneficios: mayor eficiencia, menores emisiones intradomiciliarias, menores efectos nocivos en la salud.
M13	Comercialización de leña seca debe cumplir Norma NCh2907. Fiscalización de la comercialización mediante metodología de la Norma NCh2965.	86	Retirar	La comercialización de leña será regulada por la Ley de Biocombustibles sólidos.
M14	Comerciantes de leña deben contar con un xilohigrómetro que permita verificar el cumplimiento del Artículo 86	87	Modificar	Establecer un registro público que detalle la cantidad de fiscalizaciones realizadas sobre humedad de leña seca.
M15	Estándares técnicos para acondicionamiento térmico en viviendas existentes	88	Mantener	-
M16	Subsidios especiales para acondicionamiento térmico en comunas de Zona B	89	Modificar	Definir cantidad de subsidios a entregar anualmente.
M17	Estudio para el diseño de viviendas de baja demanda térmica en la RM	90	Retirar	Se propone retirar la medida dado que ya se implementó completamente.
M18	Estudio proyectos de vivienda y calefacción sustentable en la RM	91	Mantener	Se propone mantener por la importancia de apoyar proyectos innovadores en materia de calefacción sustentable.

ID	Medida completa	Artículo PPDA	Propuesta	Detalle propuesta
M19	Fomento de proyectos/estudios de generación energía sustentable para calefacción	92	Mantener	Se propone mantener por la importancia de apoyar proyectos innovadores en materia de calefacción sustentable.
M20	Informe sistema de certificación y/o etiquetado de emisiones y eficiencia energética	93	Mantener	-
M21	Mecanismos de incentivos de uso de energéticos y tecnológicos	94	Modificar	Establecer los mecanismos de incentivos.
M22	Medida Permanente Período GEC: Control de humos visibles	120.e	Mantener	-
M23	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña y otros derivados madera - Alerta ambiental	121.b	Mantener	Mejorar fiscalización.
M24	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Preemergencia ambiental	122.c	Mantener	Mejorar fiscalización.
M25	Prohibición de funcionamiento de artefactos de calefacción residencial a leña, pellet y otros derivados madera - Emergencia ambiental	123.c	Mantener	Mejorar fiscalización.

Con respecto a la M1 (ver Tabla 5-3), en primera instancia se realizó una división territorial para la aplicación de las medidas contenidas en el PPDA, así la Zona A incluye las comunas más urbanizadas y la Zona B aquellas clasificadas como “rurales”. Sin embargo, a la fecha existen comunas que han experimentado un crecimiento urbano considerable, lo que tiene un impacto en las emisiones locales. A partir de esta evolución, se propone reevaluar la división territorial de la región para mejorar la aplicación del Plan.

Se utilizaron los datos de la proyección de la población por comuna y área (urbana/rural) del INE²⁷, para estimar la población perteneciente a las áreas urbanas y rurales por comuna para el año 2024. La Figura 5-7 muestra el porcentaje de la población que pertenece áreas urbanas y rurales por comuna de la RM, destacando aquellas con un *porcentaje de urbanización*²⁸ considerablemente mayor al rural. En función de estos resultados, se decide integrar a la Zona A todas aquellas comunas que presentan un porcentaje de urbanización **mayor o igual** al 80%: Peñaflor (91,9%), Padre Hurtado (88,5%), Buin (86,4%), El Monte (83,9%), Lampa (81,2%), Colina (80,8%) y Talagante (80%).

²⁷ Disponibles en: <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>

²⁸ Porcentaje de urbanización: Proporción de la población que pertenece al área urbana respecto al total de la población por comuna expresada en porcentaje, considerando los datos proyectados para el año 2024.

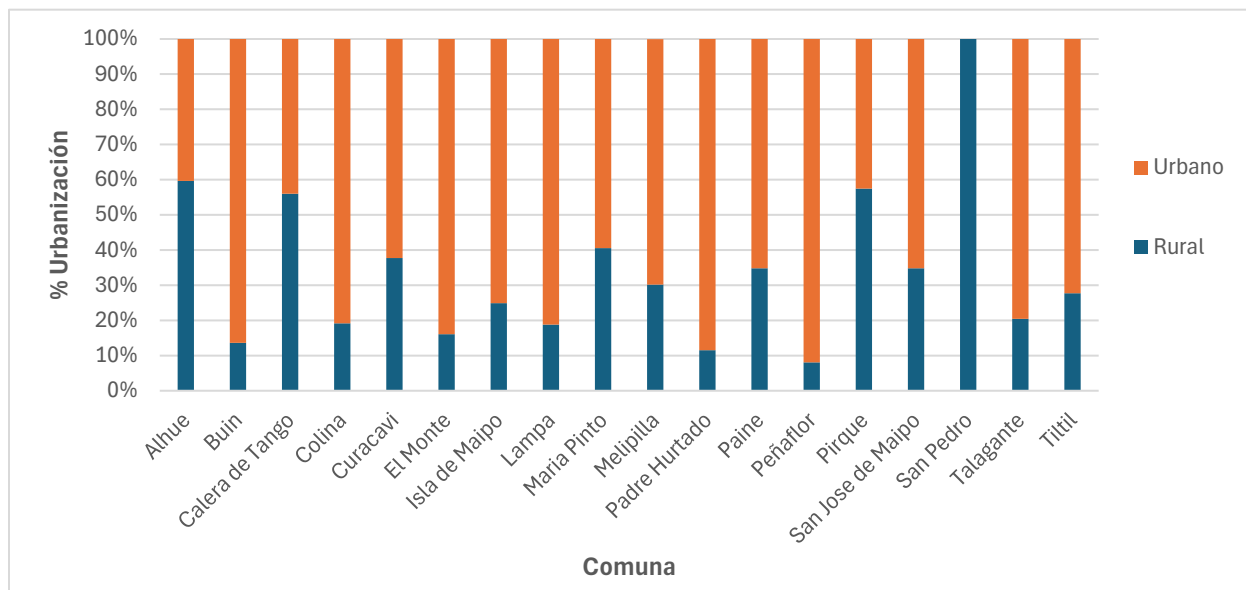


Figura 5-7 Porcentaje de urbanización comunas Zona B – RM

Fuente: Elaboración propia en base a proyección de población de INE

5.2.2 Propuesta de medidas nuevas

La Tabla 5-4 presenta un resumen de las propuestas de medidas nuevas a evaluar para ser incluidas en la actualización del PPDA relacionadas al sector residencial, junto con la descripción y su justificación para ser aplicadas respectivamente.

Cabe destacar que las medidas P2, C1 y C2, programas educativos y de difusión de información, actúan como un **medio habilitante** para poder llevar a cabo las otras medidas de manera eficiente.

Tabla 5-4 Propuesta de nuevas medidas para el PPDA

N°	Propuesta	Detalle propuesta	Justificación
E1	Incorporación de Energía Distrital para nuevos proyectos inmobiliarios en la Región Metropolitana	Incorporación de un sistema de calefacción distrital en 5 comunas de la Zona B, pertenecientes a la Región Metropolitana, para nuevos complejos habitacionales que abarquen un total de 100 viviendas, mediante una red centralizada y eficiente que luego es distribuida a todos los usuarios mediante un sistema de cañerías subterráneas.	Reducción de emisiones generadas por los sistemas de calefacción individuales, particularmente aquellos que incorporan leña en su funcionamiento. Uso eficiente de energías renovables con un control más estricto sobre las emisiones.
P1	Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos (GEC)	Prohibición del uso de parrillas que funcionen con carbón o derivados de la madera en las viviendas durante todo el periodo de GEC. En estos espacios, solo se permitiría el uso de parrillas a gas o eléctricas, ya que son más limpias y emiten menos contaminantes.	Evitar el aumento de emisiones durante episodios críticos contribuyendo a mejorar la salud pública.
P2	Programas de educación y concientización	Lanzar campañas educativas para concienciar a la población sobre el impacto ambiental y en la salud de usar parrillas a carbón. Fomentar el uso de parrillas a gas, eléctricas o métodos alternativos que generen menos emisiones, dando énfasis a los periodos previos a partidos de fútbol.	Educar a la población con el fin disminuir el uso de parrillas a carbón logrando mitigar el impacto ambiental y los riesgos de salud en momentos de alta actividad social y recreativa.
C1	Difusión de información científica sobre efectos del MP en la salud	Generar instancias de difusión de la información científica sobre los efectos en la salud del MP, con un enfoque en las emisiones intradomiciliarias.	Concienciar a la población sobre el impacto de las emisiones dentro del hogar, de forma que tomen mejores decisiones para su salud en cuanto a la adopción de artefactos de calefacción.
C2	Difusión de comercializadores certificados	Identificar y difundir a los comercializadores que cuentan con proceso productivo que asegura el cumplimiento de un estándar de calidad de leña que se rige por la norma NCh2907.	Regulación del mercado de los biocombustibles y la disminución del uso y comercialización de leña no certificada, la cual genera más emisiones de material particulado.

5.3 Costos incrementales de inversión, operación y mantención de cada medida según los escenarios propuestos

En esta sección se presenta la estimación de los costos de inversión, operación y mantención asociados a la implementación de cada medida o un conjunto de medidas propuestas (ver Sección 5.2), con un horizonte de 15 años. Para estimar el costo total, se calcula el valor presente neto (VPN) de los costos anuales al 2022, con una tasa de descuento del 6%.

A continuación, se desarrolla con mayor detalle el cálculo de los costos de cada medida.

5.3.1 P1: Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos

Para estimar los costos de la prohibición de uso de parrillas a carbón se realizaron los siguientes supuestos:

- En base a los últimos datos entregados por la encuesta CASEN 2022, en la Región Metropolitana se declararon un total de 1.264.330 parrillas a carbón. Dicho lo anterior, se asume que para el primer año de implementación de la medida (2026), 50.000 hogares optan por realizar un recambio de parrillas, cantidad que irá aumentando paulatinamente (cada cuatro años) hasta lograr realizar un recambio de aproximadamente un 63% del total de parrillas a carbón en 2022.
- El valor aproximado de una parrilla a gas certificada por la SEC es de \$100.000.
- Se asume que la vida útil de una parrilla a gas certificada es de 8 años en promedio.

Por otro lado, la SMA anualmente fija un programa y subprogramas de fiscalización ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación Ambiental. Estas fiscalizaciones se realizan conforme a la asignación presupuestaria disponible y estarán centradas en las medidas regulatorias bajo la supervisión de la Superintendencia, sujetas a inspección y posibles sanciones según corresponda.

Para el año 2024, en la Resolución Exenta N°2153 de la SMA se establece en el Artículo 9 el “Subprograma de fiscalización ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación de la Subsecretaría de Salud Pública” en donde se asignan un total de 380 fiscalizaciones a lo largo de todo Chile a ejecutar por la Subsecretaría de Salud Pública, por medio de la Secretaría Regional Ministerial de Salud respectiva, con un presupuesto de \$135.800.000, de las cuales 220 son para la RM como se muestra en la Tabla 5-5. De esta forma, el costo unitario por fiscalización realizada por la Seremi de Salud correspondería a \$357.368.

Tabla 5-5 Asignación presupuestaria en marco de Subprograma de fiscalización ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación de la Subsecretaría de Salud Pública

Región/ Decreto Supremo	Cantidad de fiscalizaciones ambientales	Presupuesto
Artículo Noveno	380	\$135.800.000
N° 31 de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente. Establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la región Metropolitana de Santiago.	220	\$78.621.053
Costo unitario estimado	1	\$357.368

Fuente: Elaboración propia en base a SMA (2024)

Para estimar el costo total del recambio de parrillas, la Tabla 5-6 y Tabla 5-7 muestran los parámetros generales y para las parrillas residenciales utilizados en los cálculos.

Tabla 5-6 Parámetros generales

Uso de la parrilla	25 ²⁹	[hrs/año]
Precio gas [11 kg]	\$17.300	CLP
Precio saco carbón [2,5 kg]	\$3.000	CLP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-7 Parámetros parrillas residenciales

	Gas	Carbón	Gas-Carbón	Unidad
Costo parrilla	\$ 100.000	\$ 50.000		CLP
Costo balón de gas [11kg]	\$ 56.990	\$ -		CLP
Costo Total	\$ 156.990	\$ 50.000	\$ 106.990	CLP
Consumo combustible	0,44 ³⁰	1		[kg/h]
Precio kg	\$ 1.573	\$ 1200		CLP
Vida útil (VU)	8	8		año

Fuente: Elaboración propia

Además, se espera que los primeros 5 años al menos 50.000 hogares realicen un recambio de parrillas a carbón por parrillas a gas certificadas y que este número aumente paulatinamente. Considerando lo anterior, junto con los parámetros mencionados en la Tabla 5-6 y Tabla 5-7, se puede visualizar en la Tabla 5-8 la proyección de los costos de inversión total hasta el término del periodo de evaluación (2037).

Tabla 5-8 Costos de inversión medida P1

Año	N° parrillas recambiadas	Acumuladas	Retiro por VU	Inversión Total Gas (M CLP)	Inversión Total Carbón (M CLP)	Inversión (M CLP)
2026	50.000	50.000		\$ 7.849.500	\$ 2.500.000	\$ 5.349.500
2027	50.000	100.000		\$ 7.849.500	\$ 2.500.000	\$ 5.349.500
2028	50.000	150.000		\$ 7.849.500	\$ 2.500.000	\$ 5.349.500
2029	50.000	200.000		\$ 7.849.500	\$ 2.500.000	\$ 5.349.500
2030	50.000	250.000		\$ 7.849.500	\$ 2.500.000	\$ 5.349.500
2031	70.000	320.000		\$ 10.989.300	\$ 3.500.000	\$ 7.489.300
2032	70.000	390.000		\$ 10.989.300	\$ 3.500.000	\$ 7.489.300
2033	70.000	460.000		\$ 10.989.300	\$ 3.500.000	\$ 7.489.300
2034	70.000	530.000	50.000	\$ 15.989.300	\$ 6.000.000	\$ 9.989.300
2035	70.000	600.000	50.000	\$ 15.989.300	\$ 6.000.000	\$ 9.989.300
2036	100.000	700.000	50.000	\$ 20.699.000	\$ 7.500.000	\$ 13.199.000
2037	100.000	800.000	50.000	\$ 20.699.000	\$ 7.500.000	\$ 13.199.000

Fuente: Elaboración propia

²⁹ "Caracterización y Catastro de Parrillas, Hornos de Barro y Carros Ambulantes para Uso Comercial que Utilicen Leña y sus Derivados en la RMS" (2022)

³⁰ Gasco Educa <http://www.gascoeduca.cl/Contenido/Index.aspx>

Por otro lado, se propone realizar un aumento, con respecto al presupuesto inicial para las fiscalizaciones ambientales asignadas en el programa de fiscalización ambiental por la SMA, del 25% los primeros tres años y de un 10% los años posteriores, los cálculos se muestran en la Tabla 5-9, en donde se presenta el presupuesto inicial del programa, el presupuesto con la propuesta y la diferencia entre ambos, este último valor es el que se utiliza en el cálculo como el costo adicional de fiscalizaciones.

Tabla 5-9 Aumento en el número de fiscalizaciones ambientales realizadas

	N° Fiscalizaciones	Presupuesto	Diferencia
Subprograma inicial Seremi Salud	220	\$78.621.053	-
Propuesta 10%	275	\$98.276.316	\$14.591.811
Propuesta 25%	242	\$86.483.158	\$36.479.527

Fuente: Elaboración propia

Para los costos operacionales se considera el valor de combustible tanto para el gas (GLP) como para el carbón, en la Tabla 5-10 se muestra el cálculo total.

Tabla 5-10 Costos operacionales medida P1

Año	N° parrillas recambiadas	Acumuladas	Retiro por VU	Costo Operación Gas (M CLP)	Costo Operación Carbón (M CLP)	Costo Operación (M CLP)
2026	50.000	50.000		\$ 865.000	\$ 1.500.000	\$ -635.000
2027	50.000	100.000		\$ 1.730.000	\$ 3.000.000	\$ -1.270.000
2028	50.000	150.000		\$ 2.595.000	\$ 4.500.000	\$ -1.905.000
2029	50.000	200.000		\$ 3.460.000	\$ 6.000.000	\$ -2.540.000
2030	50.000	250.000		\$ 4.325.000	\$ 7.500.000	\$ -3.175.000
2031	70.000	320.000		\$ 5.536.000	\$ 9.600.000	\$ -4.064.000
2032	70.000	390.000		\$ 6.747.000	\$ 11.700.000	\$ -4.953.000
2033	70.000	460.000		\$ 7.958.000	\$ 13.800.000	\$ -5.842.000
2034	70.000	530.000	50.000	\$ 9.169.000	\$ 15.900.000	\$ -6.731.000
2035	70.000	600.000	50.000	\$ 10.380.000	\$ 18.000.000	\$ -7.620.000
2036	100.000	700.000	50.000	\$ 12.110.000	\$ 21.000.000	\$ -8.890.000
2037	100.000	800.000	50.000	\$ 13.840.000	\$ 24.000.000	\$ -10.160.000

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, el cálculo del costo total anual para la medida P1 corresponde a la suma de los costos de inversión, costos operacionales y el costo del aumento en las fiscalizaciones realizadas. La Tabla 5-11 muestra la proyección para un horizonte de 15 años a partir del año base (2022).

Tabla 5-11 Costos totales de implementación para la medida P1 a partir del año base (2022)

Año	N° parrillas recambiadas	Acumuladas	Retiro por VU	Inversión (M CLP)	Costo Operación (M CLP)	Fiscalización (M CLP)	Costo Total medida P1 (M CLP)
2022	0	0	0	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2023	0	0	0	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2024	0	0	0	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2025	0	0	0	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2026	50.000	50.000	0	\$ 5.349.500	\$ -635.000	\$19.655	\$4.734.155
2027	50.000	100.000	0	\$ 5.349.500	\$ -1.270.000	\$19.655	\$4.099.155
2028	50.000	150.000	0	\$ 5.349.500	\$ -1.905.000	\$19.655	\$3.464.155
2029	50.000	200.000	0	\$ 5.349.500	\$ -2.540.000	\$7.862	\$2.817.362
2030	50.000	250.000	0	\$ 5.349.500	\$ -3.175.000	\$7.862	\$2.182.362
2031	70.000	320.000	0	\$ 7.489.300	\$ -4.064.000	\$7.862	\$3.433.162
2032	70.000	390.000	0	\$ 7.489.300	\$ -4.953.000	\$7.862	\$2.544.162
2033	70.000	460.000	0	\$ 7.489.300	\$ -5.842.000	\$7.862	\$1.655.162
2034	70.000	530.000	50.000	\$ 9.989.300	\$ -6.731.000	\$7.862	\$3.266.162
2035	70.000	600.000	50.000	\$ 9.989.300	\$ -7.620.000	\$7.862	\$2.377.162
2036	100.000	700.000	50.000	\$ 13.199.000	\$ -8.890.000	\$7.862	\$4.316.862
2037	100.000	800.000	50.000	\$ 13.199.000	\$ -10.160.000	\$7.862	\$3.046.862

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el Valor Presente Neto (VPN) es de **\$21.453.869 M CLP**.

5.3.2 M1: Definición de la Zona A y B.

Para estimar los costos de realizar la redefinición de la Zona A y B, se realizaron los siguientes supuestos:

- Se asume que el valor del artefacto eléctrico de recambio (Aire Acondicionado *Inverter*) es de \$450.000³¹
- Se asume que el valor de la instalación del artefacto es de \$150.000
- Se asume que el valor de una bolsa de carbón de 2,5 kg es de \$3.000

Además, de la misma forma que en la Sección 5.3.1, al integrar siete nuevas comunas a la Zona A, es necesario aumentar el número de fiscalizaciones propuestos en un principio en el Subprograma de fiscalización ambiental de Planes de Prevención y/o Descontaminación de la Subsecretaría de Salud Pública, tal como se muestra en la Tabla 5-5.

En este caso, se propone realizar un aumento inicial del 20% los primeros tres años y luego con un 10% los años siguientes, con respecto al presupuesto inicial en el número de fiscalizaciones

³¹ <https://www.electrolux.cl/aire-acondicionado-efficient-inverter-18000-btu---electrolux>

ambientales a ejecutar por la Seremi de Salud asignadas en el subprograma de fiscalización ambiental, los cálculos se muestran en la Tabla 5-12

Tabla 5-12 Aumento en el número de fiscalizaciones ambientales realizadas

	Cantidad Fiscalizaciones	Presupuesto	Diferencia
Programa inicial SMA	220	\$78.621.053	-
Propuesta 10%	264	\$94.345.263	\$15.724.211
Propuesta 20%	242	\$86.483.158	\$7.862.105

Fuente: Elaboración propia en base a SMA (2024)

Para estimar el costo total de la redefinición de la Zona A y B, la Tabla 5-13 muestra la proyección realizada de la cantidad de artefactos que serán recambiados a partir del año 2026 hasta el 2037 en las siete comunas de interés.

Tabla 5-13 Cantidad de recambio de artefactos durante el periodo de 2026-2037

Año	Cantidad Doble Cámara	Cantidad Cámara Simple	Total
2026	1.668	99	1.767
2027	3.327	198	3.525
2028	4.976	297	5.273
2029	6.613	394	7.007
2030	8.241	490	8.731
2031	9.860	587	10.447
2032	11.467	682	12.149
2033	13.064	775	13.839
2034	14.649	870	15.519
2035	16.224	962	17.186
2036	17.830	1.058	18.888
2037	19.437	1.153	20.590

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Tabla 5-14, Tabla 5-15 y Tabla 5-16 muestran los parámetros utilizados en el cálculo total de la medida.

Tabla 5-14 Parámetros generales

	Valor	Unidad
Poder calorífico leña	4,07	[kWh/kg]
Precio leña [1 kg]	\$ 360	CLP

	Valor	Unidad
Precio electricidad [kWh]	\$ 192 ³²	CLP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-15 Parámetros artefactos a leña

	Doble Cámara	Cámara Simple	Unidad
Costo artefacto	\$ 450.000	\$ 200.000	CLP
Consumo combustible	590	187	[kWh/año]
Precio año	\$ 212.011	\$ 67.365	CLP
Vida útil	20	20	año

Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada para estimar el consumo de combustible del aire acondicionado para poder establecer una relación entre este y el recambio con los artefactos a leña en estudio, se realizó estimando el calor generado por los artefactos a leña y se buscó el consumo necesario para realizar el mismo trabajo con el aire acondicionado.

Tabla 5-16 Parámetros Aire Acondicionado

	AC vs Doble Cámara	AC vs Cámara Simple	Unidad
Costo artefacto	\$ 450.000	\$ 450.000	CLP
Costo instalación	\$ 150.000	\$ 150.000	CLP
Costo Total	\$ 600.000	\$ 600.000	CLP
Consumo combustible	479,5	152,4	[kWh/año]
Precio	\$ 192	\$ 192	CLP
Costo electricidad	\$ 92.068	\$ 29.254	CLP
Vida útil	15	15	año

Fuente: Elaboración propia

En base a los parámetros anteriores, la Tabla 5-17 muestra la proyección de los costos de inversión total hasta el término del periodo de evaluación (2037).

Tabla 5-17 Costos de inversión medida M1

Año	Aire Acondicionado (AC)	Doble Cámara	Cámara Simple	Inv. Total (AC) (M CLP)	Inv. Total Doble Cámara (M CLP)	Inv. Total Cámara Simple	Inversión (M CLP)
2026	1.767	1.668	99	\$ 1.060.200	\$ 750.600	\$ 19.800	\$ 289.800

³² <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/consumo-artefactos-electricos.html>

Año	Aire Acondicionado (AC)	Doble Cámara	Cámara Simple	Inv. Total (AC) (M CLP)	Inv. Total Doble Cámara (M CLP)	Inv. Total Cámara Simple	<u>Inversión</u> (M CLP)
2027	3.525	3.327	198	\$ 2.115.000	\$ 1.497.150	\$ 39.600	\$ 578.250
2028	5.273	4.976	297	\$ 3.163.800	\$ 2.239.200	\$ 59.400	\$ 865.200
2029	7.007	6.613	394	\$ 4.204.200	\$ 2.975.850	\$ 78.800	\$ 1.149.550
2030	8.731	8.241	490	\$ 5.238.600	\$ 3.708.450	\$ 98.000	\$ 1.432.150
2031	10.447	9.860	587	\$ 6.268.200	\$ 4.437.000	\$ 117.400	\$ 1.713.800
2032	12.149	11.467	682	\$ 7.289.400	\$ 5.160.150	\$ 136.400	\$ 1.992.850
2033	13.839	13.064	775	\$ 8.303.400	\$ 5.878.800	\$ 155.000	\$ 2.269.600
2034	15.519	14.649	870	\$ 9.311.400	\$ 6.592.050	\$ 174.000	\$ 2.545.350
2035	17.186	16.224	962	\$ 10.311.600	\$ 7.300.800	\$ 192.400	\$ 2.818.400
2036	18.888	17.830	1.058	\$ 11.332.800	\$ 8.023.500	\$ 211.600	\$ 3.097.700
2037	20.590	19.437	1.153	\$ 12.354.000	\$ 8.746.650	\$ 230.600	\$ 3.376.750

Fuente: Elaboración propia

Para los costos operacionales se considera el valor de combustible tanto de la electricidad como de la leña. Para el caso de la leña se utiliza un valor promedio actualizado por Enel en octubre del 2024, mientras que el valor de la leña utilizado corresponde al valor de venta formal en la Región Metropolitana. La Tabla 5-18 muestra los costos de operación.

Tabla 5-18 Costos operacionales medida M1

Año	Acumuladas Aire Acondicionado	Acumuladas Doble Cámara	Acumuladas Cámara Simple	C. Operacional AC-DC (M CLP)	C. Operacional AC-CS (M CLP)	<u>Costo Operación</u> (M CLP)
2026	1.767	1.668	99	\$ -200.065	\$ -3.773	\$ -203.838
2027	5.292	4.995	297	\$ -599.114	\$ -11.319	\$ -610.433
2028	10.565	9.971	594	\$ -1.195.950	\$ -22.638	\$ -1.218.588
2029	17.572	16.584	988	\$ -1.989.132	\$ -37.654	\$ -2.026.786
2030	26.303	24.825	1.478	\$ -2.977.581	\$ -56.328	\$ -3.033.909
2031	36.750	34.685	2.065	\$ -4.160.217	\$ -78.699	\$ -4.238.917
2032	48.899	46.152	2.747	\$ -5.535.602	\$ -104.691	\$ -5.640.293
2033	62.738	59.216	3.522	\$ -7.102.535	\$ -134.227	\$ -7.236.762
2034	78.257	73.865	4.392	\$ -8.859.578	\$ -167.384	\$ -9.026.961
2035	95.443	90.089	5.354	\$ -10.805.530	\$ -204.047	\$ -11.009.577
2036	114.331	107.919	6.412	\$ -12.944.111	\$ -244.368	\$ -13.188.479
2037	134.921	127.356	7.565	\$ -15.275.440	\$ -288.310	\$ -15.563.750

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, el cálculo del costo total anual para la medida M1 corresponde a la suma de los costos de inversión, costos operacionales y el costo del aumento en las fiscalizaciones realizadas por la SMA. La Tabla 5-19 muestra la proyección para un horizonte de 15 años a partir del año base (2022).

Tabla 5-19 Costos totales de implementación para la medida P1 a partir del año base (2022)

Año	Inv. Total Aire Acondicionado (M CLP)	Inversión Total Doble Cámara (M CLP)	Inversión Total Cámara Simple (M CLP)	Inversión (M CLP)	Costo Operación (M CLP)	Fiscalización (M CLP)	Costo Total medida M1 (M CLP)
2022	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2023	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2024	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2025	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$-	\$-
2026	\$ 1.060.200	\$ 750.600	\$ 19.800	\$ 289.800	\$ -203.838	\$15.724	\$101.687
2027	\$ 2.115.000	\$ 1.497.150	\$ 39.600	\$ 578.250	\$ -610.433	\$15.724	\$-16.459
2028	\$ 3.163.800	\$ 2.239.200	\$ 59.400	\$ 865.200	\$ -1.218.588	\$15.724	\$-337.664
2029	\$ 4.204.200	\$ 2.975.850	\$ 78.800	\$ 1.149.550	\$ -2.026.786	\$7.862	\$-869.374
2030	\$ 5.238.600	\$ 3.708.450	\$ 98.000	\$ 1.432.150	\$ -3.033.909	\$7.862	\$-1.593.897
2031	\$ 6.268.200	\$ 4.437.000	\$ 117.400	\$ 1.713.800	\$ -4.238.917	\$7.862	\$-2.517.255
2032	\$ 7.289.400	\$ 5.160.150	\$ 136.400	\$ 1.992.850	\$ -5.640.293	\$7.862	\$-3.639.581
2033	\$ 8.303.400	\$ 5.878.800	\$ 155.000	\$ 2.269.600	\$ -7.236.762	\$7.862	\$-4.959.300
2034	\$ 9.311.400	\$ 6.592.050	\$ 174.000	\$ 2.545.350	\$ -9.026.961	\$7.862	\$-6.473.749
2035	\$ 10.311.600	\$ 7.300.800	\$ 192.400	\$ 2.818.400	\$ -11.009.577	\$7.862	\$-8.183.315
2036	\$ 11.332.800	\$ 8.023.500	\$ 211.600	\$ 3.097.700	\$ -13.188.479	\$7.862	\$-10.082.917
2037	\$ 12.354.000	\$ 8.746.650	\$ 230.600	\$ 3.376.750	\$ -15.563.750	\$7.862	\$-12.179.138

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el VPN es de **\$-23.092.747 M CLP**

5.3.3 P2, C1 y C2: Programas educativos y de difusión

Para estas medidas se establece un presupuesto fijo para el primer año de implementación (2026) de las medidas, las cuales abarcan un programa completo de educación y/o difusión cual sea el caso. La Tabla 5-20 muestra en detalle lo que incluye cada medida y su costo asociado.

Además, para los años posteriores de evaluación, hasta el año 2037, se considera un costo anual de mantención de la programación correspondiente a un 35% del presupuesto inicial, valor presentado en la Tabla 5-21.

Por último, a mediados del periodo de estudio (2031) se considera un costo adicional equivalente a un 20% del presupuesto inicial el cual está destinado a la actualización de materiales, contenido de difusión o mostrar avances en las medidas. Todo el detalle de los costos se muestra en la Tabla 5-22.

Tabla 5-20 Costos fijos por programas de educación y difusión para las medidas P2, C1 y C2.

Ítem	P2: Programa de educación y concientización sobre parrillas a carbón	C1: Difusión de información científica sobre efectos del MP en la salud	C2: Difusión de comercializadores certificados
Objetivo General	Confeccionar material de educación y difusión sobre el impacto ambiental y en la salud del uso de parrillas a carbón, dirigido a la población de la Región Metropolitana, teniendo como enfoque principal fomentar métodos alternativos que reduzcan las emisiones, dando énfasis a los periodos previos y durante partidos de fútbol.	Confeccionar material de educación y difusión sobre el impacto ambiental y en la salud del uso de artefactos a leña, dirigido a toda la población de la Región Metropolitana, teniendo como enfoque principal fomentar métodos alternativos que reduzcan las emisiones.	Confeccionar material de educación y difusión sobre los comercializadores que cuentan con los procesos productivos que aseguran el cumplimiento de los estándares de calidad de leña seca para ser comercializados.
Objetivo Específico 1	Diseñar e implementar dos productos estratégicos para la RM: 1) capsulas radiales; 2) gráficas para las redes sociales que puedan ser difundidas masivamente en cada una de ellas	Diseñar e implementar dos productos estratégicos para la RM: 1) capsulas radiales; 2) gráficas para las redes sociales que puedan ser difundidas masivamente en cada una de ellas	Diseñar e implementar dos productos estratégicos para la RM: 1) capsulas radiales; 2) gráficas para las redes sociales que puedan ser difundidas masivamente en cada una de ellas
Objetivo Específico 2	Elaboración de capsulas informativas orientadas a la difusión y educación del público de interés, que incluya contenidos referidos al uso de parrillas a carbón, particularmente en los partidos de Chile y de los beneficios de realizar el recambio de parrillas.	Elaboración de capsulas informativas orientadas a la difusión y educación del público de interés, que incluya contenidos referidos a concienciar sobre el impacto de las emisiones dentro del hogar y de los beneficios de realizar un cambio por artefactos más eficientes o de menor emisión.	Elaboración de capsulas informativas orientadas a la difusión y educación del público de interés, que incluya contenidos referidos a la importancia de la certificación y etiquetado de los artefactos a leña, de los comercializadores y de los beneficios de realizar un recambio de estos por unos más eficientes o de menor emisión.
Objetivo Específico 3	Contratar servicios radiales de la RM, según las especificaciones técnicas y en acuerdo con la contraparte técnica.	Contratar servicios radiales de la RM, según las especificaciones técnicas y en acuerdo con la contraparte técnica.	Implementar un servicio web para la RM en particular, conforme a las especificaciones técnicas acordadas con la contraparte. Permitiendo optimizar la difusión en línea.
Resultados esperados	Diseño, producción y elaboración de cápsulas que estén acorde a educar y concientizar a la población	Diseño, producción y elaboración de cápsulas que estén acorde a educar y concientizar a la población	Diseño, producción y elaboración de cápsulas que estén acorde a educar y concientizar a la población
	Enseñar de manera didáctica los peligros y consecuencias del uso de parrillas a carbón	Enseñar de manera didáctica los peligros y consecuencias para la salud sobre los efectos del MP	Difundir en línea los beneficios de la regulación del mercado de los biocombustibles y de la disminución de su uso y comercialización de leña no certificada.
Costo Total	\$ 7.600.000	\$ 7.600.000	\$ 7.600.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-21 Costo anual de mantención

Costo	Porcentaje	Total
Mantención anual	35%	\$ 2.660.000

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 5-22 muestra la proyección para un horizonte de 15 años a partir del año base (2022) con todos los costos asociados.

Tabla 5-22 Costos totales de implementación para las medidas P2, C1, C2.

Programa	Programa educativo Parrillas Residenciales	Programa de Difusión de información científica sobre efectos del MP en la salud	Programa de Difusión de comercializadores certificados	Total (CLP)
2022	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2023	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2024	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2025	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2026	\$ 7.600.000	\$ 7.600.000	\$ 7.600.000	\$ 22.800.000
2027	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2028	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2029	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2030	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2031	\$ 4.180.000	\$ 4.180.000	\$ 4.180.000	\$ 12.540.000
2032	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2033	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2034	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2035	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2036	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000
2037	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 2.660.000	\$ 7.980.000

Fuente: Elaboración propia

El VPN de las medidas P2, C1 y C2 es de **\$66.614.148 CLP**

5.3.4 E1: Incorporación de Energía Distrital para nuevos proyectos inmobiliarios en la RM.

Para realizar la estimación de costos de esta medida se utilizó como referencia el proyecto “Diseño y Evaluación del Sistema de Calefacción Distrital para Conjunto Habitacional Nuevo en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas” realizado por la consultora Aguasol LATAM, el cual busca diseñar un sistema de energía distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada de Temuco y Padre las Casas y evaluar su factibilidad comparándolo con otras alternativas de calefacción. Se selecciona este documento por la similitud existente con la medida

propuesta para la Región Metropolitana y por la claridad en la que se muestran los costos. La Tabla 5-23 muestra el tamaño del proyecto en Temuco.

Tabla 5-23 Tamaño del proyecto en Temuco

Potencia requerida de la planta	4,2	MWt
Viviendas totales	462	
Cantidad de casas	382	
Dimensión viviendas	64	m2
Demanda térmica total proyecto	4.974	MWh/año
Demanda térmica total casas	4.313	MWh/año
Demanda térmica unitaria viviendas	10.766	KWh/año
Demanda térmica unitaria casas	11.291	KWh/año
Demanda térmica por superficie (casas)	176	KWh/año/m2

Fuente: Elaboración propia

En el proyecto mencionado se utiliza una metodología híbrida compuesta por calderas de biomasa para cubrir la demanda base y calderas de gas licuado (GLP) para los peaks de demanda, con un sistema de acumulación que reduce los peaks de demanda acumulando calor. Para el caso de la Región Metropolitana sólo se utilizan calderas de GLP.

La Tabla 5-24 muestra los parámetros generales utilizados en la estimación de costos, en donde el Factor_UF indica el cambio desde el año 2019 (año base en el que se realizó el estudio en Temuco) al año 2024 del valor del UF y el Factor_GLP muestra el cambio en el valor del combustible por litro desde el año 2019 al año 2024, mientras que la Tabla 5-25 muestra los parámetros generales del proyecto, en temas del consumo energético para la Región Metropolitana.

Tabla 5-24 Parámetros generales medida E1

	2019	2024	Factor
Factor_UF	\$ 27.570	\$ 38.133	1,38
Factor_GLP ³³	\$ 707	\$ 1.200	1,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-25 Consumo energético RM

	Valor	Unidad
Demanda térmica unitaria casas	100 ³⁴	kWh/m2/año

³³ Valores obtenidos de LIPIGAS

³⁴ Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social (2009)

	Valor	Unidad
Tamaño vivienda	38 ³⁵	m2
Demanda térmica por superficie (casas)	3.800	kWh/vivienda/año

Fuente: Elaboración propia

Para estimar los costos totales de la incorporación de la calefacción con ED se realiza un análisis del proyecto en Temuco que tiene como año base el 2019, con los factores presentados en la Tabla 5-24 se obtienen los costos de interés extrapolados al año 2024.

El costo de las calderas de Gas Licuado (GLP) se obtiene de una cotización realizada por la consultora con *Smart Heating Technology*, la Tabla 5-26 muestra el costo por caldera y transporte de ella.

Para estimar los costos de inversión se consideran los costos por caldera y su transporte, el sistema de generación de calor, la red de distribución, entre otros. La Tabla 5-27 muestra el detalle de los costos para el Sistema de Generación de Calor y la Tabla 5-28 el detalle de la red de distribución para una vivienda.

Tabla 5-26 Costos Unitarios de Calderas GLP

	Cantidad	Euros	CLP 2024 ³⁶
Calderas de GLP (MW)	1	80.000	\$ 81.576.000
Transporte Calderas	1	1.500	\$ 1.529.550

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-27 Cálculo Sistema de Generación de Calor

	Cantidad	Total 2024	Unidad
Calderas de GLP (MW)	8	\$ 652.800.000	CLP
Transporte Calderas	8	\$ 12.240.000	CLP
Acumulación (m3)	-	\$ 84.282.454	CLP
Edificio Central Térmica (m2)	-	\$ 285.953.828	CLP
Otros	-	\$ 102.458.300	CLP
Ingeniería e indirectos	-	\$ 112.704.131	CLP
Imprevistos	-	\$ 112.704.131	CLP
Sistema Generación de Calor		\$1.363.142.845	CLP

Fuente: Elaboración propia

³⁵ Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social (2009)

³⁶ El valor de conversión utilizado es un promedio calculado para todo el año 2024 hasta noviembre

Tabla 5-28 Costo de Instalación en Vivienda

	Costo CLP
Red de tuberías (CLP)	\$ 300.000
Radiadores y accesorios (CLP)	\$ 260.000
Acumulador de inercia (CLP)	\$ 650.000
Sistema de control y accesorios (CLP)	\$ 250.000
Mano de obra montaje (CLP)	\$ 90.000
Mano de obra civil (CLP)	\$ 90.000
Ruptura y reposición (CLP)	\$ 180.000
Total	\$ 1.820.000

Fuente: Elaboración propia

Con la información entregada en las tablas anteriores, se calculan los costos de inversión para la medida E1 como se muestra en la Tabla 5-29.

Tabla 5-29 Costo de Inversión Total Temuco

	Total 2024	Unidad
Sistema Generación de Calor	\$ 1.363.142.845	CLP
Costo por Obra Civil	\$ 85.677.716	CLP
Costo Material	\$ 396.070.666	CLP
Imprevistos	\$ 6.473.317	CLP
Conexión de clientes de calor	\$ 1.296.807.913	CLP
Total red distribución viviendas	\$ 1.162.994.259	CLP
Costo de Inversión Total	\$ 4.311.166.716	CLP

Fuente: Elaboración propia

Los costos operacionales se presentan en la Tabla 5-30 , en donde se considera el costo por combustible para las calderas de gas licuado y los costos de mantención.

Tabla 5-30 Costos Operacionales Temuco

	CLP 2024
Costo GLP (8 calderas)	\$ 241.447.020
Costo Mantención	\$ 12.136.999
Total	\$ 253.584.020

Fuente: Elaboración propia

Por último, la Tabla 5-31 muestra el resumen de los costos del proyecto de Temuco ajustados al año 2024. Estos valores se utilizan para extrapolarlos a la Región Metropolitana y así obtener el valor anualizado para una vivienda como se muestra en la Tabla XX.

Tabla 5-31 Resumen costos Temuco ajustados a 2024

Dos Central térmica de 2.1 MWt cada una	CLP(2024)
Inversión	\$ 3.148.172.457
Mantención	\$ 12.136.999
Costo GLP (8 calderas)	\$ 241.447.020

Fuente: Elaboración propia

Para poder calcular los costos en la Región Metropolitana se extrapolan los datos de Temuco en base a los parámetros generales de cada proyecto. En primer lugar, en base a las demandas térmicas de ambos proyectos (Ver Tabla 5-23 y Tabla 5-25) se establecen factores de conversión que permiten estimar el número de viviendas servidas en la RM en base al proyecto de Temuco, en este caso, un proyecto en Temuco de 4,2 MWt de potencia puede abastecer **1373** casas en la Región Metropolitana.

Por otro lado, la Tabla 5-32 muestra la inversión total anualizada para Temuco, esto se hace con el fin de distribuir uniformemente estos valores en la Región Metropolitana para la cantidad de viviendas servidas, tal como se muestra en la Tabla 5-33.

Tabla 5-32 Inversión Anualizada Temuco

	Inversión Total Temuco	FRC	Inversión Anualizada
Inversión	\$ 4.311.166.716	0,08 ³⁷	\$ 337.248.424

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-33 Costo Total Medida E1

	Total unitario RM	Total por 100 casas	Proyecto Total
Inversión anualizada	\$ 245.683	\$ 24.568.320	\$ 122.841.598
Mantención	\$ 8.842	\$ 884.172	\$ 4.420.861
Costo Operacional	\$ 826.087	\$ 82.608.696	\$ 413.043.478
Total	\$ 1.080.612	\$ 108.061.188	\$ 540.305.938

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que para realizar el cálculo del costo operacional para el combustible se realiza un análisis en base a la demanda total del proyecto en Santiago (ver Tabla 5-25) y la eficiencia de la tecnología, además de las características propias del combustible tales como el poder calorífico para obtener el requerimiento anual por vivienda dando como resultado el costo operacional final de interés.

³⁷ Factor de Recuperación de Capital (FRC): factor que integra los efectos del valor del dinero en el tiempo, asegurando una evaluación más precisa y realista de los proyectos a largo plazo.

Finalmente, la Tabla 5-34 muestra la proyección para un horizonte de 15 años a partir del año base (2022) con todos los costos asociados y presentados anteriormente.

Tabla 5-34 Costos totales de Implementación de la medida E1

Año	Inversión	Costo Operación	Costo Total medida E1
2022	\$ -	\$ -	\$ -
2023	\$ -	\$ -	\$ -
2024	\$ -	\$ -	\$ -
2025	\$ -	\$ -	\$ -
2026	\$ 122.841.598	\$ 417.464.339	\$540.305.938
2027	\$ -	\$ 417.464.339	\$417.464.339
2028	\$ -	\$ 417.464.339	\$417.464.339
2029	\$ -	\$ 417.464.339	\$417.464.339
2030	\$ -	\$ 417.464.339	\$417.464.339
2031	\$ -	\$ 417.464.339	\$417.464.339
2032	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339
2033	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339
2034	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339
2035	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339
2036	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339
2037	\$ -	\$417.464.339	\$417.464.339

Fuente: Elaboración propia

El VPN de la medida E1 es de **\$2.864.087.256 CLP**

Por último, para el estudio de la calefacción distrital como medida a implementar en la Región Metropolitana se realizó una comparación para las tres tecnologías utilizadas en la actualidad con sus costos anualizados **unitarios** asociados tal como se muestra en la Tabla 5-35.

Tabla 5-35 Comparación tecnologías de calefacción RM

Ítems	Estufa Leña	Inverter 18000	Calefacción Distrital
Inversión	\$ 43.592	\$ 61.778	\$ 245.683
Mantención	\$ 20.000	\$ 50.000	\$ 8.842
Combustible	\$ 560.032	\$ 260.571	\$ 826.087
Total	\$ 623.625	\$ 372.349	\$ 1.080.612

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, existe una diferencia importante entre tecnologías de calefacción que reflejan las dificultades de implementación de la calefacción distrital.

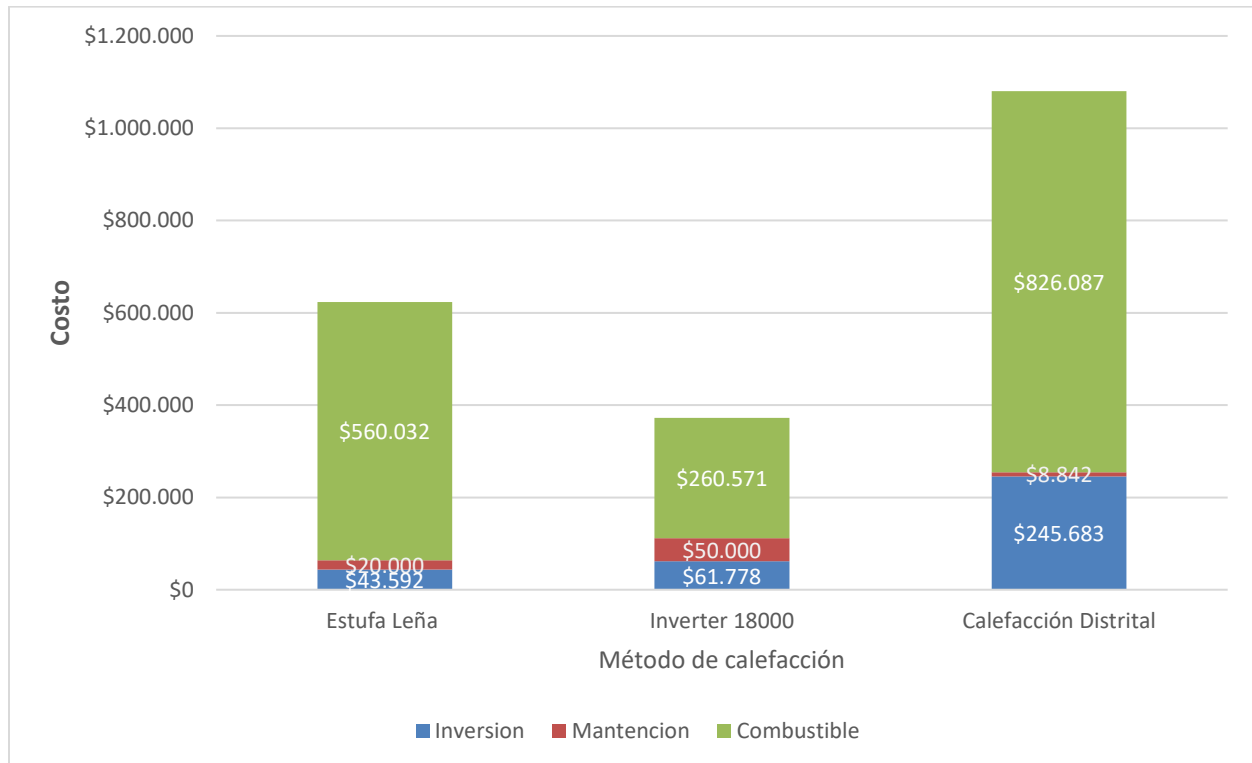


Figura 5-8 Costos Anualizados tecnologías de calefacción

Fuente: Elaboración propia

6. Determinación del potencial de reducción de emisiones de las medidas propuestas, con una proyección de 15 años a partir del año base 2022

6.1 Metodología para estimar los potenciales de reducción de emisiones

En base a la propuesta de medidas nuevas o modificación de las medidas actuales del PPDA presentada en la Sección 5.2, se estiman los potenciales de reducción únicamente de las medidas que generan una reducción directamente cuantificable en las emisiones, detalladas en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1 Medidas propuestas que poseen potencial de reducción de emisiones

Medida nueva o existente	N°	Medida	Detalle propuesta
Nueva	P1	Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos	Prohibición del uso directo de parrillas que funcionen con carbón en las viviendas durante episodios críticos.
Existente	M2	Prohibición uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A	La modificación de la M1 propone la redefinición de las Zonas A y B. Se integran a la Zona A las siguientes comunas: Peñaflor, Padre Hurtado, Buin, El Monte, Lampa, Colina y Talagante.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla la metodología de estimación del potencial de reducción de cada una.

6.1.1 P1: Prohibición de uso de parrillas a carbón durante todo el periodo de Gestión de Episodios Críticos

Tal como se menciona en la Sección 5.3, esta medida supone que cierta cantidad de viviendas recambiarán sus parrillas a carbón por parrillas a gas cada año a partir de 2026 hasta 2037. Estos recambios generarán una reducción de emisiones debido a que las parrillas a gas son menos contaminantes en su uso. Para la estimación del potencial de reducción de la medida, se realizan los siguientes supuestos:

- Se asume que la cantidad de horas promedio de uso por parrilla a gas es la misma que para parrillas a carbón, presentada en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Cantidad de horas promedio al año por parrilla residencial

Provincia	Horas promedio al año por parrilla [h/año]
Santiago	19,5
Cordillera	30,9
Chacabuco	18,9
Maipo	30,9
Melipilla	24,1
Talagante	24,4
Promedio general	24,8

Fuente: Elaboración propia en base a (Gramsch et al., 2023a)

- Si bien se generan reducción de emisiones por la disminución de la cantidad de parrillas a carbón, se deben considerar también las emisiones generadas por el uso de las parrillas a gas recambiadas. Dado que no se cuenta con información de los factores de emisión de parrillas a gas, pero sí de parrillas a carbón (ver Tabla 3-36), se utiliza una proporción entre los factores de emisión de carbón y GLP de combustión en calderas. De esta manera, se estiman los siguientes factores de emisión:

Tabla 6-3 Factores de emisión estimados para parrillas a gas

Contaminante	Factor emisión [g/h]
NOX	1,78
MP10	0,48
MP2,5	1,75
CO	3.339,84
COV	0

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, considerando que la cantidad de recambios de parrillas a realizar anualmente implican una disminución del uso de parrillas a carbón (reducción emisiones) y un aumento en el uso de parrillas a gas (emisiones adicionales), se estima la reducción de emisiones neta que genera la medida anualmente para el periodo 2022-2037. La sumatoria de las reducciones en dicho periodo corresponde al potencial de reducción de la medida.

6.1.2 M2: Prohibición de uso de calefactores a leña en Zona A

En la Sección 5.2.1 se presenta la propuesta de modificación de la medida M1-Definición Zona A y Zona B, agregando a la Zona A las comunas de Peñaflor, Padre Hurtado, Buin, El Monte, Lampa, Colina y Talagante. Esta ampliación de la Zona A implica una reducción de emisiones por la implementación de la medida M2 establecida en el Artículo 74 del PPDA, que establece la prohibición del uso de calderas de calefacción de uso domiciliario, calefactores y cocinas a leña, carbón vegetal y otros derivados de madera en la Zona A, que aplicaría también a las nuevas comunas. La reducción de emisiones asociada a la aplicación de la M2 a las comunas agregadas se generaría por una disminución de la cantidad de artefactos a leña en dichas comunas, en comparación con la línea base, considerándose como línea base la proyección de emisiones del sector residencial realizada para el Escenario 1 en el presente estudio (ver Sección 3.2).

Para estimar las reducciones en emisiones se realizan los siguientes supuestos:

- Se considera que los artefactos a leña en las nuevas comunas empezarán a disminuir en 2026 por la aplicación de la prohibición, llegando a un 95% de cumplimiento en 2037.
- Se utiliza la emisión promedio por tipo de artefacto, estimada a partir del inventario de emisiones de 2022 (ver Tabla 3-14).
- La cantidad de artefactos proyectada para cada provincia (ver Sección 3.2.1) se distribuye por comuna según la distribución de la cantidad de viviendas.

A continuación, se presenta la disminución total de la cantidad de artefactos a leña en el periodo de evaluación.

Tabla 6-4 Disminución cantidad artefactos a leña por ampliación Zona A

Artefacto	Cámara simple	Doble cámara
2022	-	-
2023	-	-
2024	-	-
2025	-	-
2026	99	1.668
2027	198	3.327
2028	297	4.976
2029	394	6.613
2030	490	8.241
2031	587	9.860
2032	682	11.467
2033	775	13.064
2034	870	14.649
2035	962	16.224
2036	1.058	17.830
2037	1.153	19.437

Fuente: Elaboración propia

6.2 Resultados de la estimación de potenciales de reducción

En la Tabla 6-5 se presenta la reducción anual de emisiones que generaría la implementación de la prohibición de uso de parrillas a carbón durante el periodo de gestión de episodios críticos (medida P1). Por otro lado, la Tabla 6-6 presenta la reducción anual de emisiones que generaría la implementación de la prohibición de artefactos a leña en la zona A (M2) en las nuevas comunas que se propone agregar a dicha zona. Se observa que en el caso de CO las reducciones son negativas, es decir, en la práctica esta medida implicaría un aumento de las emisiones de CO, dado que las parrillas a gas poseen un mayor FE de CO que las parrillas a carbón.

Tabla 6-5 Reducción de emisiones generada por medida P1 [t/año], 2022-2037

Año	MP10	MP2,5	NOX	CO	COV
2022	-	-	-	-	-
2023	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-
2026	32	29	6	-3.564	3
2027	32	29	6	-3.564	3
2028	32	29	6	-3.564	3
2029	32	29	6	-3.564	3
2030	32	29	6	-3.564	3
2031	45	40	8	-4.989	5
2032	45	40	8	-4.989	5
2033	45	40	8	-4.989	5
2034	64	58	11	-7.127	7
2035	64	58	11	-7.127	7
2036	64	58	11	-7.127	7
2037	64	58	11	-7.127	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-6 Reducción de emisiones generada por ampliación Zona A en medida M2 [t/año], 2022-2037

Año	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	CO	CO2	COV	NH3
2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2026	20	19	3	0	20	231	3.406	53	2
2027	40	39	5	1	39	461	6.796	106	4
2028	59	58	8	1	59	690	10.163	158	7
2029	79	77	10	1	78	917	13.508	211	9
2030	98	96	13	2	97	1.143	16.832	262	11
2031	117	115	15	2	116	1.367	20.139	314	13
2032	136	134	18	2	135	1.590	23.419	365	15
2033	155	152	20	3	154	1.811	26.682	416	17
2034	174	171	23	3	172	2.031	29.920	466	19
2035	193	189	25	4	191	2.249	33.136	517	21
2036	212	208	28	4	210	2.472	36.414	568	24
2037	231	227	30	4	229	2.695	39.696	619	26

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6-7 se presentan los potenciales de reducción por medida, estimados como la reducción de emisiones total generada en el periodo de evaluación (2022-2037). Se puede notar que la adición de nuevas comunas a la zona A en las cuales comenzaría a regir la prohibición de calefactores a leña (implementación de M2 con modificación de M1) reduciría en total un 64% más de emisiones de MP10, un 67% más de MP2,5 y un 52% más de NOx.

Tabla 6-7 Reducción total de emisiones en periodo de evaluación [ton]

Contaminante	Medida P1	Medida M2
MP10	551	1.515
MP2,5	496	1.485
NOx	96	199
SOx	-	28
CH4	-	1.499
CO	-61.295	17.657
CO2	-	260.111
COV	57	4.055
NH3	-	168

Fuente: Elaboración propia

6.3 Análisis y priorización de las medidas propuestas en términos de costos, potencial de reducción y dificultad de implementación

A partir de la estimación del potencial de reducción (ver Sección 6.2) y los costos asociados a cada medida (ver Sección 5.3), se estima la costo-eficiencia de las medidas evaluadas, considerando la reducción de emisiones de los contaminantes de interés MP10 y MP2,5, presentada en la Tabla 6-8. Se observa que la medida M2 que reduce emisiones debido a la ampliación de la Zona A (modificación M1) es más costo-efectiva que la prohibición de parrillas a carbón en periodo de gestión de episodios críticos. Esto se debe a que, por un lado, la reducción de emisiones que se alcanzaría a través de la ampliación de la Zona A (asumiendo que se cumpliría) es mayor, tal como se observa en la Tabla 6-7, pero también dicha medida posee asociados menores costos. De hecho, se puede observar que los costos asociados a la implementación de dicha medida son negativos, lo cual refleja que los ahorros que se generarían por dejar de utilizar los artefactos a leña a recambiar son mayores a los costos que implica el recambio y utilización de los aires acondicionados.

Adicionalmente, es relevante destacar que, dada la naturaleza de la medida P1 y modificación de la medida M1, los costos de recambios son absorbidos completamente por los emisores.

Tabla 6-8 Costo-eficiencia de medidas evaluadas [M CLP/ton reducida]

Contaminante	Medida P1	Medida M2
MP10	38.911	-15.242
MP2,5	43.244	-15.553

Fuente: Elaboración propia

7. Conclusiones

El presente estudio tiene como objetivo general determinar medidas de reducción de emisiones de material particulado, sus precursores y otros gases para el sector residencial, además de generar los insumos necesarios para llevar a cabo el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) sobre estas medidas, en el marco de la actualización del PPDA RMS. En el presente informe se realizó una proyección de 15 años del inventario de emisiones del sector residencial en la Región Metropolitana de Santiago (RMS), con año base 2022. Se llevó a cabo un análisis de medidas actuales del PPDA RMS, y se propusieron y evaluaron nuevas medidas para la actualización del Plan.

Para lograr la proyección del inventario de emisiones, se realizó un diagnóstico de las medidas actuales del PPDA RMS y se sistematizan dichas medidas (Ver Tabla 3-1). Para esto, se revisan y recopilan los principales hallazgos de estudios disponibles para identificar información relevante para el diagnóstico de las medidas del PPDA RMS. Por último, se detalla la metodología e información utilizada para llevar a cabo la proyección de 15 años, basándose en el inventario del sector residencial con año base 2022 (Gramsch et al., 2023a).

La proyección de emisiones se realizó para cada categoría del inventario de acuerdo a lo presentado en la Tabla 3-23. Para la categoría de calefacción a leña se evaluaron tres escenarios de proyección: el Escenario 1 asume un 95% de cumplimiento del PPDA vigente, el Escenario 2 considera que la cantidad de artefactos a leña aumenta según la cantidad de viviendas, y el Escenario 3.1 y 3.2 consideran el recambio de 50.000 y 70.000 calefactores a leña, respectivamente, comprometido por Anglo American en el marco del proyecto Los Bronces Integrado.

En general, los resultados de la proyección de emisiones reflejaron una tendencia al aumento de las emisiones en todos los escenarios, con excepción de la calefacción a leña. Además, la calefacción a leña va disminuyendo su contribución a las emisiones totales en el tiempo para los Escenarios 1, 3.1 y 3.2, representando en promedio un 66% de las emisiones de MP en 2022, mientras que en el año 2037 representa un 41% de las emisiones de MP para el Escenario 1, un 53% para el Escenario 3.1 y 43% para el Escenario 3.2. Esto resulta razonable al considerar que, en el Escenario 1, las principales medidas del PPDA están asociadas a la disminución/regulación del consumo de leña, mientras que en los Escenarios 3.1 y 3.2 se asume que Anglo American recambiará 50.000 y 70.000 calefactores a leña al 2030, respectivamente, lo que se traduce en una disminución de las emisiones generadas por dichos artefactos. En el caso del Escenario 2, las emisiones de material particulado tienden a aumentar en el tiempo y, en particular, la calefacción a leña representa, en promedio, un 67% de las emisiones de MP en 2037, ya que este escenario no considera el cumplimiento de las medidas del PPDA actual.

Para el análisis de las medidas actuales del PPDA RMS, se revisa el estudio “Revisión de las Medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana de

Santiago - PPDA” y se evalúa qué medidas deberían mantenerse, retirarse o modificarse en la actualización del PPDA RMS (Ver Tabla 4-1). Adicionalmente, se revisa la normativa nacional relacionada con las emisiones residenciales para identificar sinergias con la actualización del PPDA RMS, detallando los principales hallazgos y sinergias encontradas. La normativa revisada incluye la Ley 20.586/2012 del Ministerio de Energía, la Ley 21.499 que regula los biocombustibles sólidos y el D.S. N° 39, de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente. Las sinergias identificadas incluyen los requisitos de comercialización como la certificación, el etiquetado y el cumplimiento de la norma de emisión.

Finalmente, para proponer medidas nuevas, mantención o modificación de las medidas actuales, se revisaron antecedentes nacionales e internacionales sobre medidas de reducción de emisiones atmosféricas para el sector residencial, presentando los principales hallazgos y la sistematización de las medidas encontradas (Ver Tabla 5-1 y Tabla 5-2). La principal modificación propuesta a las medidas actuales corresponde a la redefinición de la Zona A y Zona B del PPDA, en donde se propone agregar a la Zona A las comunas de Peñaflor, Padre Hurtado, Buin, El Monte, Lampa, Colina y Talagante (M1). Por otro lado, se propone como nueva medida la prohibición de uso de parrillas a carbón durante episodios críticos (P1), esto a raíz de la creciente relevancia que tendrán las parrillas residenciales en las emisiones del sector residencial, como se pudo observar en la proyección de emisiones. Por último, se propone como nueva medida la incorporación de un sistema de calefacción con Energía Distrital (ED) para nuevos proyectos inmobiliarios en la Zona B, diseñados para atender complejos habitacionales con el fin de reducir las emisiones asociadas a los sistemas individuales de calefacción, promoviendo el uso eficiente de energías renovables y un control más estricto de las emisiones.

Se estiman los costos y reducción de emisiones asociados a las nuevas medidas para estimar la costo-eficiencia, obteniéndose que la ampliación de la Zona A, a través de la implementación de la prohibición del uso de calefactores a leña en la Zona A (Artículo 74 PPDA), es más costo-efectiva, reflejando incluso que implicaría ahorros netos. En este sentido, se recomienda su priorización en caso de considerarse para el proceso de actualización del Plan.

8. Bibliografía

- Centro de Sistemas Públicos. (2019). *Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente*.
- ECOS. (2023). *Informe Final Revisión de las medidas del PPDA Región Metropolitana*. www.ecos-chile.com
- Gramsch, E. (2014). *Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana*.
- Gramsch, E., Yáñez, C., Ruiz, C., & González, A. (2023a). *INVENTARIO DE EMISIONES RESIDENCIALES-REGIÓN METROPOLITANA*.
- Gramsch, E., Yáñez, C., Ruiz, C., & González, A. (2023b). *INVENTARIO DE EMISIONES SECTOR RESIDENCIAL-REGIÓN METROPOLITANA*.
- GreenLabUC. (2016). *Elaboración de Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas* (Estudio pr). Estudio preparado para la Subsecretaría del Medio Ambiente.
- INE. (2018). *Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 1992-2050. Total país. Metodología y principales resultados*.
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia de transición energética residencial*.
- Ministerio de Energía. (2022). *Ley 21.499: Regula los biocombustibles sólidos*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Minvu. (2019). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS EN CHILE*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL MATERIAL PARTICULADO EN LA REGIÓN METROPOLITANA Y REGIONES CENTRO SUR*.
- MMA. (2010). *Medidas costo-efectivas para reducir la contaminación del aire generada por la combustión de leña en ciudades del sur de Chile*. <https://www.researchgate.net/publication/277775966>
- MMA. (2016). *ACTUALIZACIÓN PARA PROYECTO DEFINITIVO DEL ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN DE LA REGIÓN METROPOLITANA*.
- MMA. (2017). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- Muñoz-Ibáñez, F. G., & Cáceres-Lillo, D. D. (2020). Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP2,5 y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile. *Cadernos de Saúde Pública*, 36(6). <https://doi.org/10.1590/0102-311x00246118>
- Reyes, C. (2021). *Cultura de leña: consumo y almacenamiento, estrategias de diseño para mejorar el desempeño energético de las viviendas en la ciudad de Valdivia y reducir el consumo residencial de leña*.
- Rojas, C., Bergamini, K., Salazar, G., Gutierrez, P., Ojeda, C., & Currillán, C. (2021). *21 Propuestas de políticas públicas para disminuir las emisiones de CO2 en hogares de ciudades del centro-sur de Chile*.
- Superintendencia del Medio Ambiente. (2023). *Informe del Estado de Avance de las medidas e instrumentos del PPDA RMS, año 2022*.

- Vivanco, E. (2020). *Ordenanzas municipales que regulan el uso de la leña Comunas del centro y sur de Chile*. <http://bcn.cl/1rb64>
- Yáñez, C. (2022). *CATASTRO DE EMISIONES DE CALEFACTORES Y COCINAS*. www.in-data.cl