



Informe Número

1634276

Original



---

**ESTUDIO DE REVISIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA DE COYHAIQUE Y GENERACIÓN DE  
ANTECEDENTES PARA SU ACTUALIZACIÓN**

**ID Licitación: 611136-3-LE24**

**Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente y la  
SEREMI de Medio Ambiente de la Región de Aysén**

**INFORME FINAL**

**Santiago, 27 de diciembre de 2024**

**Título del Proyecto**

**ESTUDIO DE REVISIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE COYHAIQUE Y GENERACIÓN DE ANTECEDENTES PARA SU ACTUALIZACIÓN**

**Autores:**

Jefe de proyecto: Luis Cifuentes

Experta asesora: Rosario Palacios

Ingenieras Senior de proyecto: Rocío Herrera, Viviana Cerda

Ingeniera de proyecto: Scarlett Cárdenas

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 por objetivo general la revisión y análisis del Plan de descontaminación atmosférica de Coyhaique y su zona circundante y la generación de insumos para su actualización. Para ello, se presenta la actualización del inventario de emisiones de la zona saturada de Coyhaique, con año base 2023 y una proyección a 15 años, para los contaminantes MP10, MP2,5, SOx, NOx, CO y carbono negro. Además, se realiza un análisis técnico de implementación de las medidas establecidas en el PDA vigente, y se proponen y evalúa la costo – efectividad de las nuevas medidas de reducción de emisiones para MP10 y MP2,5.

**Cuerpo del informe**

185 hojas (incluye portada)

**Fecha del informe**

27/12/2024

**Información Contractual**

Correlativo Contrato: 3619

OC N°: 611136-23-SE24

**Contraparte técnica**

Nombre: Paulina Guzmán

Cargo: Profesional Área Calidad del Aire y Cambio Climático, SEREMI del Medio Ambiente de la región de Aysén

E-mail: pguzman@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.....	IV
Lista de Figuras.....	VII
Acrónimos y Abreviaturas.....	X
<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Antecedentes y justificación del estudio.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos del estudio .....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
2.3 Alcance de este informe .....	4
<b>3. Actualización del inventario de emisiones, año base 2023 y una proyección a 15 años, para los contaminantes MP10, MP2,5, SOx, NOx, CO y carbono negro, para la zona saturada propuesta.....</b>	<b>6</b>
3.1 Reunión de inicio con la contraparte técnica .....	7
3.2 Metodología para la estimación de emisiones.....	7
3.2.1 Fuentes fijas .....	8
3.2.2 Combustión residencial de leña y pellet.....	11
3.2.3 Quemadas agrícolas.....	19
3.2.4 Incendios forestales .....	22
3.2.5 Incendios urbanos .....	27
3.2.6 Fuentes móviles.....	28
3.3 Inventario de emisiones, año base 2023 .....	33
3.3.1 Resultado de la estimación del inventario de emisiones .....	33
3.3.2 Comparación con inventario de emisiones elaborado en el marco del PDA vigente	41
3.4 Proyección de emisiones en horizonte de evaluación de 15 años .....	43
3.4.1 Metodología para la proyección de emisiones .....	43
3.4.2 Resultado de la proyección de emisiones .....	46
<b>4. Análisis técnico de implementación de las medidas establecidas en el PDA vigente .....</b>	<b>51</b>

4.1	Evaluación técnica de la efectividad e implementación de las principales medidas y programas estratégicos del PDA vigente .....	51
4.1.1	<i>Revisión de estudios y reportes</i> .....	51
4.1.2	<i>Estado de avance de las medidas del Plan</i> .....	59
4.1.3	<i>Evolución de la calidad del aire para MP10 y MP2,5</i> .....	75
4.1.4	<i>Reducción de emisiones principales medidas</i> .....	85
4.2	Reuniones sectoriales con los servicios que tienen medidas comprometidas en el PDA vigente .....	90
4.2.1	<i>Metodología reuniones</i> .....	90
4.2.2	<i>Sistematización y análisis de los aportes de los servicios</i> .....	91
<b>5.</b>	<b>Propuesta de nuevas medidas de reducción de emisiones para MP10 y MP2,5 para la actualización del Plan .....</b>	<b>100</b>
5.1	Mapa de actores relevantes en el marco del PDA.....	100
5.2	Medidas de descontaminación atmosférica implementadas en Coyhaique, no incluidas en PDA104	
5.3	Propuesta de nuevas medidas de reducción de emisiones.....	107
5.3.1	<i>Metodología para la identificación y selección de medidas</i> .....	107
5.3.2	<i>Propuesta definitiva de medidas de reducción de emisiones</i> .....	108
5.4	Costo-efectividad de cada medida y del conjunto de medidas propuestas, con un horizonte de 15 años .....	109
5.4.1	<i>Costos de medidas propuestas</i> .....	109
5.4.2	<i>Programa de fiscalización para evaluación de costos</i> .....	122
5.4.3	<i>Estimación de la reducción de emisiones de las medidas propuestas</i> .....	123
5.4.4	<i>Costo-efectividad de cada medida propuesta</i> .....	132
5.5	Ficha por cada medida evaluada .....	133
5.5.1	<i>M1: Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico</i> .....	134
5.5.2	<i>M2: Estudio de evaluación del Bono de Calefacción</i> .....	134
5.5.3	<i>M3: Campaña comunicacional – GEC</i> .....	135
5.5.4	<i>M4: Pack Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento</i> .....	135
5.5.5	<i>M5: Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas</i> .....	136
5.5.6	<i>M6: Fomento de leña seca</i> .....	136
5.5.7	<i>M7: Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética</i> .....	137

5.5.8	<i>M8: Restricción absoluta de uso de leña GEC.....</i>	137
5.5.9	<i>M9: Zona Buffer para Quema de Rastrojos .....</i>	138
5.5.10	<i>M10: Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada .....</i>	138
5.5.11	<i>M11: Ampliación y mejora de redes de ciclovías .....</i>	139
5.5.12	<i>M12: Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca .....</i>	139
5.6	Evaluación del impacto en la calidad del aire de las medidas propuestas.....	140
<b>6.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>145</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>147</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>149</b>
8.1	Propiedades de los combustibles .....	149
8.2	Homologación de categorías vehiculares de INE con CCF6.....	149
8.3	Excedencias a la norma 24 horas de MP10 .....	150
8.4	Excedencias a la norma 24 horas de MP2,5 .....	153
8.5	Medidas identificadas.....	155
8.5.1	<i>Precipitadores electrostáticos como filtros - CIEP .....</i>	155
8.5.2	<i>Iniciativas .....</i>	157
8.5.3	<i>Aislante de lana de oveja - Lanarq.....</i>	158
8.5.4	<i>Cicleayque .....</i>	158
8.5.5	<i>Fondos.....</i>	159
8.5.6	<i>Estudio Corporación Ciudades .....</i>	160
8.5.1	<i>Tesis: Propuestas pobreza energética PRC (Ibacache, 2024) .....</i>	161
8.6	Realización de taller virtual con actores claves de la región .....	161
8.6.1	<i>Metodología del taller .....</i>	161
8.6.1	<i>Medidas evaluadas en el Taller por grupos .....</i>	164
8.6.2	<i>Sistematización y aportes del taller .....</i>	167
8.7	Factor emisión-concentración en Coyhaique .....	172

## Lista de Tablas

Tabla 0-1 Inventario de emisiones [ton/año] estimado para la zona saturada de Coyhaique, año 2023 .....	1
Tabla 0-2 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2023 – 2038 [ton/año], zona saturada de Coyhaique .....	2
Tabla 2-1 Actividades abordadas en este informe .....	5
Tabla 3-1 Participantes reunión de inicio .....	7
Tabla 3-2 Cantidad de fuentes fijas en la comuna de Coyhaique.....	9
Tabla 3-3 Factor de planta promedio por tipo de fuente fija.....	9
Tabla 3-4 Consumo de combustible original y corregido [ton/año] .....	10
Tabla 3-5 Factores de emisión de fuentes fijas [kg/ton] .....	11
Tabla 3-6 Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano de la comuna de Coyhaique, año 2021 .....	13
Tabla 3-7 Proyección de población y vivienda en el área urbana de Coyhaique .....	14
Tabla 3-8 Cantidad de artefactos a leña en la comuna de Coyhaique, año 2015 .....	15
Tabla 3-9 Equipos instalados anualmente en Coyhaique en el marco del programa de recambio de calefactores a leña .....	15
Tabla 3-10 Cantidad y distribución de artefactos a leña en Coyhaique, año 2023 .....	16
Tabla 3-11 Homologación Artefactos Leña.....	16
Tabla 3-12 Cuantificación de leña seca por programa en Coyhaique .....	17
Tabla 3-13 Distribución porcentual por tipo de leña, según su calidad .....	17
Tabla 3-14 Distribución porcentual por condiciones de operación .....	17
Tabla 3-15 Densidad leña seca y leña húmeda.....	18
Tabla 3-16 Consumo de leña [ton] en Coyhaique, año 2023 .....	18
Tabla 3-17 Fracción de CN en MP2.5 para artefactos de combustión residencial a leña .....	19
Tabla 3-18 Factores de emisión para combustión de leña y pellet [g/kg].....	19
Tabla 3-19 Homologación clase de quema a tipo de cultivo.....	20
Tabla 3-20 Superficie quemada por tipo de cultivo en zona saturada de Coyhaique, año 2023.	21
Tabla 3-21 Factor de emisión según tipo de cultivo y contaminantes [kg/kg materia quemada]	21
Tabla 3-22 Factor de carga orgánica para el tipo de cultivo [ton/ha] .....	21
Tabla 3-23 Homologación tipo superficie a tipo de bosque.....	23
Tabla 3-24 Superficie quemada por tipo de bosque en área de estudio, año 2023 .....	23
Tabla 3-25 Factor de emisión según tipo de bosque y contaminantes [kg/kg materia quemada] .....	26
Tabla 3-26 Factor de carga orgánica para el tipo de bosque [ton/ha] .....	26
Tabla 3-27 Número de siniestros por tipo de incendio, año 2023 .....	27
Tabla 3-28 Factor de emisión según contaminantes [kg/siniestro] .....	28
Tabla 3-29 Kilómetros recorridos y velocidad promedio para ciudades sin modelo de transporte .....	30
Tabla 3-30 Tamaño parque vehicular de la ciudad de Coyhaique, año 2022.....	30

Tabla 3-31 Kilómetros recorridos al año por tipo de vehículo para la ciudad de Coyhaique, año 2022 .....	31
Tabla 3-32 Cantidad de vehículos que ingresan por Zona Franca para la ciudad de Coyhaique, periodo 2020 – 2023 .....	32
Tabla 3-33 Emisiones generadas por fuentes fijas en la comuna de Coyhaique [ton/año], año 2023 .....	33
Tabla 3-34 Emisiones por combustión de leña y pellet en sector residencial urbano de Coyhaique [ton/año], año 2023 .....	34
Tabla 3-35 Emisiones por quemas agrícolas en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023 .....	36
Tabla 3-36 Emisiones por incendios forestales en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023 .....	37
Tabla 3-37 Emisiones por incendios urbanos en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023 .....	38
Tabla 3-38 Emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Coyhaique [ton/año].....	40
Tabla 3-39 Inventario de emisiones [ton/año] estimado para la zona saturada de Coyhaique, año 2023 .....	41
Tabla 3-40 Inventario de emisiones [ton/año] del AGIES del PDA Coyhaique y su área circundante, año base 2015 .....	43
Tabla 3-41 Referencias utilizadas para la proyección del inventario de emisiones .....	45
Tabla 3-42 Potenciales nuevas fuentes identificadas en el marco del SEIA .....	46
Tabla 3-43 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2023 – 2038 [ton/año]....	47
Tabla 3-44 Proyección de emisiones desagregada por fuentes existentes y potenciales nuevas fuentes, 2023 – 2038 [ton/año].....	48
Tabla 3-45 Proyección de emisiones de MP10 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año] .....	49
Tabla 3-46 Proyección de emisiones de MP2.5 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año] .....	49
Tabla 4-1 Parámetros para la población objetivo del Programa .....	52
Tabla 4-2 Total de recambios de calefactores que contribuyen a la meta del PDA.....	53
Tabla 4-3 Porcentaje de Reducción de Emisiones .....	53
Tabla 4-4 Variación en la reducción de contaminante para las estaciones .....	55
Tabla 4-5 Recambio de tecnología de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda .....	56
Tabla 4-6 Datos recopilados para ingresos hospitalarios .....	57
Tabla 4-7 Evaluación del avance de las medidas del PDA vigente .....	60
Tabla 4-8 Límites de concentración en normas de calidad primaria para MP10 y MP2,5 .....	75
Tabla 4-9 Estadígrafos concentraciones de MP10 [µg/m <sup>3</sup> N] en estación Coyhaique .....	83
Tabla 4-10 Estadígrafos concentraciones de MP2,5 [µg/m <sup>3</sup> N] en estación Coyhaique .....	84
Tabla 4-11 Estadígrafos concentraciones de MP10 [µg/m <sup>3</sup> N] en estación Coyhaique II .....	85
Tabla 4-12 Estadígrafos concentraciones de MP2,5 [µg/m <sup>3</sup> N] en estación Coyhaique II .....	85
Tabla 4-13 Emisiones Cuantificación Leña [ton/año] – Escenario Leña húmeda, año 2023 .....	87
Tabla 4-14 Emisiones Cuantificación Leña [ton/año] – Escenario Leña seca, año 2023 .....	87
Tabla 4-15 Reducción Emisiones Cuantificación Leña [ton/año] .....	87
Tabla 4-16 Distribución de recambios de artefactos a leña [%], periodo 2016-2022 .....	87

Tabla 4-17 Recambios de artefactos a leña, periodo 2019-2022 .....	88
Tabla 4-18 Consumo promedio por artefacto [m <sup>3</sup> /artefacto-año] .....	88
Tabla 4-19 Reducción Emisiones Programa de Recambio, 2019-2022 [ton] .....	88
Tabla 4-20 Cantidad de viviendas acondicionadas por año .....	89
Tabla 4-21 Reducción Emisiones Acondicionamiento - Leña Húmeda.....	89
Tabla 4-22 Reducción Emisiones Acondicionamiento Térmico – Leña Seca .....	89
Tabla 4-23 Reducción Emisiones Acondicionamiento Térmico Ideal .....	90
Tabla 4-24 Itinerario reuniones sectoriales .....	90
Tabla 4-25 Preguntas principales realizadas en reuniones sectoriales .....	91
Tabla 4-26 Recurrencia de aportes por temática .....	92
Tabla 4-27 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Reuniones con servicios – Medidas Existentes .....	93
Tabla 4-28 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Reuniones con servicios – Nuevas Medidas.....	97
Tabla 5-1 Actores relevante en marco del PDA .....	101
Tabla 5-2 Medidas identificadas no establecidas en PDA .....	104
Tabla 5-3 Medidas propuestas definitivas.....	108
Tabla 5-4 Medidas propuestas que poseen costos asociados.....	110
Tabla 5-5 Objetivos, resultados esperados y costo inversión estudios (M1 y M2) .....	111
Tabla 5-6 Costos totales de las medidas M1 y M2, periodo 2023 – 2038.....	112
Tabla 5-7 Objetivos, resultados esperados y costo inversión Campaña GEC (M3) .....	113
Tabla 5-8 Costo Anual Mantención y Renovación Campaña GEC (M3).....	113
Tabla 5-9 Costos total de la medida M3, periodo 2023 – 2038.....	114
Tabla 5-10 Costo inversión por vivienda (M4).....	114
Tabla 5-11 Costo combustibles (M4) .....	115
Tabla 5-12 Consumo leña vivienda sin acondicionar (M4) – Escenario sin medida.....	115
Tabla 5-13 Consumo electricidad vivienda acondicionada (M4) – Escenario con medida .....	115
Tabla 5-14 Costo Operación por vivienda (M4).....	115
Tabla 5-15 Costos total de la medida M4 – Escenario 1, periodo 2023 – 2038 .....	116
Tabla 5-16 Costos total de la medida M4 – Escenario 2, periodo 2023 – 2038 .....	117
Tabla 5-17 Costo unitario por fiscalización según entidad [\$/act] .....	117
Tabla 5-18 Costo de fiscalización M6 [\$/act].....	118
Tabla 5-19 Número de galpones a construir para M6, periodo 2023 – 2038 .....	118
Tabla 5-20 Costos total de la medida M6, periodo 2023 – 2038 .....	119
Tabla 5-21 Costo unitario por fiscalización según entidad [\$/act] .....	119
Tabla 5-22 Costo de fiscalización medidas [\$/act] .....	120
Tabla 5-23 Costos totales de las medidas M8 y M9, periodo 2023 – 2038.....	120
Tabla 5-24 Longitud etapas Red Ciclovías [km] .....	121
Tabla 5-25 Año inicio y final construcción etapas M11 .....	121
Tabla 5-26 Costo inversión y mantención por etapas M11.....	121
Tabla 5-27 Costos total de la medida M11, periodo 2023 – 2038 .....	122
Tabla 5-28 Costo unitario por actividad de fiscalización [CLP/act] .....	123



Tabla 5-29 Reducción de emisiones generada por M4 – Escenario Conservador [ton/año] .....	124
Tabla 5-30 Reducción de emisiones generada por M4 – Escenario Filtro Censo [ton/año] .....	125
Tabla 5-31 Viviendas nuevas por año en Coyhaique y su consumo de leña – Escenario sin medida (M5).....	126
Tabla 5-32 Reducción de emisiones generada por M5 [ton/año] .....	127
Tabla 5-33 Proyección de la distribución por tipo de leña – Escenario con medida (M6) .....	128
Tabla 5-34 Reducción de emisiones generada por M6 [ton/año] .....	128
Tabla 5-35 Reducción de emisiones generada por M8 [ton/año] .....	130
Tabla 5-36 Reducción de emisiones generada por M11 [ton/año] .....	131
Tabla 5-37 Reducción de emisiones generada por M12 [ton/año] .....	132
Tabla 5-38 Estimación de costo-efectividad por medida, periodo 2023-2038 .....	132
Tabla 5-39 Ficha técnica M1 .....	134
Tabla 5-40 Ficha técnica M2 .....	134
Tabla 5-41 Ficha técnica M3 .....	135
Tabla 5-42 Ficha técnica M4 .....	135
Tabla 5-43 Ficha técnica M5 .....	136
Tabla 5-44 Ficha técnica M6 .....	136
Tabla 5-45 Ficha técnica M7 .....	137
Tabla 5-46 Ficha técnica M8 .....	137
Tabla 5-47 Ficha técnica M9 .....	138
Tabla 5-48 Ficha técnica M10 .....	138
Tabla 5-49 Ficha técnica M11 .....	139
Tabla 5-50 Ficha técnica M12 .....	139
Tabla 5-51 Concentración promedio anual de MP2,5 estimada para estación Coyhaique .....	142
Tabla 5-52 Concentración promedio anual de MP2,5 estimada para estación Coyhaique II ....	142
Tabla 8-1 Propiedades de los combustibles .....	149
Tabla 8-2 Homologación de categorías INE a CCF6 .....	149
Tabla 8-3 Participantes del taller .....	161
Tabla 8-4 Estructura general del taller .....	162
Tabla 8-5 Medidas evaluadas por G1: Dendroenergía y Calefacción .....	164
Tabla 8-6 Medidas evaluadas por G2: Vivienda y Ciudad.....	165
Tabla 8-7 Medidas evaluada por G3: Fiscalización .....	166
Tabla 8-8 Medidas evaluadas por G4: Educación .....	167
Tabla 8-9 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Taller .....	168
Tabla 8-10 Inversa de FEC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N-ton MP2,5}$ ].....	172

## Lista de Figuras

Figura 3-1 Delimitación del polígono saturado, dentro de la comuna de Coyhaique.....	6
Figura 3-2 Área de estudio y zona saturada de Coyhaique .....	22

Figura 3-3 Distribución temporal de los incendios forestales en el área de estudio de Coyhaique, periodo 2019 – 2023 ..... 24

Figura 3-4 Distribución espacial de los incendios forestales en el área de estudio de Coyhaique, periodo 2019 – 2023 ..... 25

Figura 3-5 Parque vehicular en circulación en ciudad de Coyhaique, 2022 ..... 29

Figura 3-6 Aporte porcentual de los tipos de fuentes fijas en las emisiones de cada contaminante ..... 34

Figura 3-7 Aporte porcentual de los artefactos en las emisiones de cada contaminante ..... 35

Figura 3-8 Aporte porcentual de leña seca y leña húmeda en las emisiones de cada contaminante ..... 36

Figura 3-9 Aporte porcentual del tipo de cultivo en las emisiones de cada contaminante ..... 37

Figura 3-10 Aporte porcentual del tipo de bosque en las emisiones de cada contaminante ..... 38

Figura 3-11 Aporte porcentual del tipo de incendio urbano en las emisiones de cada contaminante ..... 39

Figura 3-12 Aporte porcentual de los tipos de vehículos en las emisiones de cada contaminante ..... 40

Figura 3-13 Aporte porcentual de los sectores en las emisiones de cada contaminante ..... 41

Figura 3-14 Proyección de emisiones de MP10 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año] ..... 50

Figura 3-15 Proyección de emisiones de MP2.5 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año] ..... 50

Figura 4-1 Serie temporal de la concentración de MP2,5 y MP10 entre 2013-2020 ..... 54

Figura 4-2 Mapa de la ciudad de Coyhaique, Chile, con el número de RTC, año 2016 ..... 56

Figura 4-3 Distribución diaria de las concentraciones horarias de MP2,5 cada 24 horas ..... 57

Figura 4-4 Ubicación de estaciones de calidad del aire del aire de Coyhaique ..... 75

Figura 4-5 Evaluación norma anual para MP10 ..... 77

Figura 4-6 Evaluación norma 24 horas para MP10 ..... 78

Figura 4-7 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2023 ..... 78

Figura 4-8 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10 por año ..... 79

Figura 4-9 Evaluación norma anual para MP2,5 ..... 80

Figura 4-10 Evaluación norma 24 horas para MP2,5 ..... 81

Figura 4-11 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2023 ..... 81

Figura 4-12 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5 por año ..... 82

Figura 4-13 Concentración de MP10 en estación de monitoreo Coyhaique ..... 83

Figura 4-14 Concentración de MP2,5 en estación de monitoreo Coyhaique ..... 83

Figura 4-15 Concentración de MP10 en estación de monitoreo Coyhaique II ..... 84

Figura 4-16 Concentración de MP2,5 en estación de monitoreo Coyhaique II ..... 85

Figura 5-1 Proyección de emisiones de MP2,5 por escenario de evaluación de medidas propuestas ..... 141

Figura 5-2 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 1, periodo 2023-2038 ..... 143

Figura 5-3 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 2, periodo 2023-2038 ..... 143

Figura 5-4 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 3, periodo 2023-2038 ..... 144

Figura 5-5 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 4, periodo 2023-2038 ..... 144

Figura 8-1 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2018 ..... 150

Figura 8-2 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2019 .....	151
Figura 8-3 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2020 .....	151
Figura 8-4 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2021 .....	152
Figura 8-5 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2022 .....	152
Figura 8-6 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2018 .....	153
Figura 8-7 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2019 .....	153
Figura 8-8 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2020 .....	154
Figura 8-9 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2021 .....	154
Figura 8-10 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2022 .....	155
Figura 8-11 Precipitador electrostático instalado en vivienda .....	156
Figura 8-12 Tabla de Factibilidad (Extracto) para G2: Vivienda y Ciudad.....	163
Figura 8-13 Gráfico de aporte a la reducción de emisiones para G2: Vivienda y Ciudad .....	164

## 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
COI:	Costo de Tratamiento Médico, por sus siglas en inglés “Cost of illness”
DAP:	Disposición a Pagar
FE:	Factores de Emisión
FEC:	Factores Emisión-Concentración
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IPC:	Ingreso Per Cápita
PDA:	Plan de Descontaminación Ambiental
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SIC:	Sistema Interconectado Central
SING:	Sistema Interconectado del Norte Grande
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 ( $10^{-3}$ )
$\mu$ :	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<sup>2</sup>: Metro cuadrado m<sup>2</sup> (Superficie o área)

m<sup>3</sup>: Metro cúbico (Volumen)

m/s: Metro por segundo (Velocidad)

m/s<sup>2</sup>: 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 entrega final del estudio que revisa el Plan de Descontaminación de Coyhaique y genera antecedentes para su actualización. En la Tabla 0-1 se presenta el inventario de emisiones actualizado, desagregado por tipo de fuente emisora, para 2023 en la zona saturada de Coyhaique. Se observa la predominancia de las emisiones de combustión residencial de leña y pellet para todos los contaminantes exceptuando NOx y SOx, en donde la fuente principal para estos contaminantes corresponde a fuentes fijas.

**Tabla 0-1 Inventario de emisiones [ton/año] estimado para la zona saturada de Coyhaique, año 2023**

Sector	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
<b>Fuentes fijas</b>	56,49	56,41	56,34	801,38	47,35	166,82	-
<b>Combustión residencial de leña y pellet</b>	2.476,47	2.476,47	2.379,43	246,02	18,31	63.709,65	238,33
<b>Quemas agrícolas</b>	0,01	0,01	0,009	0,006	0,002	0,08	0,001
<b>Incendios forestales</b>	2,E-04	4,E-03	3,E-03	3,E-04	1,E-03	-	9,E-04
<b>Incendios urbanos</b>	8,92	8,92	8,92	0,05	-	1,94	-
<b>Fuentes móviles</b>	353,63	226,36	71,61	248,14	1,03	828,53	-
<b>Total</b>	<b>2.895,52</b>	<b>2.768,17</b>	<b>2.516,31</b>	<b>1.295,59</b>	<b>66,69</b>	<b>64.707,04</b>	<b>238,34</b>

Fuente: Elaboración propia

El inventario de emisiones actualizado para 2023 se comparó con el de 2015 para analizar las variaciones. Se evidencia una reducción en las emisiones de la combustión residencial de leña y pellet, de un 62% para material particulado, 71% en el caso de NOx y 48% en el caso de SOx. Esta reducción se explica por un menor consumo de leña y al uso de fuentes de energía complementarias. Las emisiones totales de MP generadas por quemas e incendios aumentaron debido a la inclusión de incendios urbanos, que no fueron consideradas en el estudio anterior. También se observó un incremento en las emisiones de móviles, excepto NOx y SOx, contaminantes para los cuales las emisiones disminuyeron un 46% y 66%, respectivamente, entre inventarios. En el caso de fuentes fijas, las emisiones de material particulado estimadas en el inventario del presente estudio son, en promedio, 6,5 veces mayores a las de 2015.

Se realiza una proyección a 15 años del inventario de emisiones para los distintos contaminantes, a partir de 2023. En la Tabla 0-2 se presenta la proyección de emisiones totales para el periodo 2023-2038, en donde se observa un aumento gradual y sostenido de las emisiones de todos los contaminantes. Además, al analizar la proyección desagregada por sector, se observa que la combustión residencial de leña y pellet seguirá predominando en las emisiones en Coyhaique.

**Tabla 0-2 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2023 – 2038 [ton/año], zona saturada de Coyhaique**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	CO	CN
2023	2.896	2.768	2.516	1.296	67	64.707	238
2024	2.905	2.778	2.525	1.318	68	64.895	239
2025	2.914	2.787	2.533	1.343	69	65.061	240
2026	2.922	2.794	2.540	1.362	70	65.212	240
2027	2.929	2.801	2.546	1.380	72	65.347	241
2028	2.935	2.806	2.551	1.399	73	65.446	241
2029	2.940	2.811	2.555	1.418	74	65.535	241
2030	2.944	2.815	2.559	1.437	75	65.611	242
2031	2.947	2.818	2.562	1.455	76	65.654	242
2032	2.949	2.820	2.564	1.472	77	65.671	242
2033	2.951	2.821	2.566	1.489	78	65.697	242
2034	2.952	2.822	2.566	1.505	79	65.687	242
2035	2.952	2.822	2.566	1.521	80	65.664	242
2036	2.953	2.823	2.568	1.536	81	65.675	242
2037	2.955	2.825	2.569	1.551	82	65.685	242
2038	2.956	2.826	2.570	1.566	82	65.695	242

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se realizó un análisis técnico de la implementación de las medidas del PDA vigente, para lo cual se sistematizó la información de los Informes de Estado de Avance del PDA. De forma complementaria, se analizó la evolución de la calidad del aire por MP10 y MP2,5 en Coyhaique para el periodo 2018-2023. Se observó que, a pesar de que Coyhaique continúa saturado por dichos contaminantes, existe una tendencia a la disminución de las concentraciones ambientales registradas, lo que sugiere que la implementación del PDA ha generado una disminución de las emisiones.

Adicionalmente, se realizaron reuniones con los servicios que poseen medidas comprometidas en el PDA vigente, y se sistematizaron los aportes recibidos. En particular, se destaca como tema recurrente la necesidad de mejorar la fiscalización para que la implementación de las medidas sea efectiva. Además, de estas reuniones surgen nuevas medidas a considerar, junto con la identificación de nuevas medidas por parte del equipo consultor. A partir de la evaluación de las posibles nuevas medidas realizada por los servicios en un taller virtual, más una evaluación experta y una revisión con la contraparte técnica, se proponen 12 medidas de reducción de emisiones, las cuales se presentan en la Tabla 5-3.

Se evalúa la costo-efectividad de las medidas propuestas para un horizonte de 15 años, considerando como año base el 2023. Los costos se evalúan para las medidas que en la práctica implicaría que el Estado incurra en un costo, así como se estima la reducción de emisiones que generaría la implementación de las medidas propuestas que poseen una reducción de emisiones directamente cuantificable. El análisis de la costo-efectividad de las medidas propuestas sugiere que se deben priorizar las medidas M6-Fomento de leña seca y M8-Prohibición de uso de leña en GEC, dado que poseen un bajo costo por tonelada reducida de material particulado.

## 1. Antecedentes y justificación del estudio

A partir del año 2007 se cuenta con una estación de monitoreo con representatividad poblacional para Coyhaique. Mediante el D.S. N° 33, de 2012, del Ministerio de Medio Ambiente (en adelante MMA), se declara como zona saturada a Coyhaique y su zona circundante por Norma Diaria y Anual para MP10. El 28 de marzo de 2016, se publica en el Diario Oficial el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP10, para Coyhaique y su zona circundante, el cual comenzó a regir una vez publicado.

Mediante el D.S. N° 15 de 2016 del MMA, se declara a Coyhaique y su área circundante como zona saturada por Material Particulado fino MP2,5 como concentración de 24 horas, iniciando con ellos posteriormente la elaboración del Plan por MP2,5 concentración diaria y la revisión del plan por MP10.

Es así como mediante el D.S. N° 7 de 2018 del MMA, publicado en el diario oficial el 17 de julio de 2019, se aprueba el Plan de Descontaminación atmosférica para Coyhaique y su zona circundante por MP10 y MP2,5 concentración 24 horas.

El artículo 50 del PDA, señala que "Con el propósito de complementar, en lo que sea necesario, los instrumentos y medidas, a fin de cumplir las metas de reducción de emisiones planteadas, se establece para la revisión y actualización del presente Plan un plazo de al menos 5 años desde la publicación del mismo en el Diario Oficial."

En este sentido y dado que, en el año 2024 se cumplen los 5 años de vigencia de este instrumento de gestión ambiental, se hace necesario generar los insumos técnicos para evaluar, actualizar y ajustar el plan, proponiendo nuevas medidas que permitan cumplir con las metas establecidas y recuperar la calidad del aire en Coyhaique y su zona circundante.



## 2. Objetivos del estudio

### 2.1 Objetivo general

Revisión y análisis del Plan de descontaminación atmosférica de Coyhaique y su zona circundante y generación de insumos para su actualización.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Actualizar el inventario de emisiones, año base 2023 y una proyección a 15 años, para los contaminantes MP10, MP2,5, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y carbono negro, para la zona saturada propuesta.
- b) Realizar un análisis técnico de implementación de las medidas establecidas en el PDA vigente (Decreto Supremo N° 7/2018 del MMA) y su efecto en la reducción de la contaminación atmosférica.
- c) Proponer nuevas medidas de reducción de emisiones para MP10 y MP2,5, las cuales deberán tener un análisis de costo para la actualización del plan, considerando un horizonte de evaluación de 15 años.
- d) Presentación de los resultados del estudio.

### 2.3 Alcance de este informe

El presente informe contiene el desarrollo de todas las actividades asociadas al cumplimiento del objetivo específico a) y b), y la actividad c.1) del objetivo específico c), en los términos descritos en las Bases Técnicas. En la Tabla 2-1 se presenta la sección en la cual se aborda cada actividad.

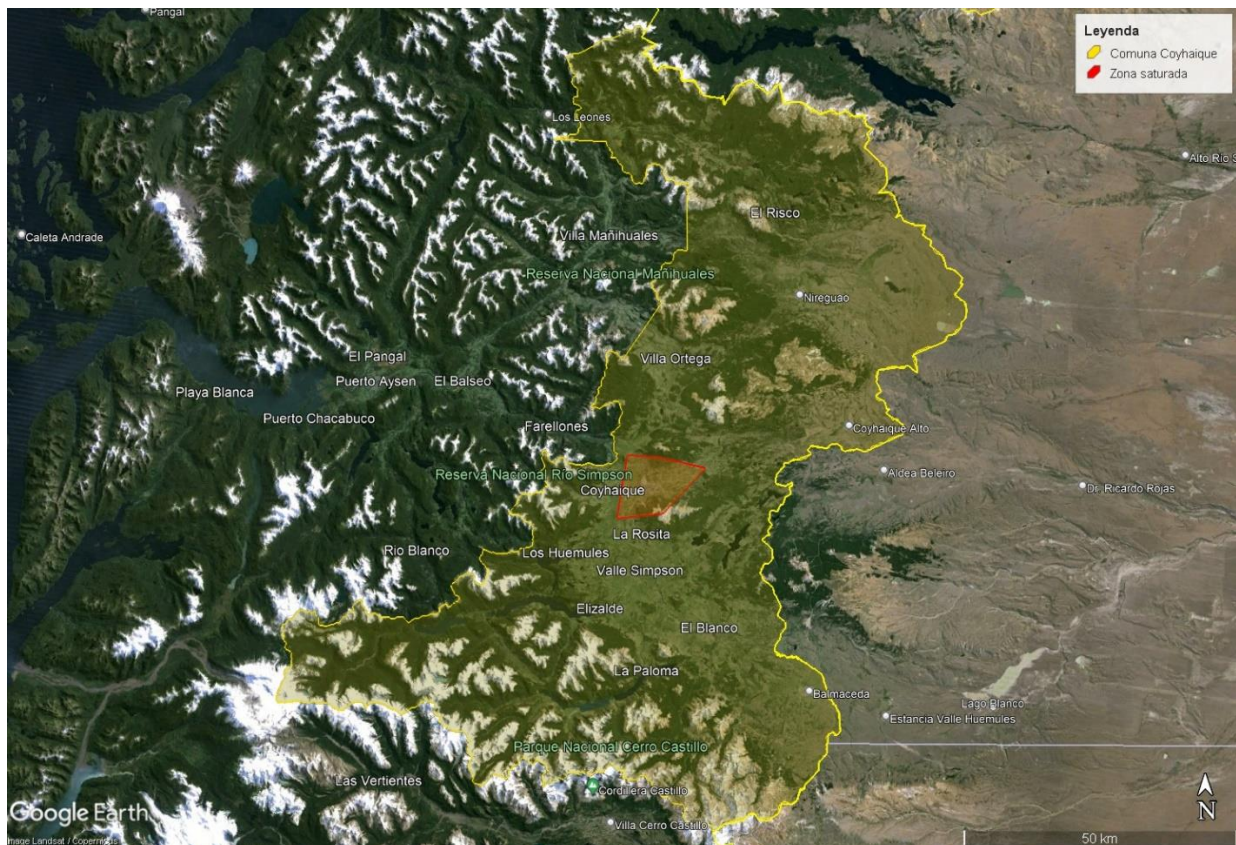
**Tabla 2-1 Actividades abordadas en este informe**

<b>Actividad del objetivo específico</b>	<b>Sección del Informe</b>
a.0) Reunión de inicio y presentación del plan de trabajo	Sección 3.1
a.1) Proponer y desarrollar una metodología para la estimación de emisiones	Sección 3.2
a.2) Elaborar un inventario de emisiones, año base 2023	Sección 3.3
a.3) Elaborar una proyección de emisiones para un horizonte de evaluación de 15 años	Sección 3.4
b.1) Identificar, analizar y evaluar técnicamente la efectividad e implementación de las principales medidas y programas estratégicos del PDA vigente	Sección 4.1
b.2) Realizar reuniones sectoriales con los servicios que tienen medidas comprometidas en el PDA vigente	Sección 4.2
c.1) Levantar un mapa de actores relevantes y acciones que se hayan implementado o se estén implementando en Coyhaique	Sección 5.1 y 5.2
c.2) Proponer nuevas medidas de reducción de emisiones para las fuentes existentes y futuras	Sección 5.3
c.3) Evaluar la costo-efectividad de cada medida y del conjunto de medidas propuestas, con un horizonte de 15 años	Sección 5.4
c.4) Realizar al menos un taller virtual o presencial con actores claves de la región	Sección 8.6
c.5) Elaborar una ficha por cada medida evaluada	Sección 5.5

Fuente: Elaboración propia

### 3. Actualización del inventario de emisiones, año base 2023 y una proyección a 15 años, para los contaminantes MP10, MP2,5, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y carbono negro, para la zona saturada propuesta

En la presente sección se detallará la metodología y resultados de la actualización del inventario de emisiones, con año base 2023, para la zona saturada delimitada por el PDA de Coyhaique y su zona circundante en el D.S. N° 7 de 2018 del MMA. En la Figura 3-1 se muestra el polígono saturado (en rojo) dentro de la comuna de Coyhaique (en amarillo). Esto se debe tener en cuenta para la elaboración del inventario de emisiones y el análisis de los resultados, ya que se considerarán, dentro de lo que la información disponible permita, únicamente las fuentes emisoras que se encuentren ubicadas dentro de la zona saturada.



**Figura 3-1 Delimitación del polígono saturado, dentro de la comuna de Coyhaique**

Fuente: Elaboración propia en base a D.S. N° 7 de 2018 del MMA

### 3.1 Reunión de inicio con la contraparte técnica

Para dar inicio al estudio, se realizó una reunión de inicio el día 19 de junio de 2024 vía Microsoft Teams, cuyos participantes se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 3-1 Participantes reunión de inicio**

Participante	Equipo
Paulina Guzmán	Profesional Área Calidad del Aire y Cambio Climático, SEREMI del Medio Ambiente de la región de Aysén
Jimena Silva	Encargada Área Calidad del Aire y Cambio Climático, SEREMI del Medio Ambiente de la región de Aysén
Luis Cifuentes	GreenLab Dictuc
Viviana Cerda Gho	GreenLab Dictuc
Rocío Herrera	GreenLab Dictuc
Rosario Palacios	Socióloga, equipo GreenLab Dictuc

Fuente: Elaboración propia

En esta reunión se abordaron los siguientes aspectos:

- Presentación del equipo consultor y la contraparte técnica.
- Confirmación de fechas de entrega de productos.
- Revisión de las Bases Técnicas de los Términos de Referencia.
- Ajuste de los contenidos de los informes y, por consiguiente, del cronograma de trabajo.
- Información que será enviada por la contraparte técnica.
- Coordinación de día y horario de las reuniones periódicas del estudio.

Se elaboró una minuta de la reunión sostenida, la que fue revisada por la contraparte para su versión definitiva.

### 3.2 Metodología para la estimación de emisiones

En la presente sección se detalla la metodología para la estimación de emisiones utilizada para la elaboración del inventario. En términos generales, esta seguirá las recomendaciones del estudio "Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones", elaborado por GreenLab (GreenLabUC, 2016; MMA, 2017b).

Un inventario de emisiones contiene diversos sectores y fuentes emisoras con un determinado nivel de actividad y factor de emisión. La ecuación general para la estimación de emisiones es:

**Ecuación 3-1 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 (%)<sup>1</sup>

La metodología específica para la estimación de emisiones se distingue según el tipo de fuente emisora. Estas son detalladas a continuación.

### 3.2.1 Fuentes fijas

La metodología utilizada para la estimación de emisiones provenientes de fuentes fijas sigue lo establecido en el estudio “Manual para desarrollo de inventarios”<sup>2</sup> (MMA, 2017c), y la “Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales” (MMA, 2019b). Las emisiones generadas por fuentes fijas se pueden estimar mediante la Ecuación 3-1.

Las fuentes fijas incluidas en el inventario de emisiones, y su respectiva información, se obtienen a partir de las declaraciones que los titulares de fuentes fijas deben realizar de manera anual para dar cumplimiento a lo exigido en el D.S. N° 138/2005 del Ministerio de Salud, a través del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).

Cabe destacar que en la base de datos del RETC proporcionada, no se registra información de sistemas de abatimiento. Esto debe tenerse en consideración al analizar las emisiones totales.

#### 3.2.1.1 Niveles de Actividad

Los niveles de actividad corresponden a los consumos de combustible, tanto primario como secundario, de las fuentes fijas existentes. Estos datos se obtuvieron a partir de la información reportada por los titulares en el RETC para el año 2023, información que fue enviada por la División de Información y Economía Ambiental del MMA. **Las fuentes consideradas son las ubicadas dentro de la comuna de Coyhaique**, sin ser posible filtrar únicamente aquellas que se encuentran dentro de la zona saturada, ya que el registro enviado no contaba con información sobre su ubicación georreferenciada. En total, se identificaron 160 fuentes distintas, correspondientes a calderas de agua caliente, grupos electrógenos u hornos de panadería, tal como se presenta en la Tabla 3-2.

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> [http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=399874fc-f2d3-466f-9460-a3eb9d76a30f&fname=Libro\\_Manual%20de%20MMA\\_def\\_online.pdf&access-public](http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=399874fc-f2d3-466f-9460-a3eb9d76a30f&fname=Libro_Manual%20de%20MMA_def_online.pdf&access-public)

**Tabla 3-2 Cantidad de fuentes fijas en la comuna de Coyhaique**

Tipo de fuente	Cantidad de fuentes
Caldera Agua Caliente	88
Grupo Electrógeno	70
Horno de Panadería	2
<b>Total</b>	<b>160</b>

Fuente: Elaboración propia en base a RETC 2023

Los consumos se normalizaron a ton/año de forma que facilite su revisión y análisis. Para esto, en el caso de consumos reportados en unidades de volumen, se utilizan las densidades de los combustibles, indicadas en la Tabla 8-1 del Anexo 8.1.

Se realizó una revisión de la base de datos original del RETC con el objetivo de corregir errores e identificar datos faltantes. Esta revisión permitió observar que existe un grado de incompletitud e inconsistencia relevante. A continuación, se detallan las principales correcciones y completitud de datos que se realizó sobre la base de datos original.

### Completitud de datos faltantes de consumo de combustible

Se identificaron 22 fuentes que no registran consumo de combustible primario y/o secundario. En estos casos, se realizó una estimación utilizando un factor de planta promedio<sup>3</sup> por tipo de fuente, calculado con los datos de las fuentes que sí cuentan con información tanto de consumo real como consumo nominal. Estos fueron calculados de acuerdo a la Ecuación 3-2, que consiste en el consumo anual de combustible de cada fuente dividido por el consumo nominal (consumo máximo), ambos normalizados a la unidad de medida de toneladas. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3-3.

#### Ecuación 3-2 Cálculo factor de planta

$$Factor\ de\ planta = \frac{Consumo\ \left(\frac{ton}{año}\right)}{Consumo\ nominal\ \left(\frac{ton}{año}\right)}$$

**Tabla 3-3 Factor de planta promedio por tipo de fuente fija**

Tipo de fuente	FP Promedio	Cantidad de fuentes
Caldera Agua Caliente	0,15	74
Grupo Electrógeno	0,05	64
Horno de Panadería	0,41	2

Fuente: Elaboración propia

A partir del factor de planta promedio y el consumo nominal, se realizó una estimación del consumo de combustible faltante, como se presenta a continuación:

<sup>3</sup> La estimación del factor de planta promedio considera solo las fuentes con factores de planta menores a 1.

### Ecuación 3-3 Corrección del consumo de combustible nulo

$$\text{Consumo estimado} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] = FP_{\text{promedio}} [\%] \cdot \text{Consumo nominal} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]$$

#### Corrección de datos de consumo de combustible

Se identificaron ciertos errores en los datos originales que pueden deberse a errores de digitación en los valores o errores en las unidades de medida declaradas. Un primer error relevante que destacar es la unidad de medida del consumo de combustible, la cual se encuentra expresada en unidades por hora. Sin embargo, la revisión de las magnitudes reflejó que los consumos realmente están reportados en un periodo de tiempo anual, a diferencia del consumo nominal que sí se encuentra en unidades por hora. Por lo tanto, se corrigió la unidad de medida del consumo de combustible y luego se estandarizó a ton/año, utilizando las densidades de los combustibles y las conversiones correspondientes, mientras que para el consumo nominal se realizaron las transformaciones correspondientes para estandarizarlo a ton/h.

Por otro lado, el factor de planta, estimado a partir de la Ecuación 3-2 para cada fuente, debiese ser un número entre 0 y 1, ya que la energía del consumo anual no debiese sobrepasar la energía máxima posible. Para el caso de las fuentes cuyo factor de planta calculado fuese mayor a 1, se realizó un ajuste del consumo reportado: se utilizó el factor de planta promedio tipo de fuente estimado, y se corrigió mediante la Ecuación 3-4. Cabe destacar que esta corrección tiene asociado el supuesto de que el consumo nominal está correcto, por lo que se corrige únicamente el consumo de combustible.

### Ecuación 3-4 Corrección del consumo de combustible

$$\text{Consumo corregido} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] = \frac{FP_{\text{promedio}}}{FP_{\text{fuente}}} \cdot \text{Consumo de combustible} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]$$

Finalmente, a partir de las correcciones anteriores se obtienen los niveles de actividad a utilizar en la estimación de las emisiones de fuentes fijas. En la Tabla 3-4 se presentan los niveles de actividad original y corregido para cada tipo de fuente y su combustible asociado.

**Tabla 3-4 Consumo de combustible original y corregido [ton/año]**

Tipo Fuente	Combustible	Consumo [ton/año]	Consumo corregido [ton/año]
Caldera Agua Caliente	Biomasa Combustible	85,92	139,25
	Gas de Cañería	41,08	9,63
	Gas Licuado de Petróleo	215.931,01	18.287,28
	Gas Natural	-	21,48
	Petróleo N 2 (Diesel)	484,38	566,97
Grupo Electrónico	Bencina	0,04	0,04
	Petróleo N 2 (Diesel)	8.227,43	8.354,76
Horno de Panadería	Gas Licuado de Petróleo	50,40	50,40

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2 Factores de emisión

Los factores de emisión dependen del CCF8 asociado a los diferentes tipos de fuentes y su combustible utilizado. Estos fueron compilados a partir de la “Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales” (MMA, 2019a), y fueron expresados en kg/ton. Para la normalización de las unidades de medida de los factores, fue necesario utilizar las propiedades de densidad y poder calorífico de los combustibles, indicadas en la Tabla 8-1 del Anexo 8.1. El detalle de los factores de emisión recopilados se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-FE\_CCF8\_Fijas.xlsx”. En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión utilizados para cada tipo de fuente.

**Tabla 3-5 Factores de emisión de fuentes fijas [kg/ton]**

Tipo Fuente	Combustible	CCF8	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	CO
Caldera Agua Caliente	Biomasa Combustible	10300908	2,18	2,27	1,95	3,08	0,16	3,78
	Gas de Cañería	10301001	164,60	163,97	163,97	2.365,00	0,21	331,10
	Gas de Cañería	10301002	142,85	142,85	142,85	2.207,33	0,24	299,57
	Gas Licuado de Petróleo	10300501	0,72	0,52	0,46	5,23	0,01	1,09
	Gas Licuado de Petróleo	10301001	0,23	0,23	0,23	3,27	0,00	0,46
	Gas Licuado de Petróleo	10301002	0,20	0,20	0,20	3,05	0,00	0,41
	Gas Natural	10300603	0,16	0,16	0,16	5,90	0,01	1,77
	Kerosene	10300501	0,49	0,35	0,32	3,55	0,01	0,74
	Petróleo N 2 (Diesel)	10300501	0,47	0,34	0,30	3,42	0,01	0,71
Grupo Electrónico	Bencina	20300301	2,07	2,07	2,07	33,65	1,74	1.296,75
	Petróleo N 2 (Diesel)	20300101	6,06	6,06	6,06	86,16	5,66	18,54
Horno de Panadería	Gas Licuado de Petróleo	10301001	0,23	0,23	0,23	3,27	0,00	0,46

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Combustión residencial de leña y pellet

La metodología para la estimación de las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña y pellet a utilizar se desarrolla de acuerdo a la revisión de diferentes fuentes de información, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas (MMA, 2017b)
- Actualización Inventario de Emisiones para la zona saturada de Coyhaique (MMA, 2017a)
- Estimación de emisiones de fuentes difusas para la generación del décimo sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC (GreenLab Dictuc, 2022)
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017 (SICAM, 2018)
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2020 (SICAM, 2020)



De acuerdo al Manual de inventarios de emisiones (MMA, 2017b) los principales factores que influyen en las emisiones de la combustión de leña son las características de la leña (contenido de humedad de esta), el equipo de combustión utilizado (diferentes equipos poseen diferentes eficiencias de calefacción y diferentes niveles de emisión) y las condiciones de operación (buena o mala operación, determinada por el “tiraje” y carga de la cámara de combustión), por lo que se utilizan factores de emisión y niveles de actividad segregados en dichos niveles de información.

Por lo tanto, la metodología a seguir se resume en la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-5 Estimación de emisiones de combustión residencial de leña**

$$E_i = \sum_j \sum_k \sum_l FE_{ijkl} * NA_{jkl}$$

Donde:

$E_i$ : Emisiones del contaminante  $i$  [t/año]

$FE_{ijkl}$ : Factor de emisión del contaminante  $i$  para un artefacto de tipo  $j$  que utiliza leña de tipo  $k$  operado de manera  $l$  [t/kg de leña]

$NA_{jkl}$ : Nivel de actividad de artefacto de tipo  $j$  que utiliza leña de tipo  $k$  operado de manera  $l$  [kg de leña/año]

Cabe destacar que, para estimar las emisiones generadas por combustión residencial de pellet, el nivel de actividad y factor de emisión no se desagrega por tipo de leña y tipo de operación.

A continuación, se presenta el detalle de los niveles de actividad y factores de emisión utilizados.

### 3.2.2.1 Niveles de Actividad

De acuerdo a lo presentado en el Manual de inventarios de emisiones (MMA, 2017b), las variables a considerar para estimar el nivel de actividad de la combustión residencial de leña son las siguientes:

- Consumo promedio de leña por vivienda
- Cantidad y distribución porcentual de cada tipo de artefacto a leña
- Proporción de uso de leña seca o húmeda según tipo de artefacto
- Condiciones de operación (incluye el control del ingreso del aire para la combustión, es decir, el tiraje-abierto, medio, cerrado)

La principal fuente de información utilizada para la estimación del nivel de actividad corresponde al estudio “Consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén” realizado por el Instituto Forestal (INFOR) (Reyes et al., 2021). Este estudio se elaboró mediante encuestas distribuidas en ciudades estratificadas por tamaño, y presenta el consumo de leña (m<sup>3</sup> sólidos/año), porcentaje de penetración de la leña por comuna y distribución de artefactos a leña por comuna, desagregado en sectores residenciales urbanos y rurales. En particular, dado que se pretende calcular las emisiones generadas únicamente en la zona saturada de Coyhaique, y no a nivel comunal, se utilizan los datos correspondientes al sector residencial urbano.

De esta forma, en la Tabla 3-6 se presenta el consumo y composición por especie de leña en el sector residencial urbano de Coyhaique, en donde se estima un consumo total de 160.690 m<sup>3</sup> sólidos/año para el año 2021. Utilizando una conversión de  $0,64 \frac{m^3 \text{ sólido}}{m^3 \text{ estéreo}}$  (CDT, 2015), se obtiene un total de 251.078 m<sup>3</sup> estéreo.

**Tabla 3-6 Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano de la comuna de Coyhaique, año 2021**

Especie	Consumo [m <sup>3</sup> sólidos/año]
Lenga	117.304
Ñirre	20.890
Coigüe	-
Tepa	-
Tepú	-
Otras nativas	-
Pino	1.607
Otras exóticas	-
No sabe	20.890
<b>Total</b>	<b>160.690</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (Reyes et al., 2021) – Cuadro 3

Para extrapolar el consumo de leña desde el año 2021 al año 2023, se sigue lo presentado en el estudio “Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera” (CDT, 2015). En particular, el consumo de leña para 2023 se estima mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 3-6 Extrapolación del consumo de leña**

$$Consumo_{2023} = Consumo_{2021} * NV * FP$$

Donde:

El subíndice *i* indica a cada una de las comunas

*Consumo*<sub>2023</sub>: Consumo de leña del año 2023 [m<sup>3</sup> estéreo/año]

*Consumo*<sub>2021</sub>: Consumo de leña del año 2021 [m<sup>3</sup> estéreo/año]

*NV*: Factor de cambio del número de viviendas

*FP*: Factor de penetración de la leña

De esta forma, asumiendo que los demás factores se mantienen constantes entre un año y otro, por lo que no afectarían el consumo de leña, la variación del consumo de leña entre 2021 y 2023 está determinado por los siguientes parámetros: número de viviendas en área urbana de Coyhaique (*NV*) y factor de penetración de la leña en Coyhaique (*FP*).

El factor de cambio del número de viviendas se estima a partir de la población del área urbana de Coyhaique, obtenido del CENSO 2017.

Para estimar el número de viviendas del año 2023, se utilizan las proyecciones de población para el año 2021 y 2023 a partir del CENSO 2017, considerando únicamente el área urbana de Coyhaique, asumiendo que el número de viviendas aumenta en la misma proporción que la población de esta. Esto se presenta en la Tabla 3-7.

**Tabla 3-7 Proyección de población y vivienda en el área urbana de Coyhaique**

Año	Población área urbana	Variación anual población [%]	Viviendas área urbana
2017	52.344	0,00%	18.991
2018	52.763	0,80%	19.143
2019	53.162	0,76%	19.288
2020	53.543	0,72%	19.426
2021	53.817	0,51%	19.525
2022	54.025	0,39%	19.600
2023	54.230	0,38%	19.674
2024	54.385	0,29%	19.730
2025	54.519	0,25%	19.779
2026	54.643	0,23%	19.824
2027	54.754	0,20%	19.864
2028	54.835	0,15%	19.893
2029	54.908	0,13%	19.919
2030	54.970	0,11%	19.941
2031	55.004	0,06%	19.953
2032	55.016	0,02%	19.957
2033	55.035	0,03%	19.964
2034	55.023	-0,02%	19.960
2035	55.000	-0,04%	19.952

Fuente: Elaboración propia a partir de CENSO 2017

A partir de lo anterior, el factor de cambio se estima como el cociente entre el número de viviendas de 2023 y el número de viviendas de 2021, obteniéndose un valor de 1,01. Por otro lado, el factor de penetración de leña se asume igual a 1, basándose en el supuesto de que el porcentaje de penetración de la leña en Coyhaique no ha variado significativamente entre 2021 y 2023. Este supuesto se sostiene a partir de la revisión de la información del porcentaje de viviendas que consumen leña en Coyhaique estimado por el INFOR hasta el año 2019<sup>4</sup>, en donde se puede notar que dicho valor se mantiene para el área urbana entre 2013 y 2019.

Considerando lo anterior, mediante la Ecuación 3-6 se obtiene un **consumo total de leña para 2023 de 252.994 m<sup>3</sup> estéreo**. Según la Ecuación 3-5, el consumo de leña debe desagregarse por tipo de leña (según contenido de humedad), tipo de artefacto y condiciones de operación. A continuación, se detalla la metodología seguida en cada caso.

<sup>4</sup> Reporte disponible en:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojoiN2JmNTVmZTAAtNjRhYy00NmE4LWl15NzktYmFIYWExMTAxODUwIiwidCI6IjcwZTI3NDhjLTAzN2MtNDIiZi05N2RkLTl0ODAxYTc2ZmFIYSlmMiOjR9&pageName=ReportSection>

### Distribución tecnológica de los artefactos a leña

Para distribuir el consumo total de leña por tipo de artefacto, se utiliza la información presentada en el estudio “Caracterización de artefactos de calefacción residencial” (MORI, 2015), en donde se estima la cantidad de artefactos a leña en la comuna de Coyhaique a través de la realización de entrevistas con una muestra representativa. En la Tabla 3-8 se presenta la cantidad de artefactos a leña contabilizados en el estudio para la comuna de Coyhaique.

**Tabla 3-8 Cantidad de artefactos a leña en la comuna de Coyhaique, año 2015**

Tipo Artefacto	Cantidad
Cocina a leña	13.116
Combustión Lenta S/T	12.804
Combustión Lenta C/T	6.402
Salamandra y hechizo	2.133
<b>Total</b>	<b>34.455</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (MORI, 2015)

Debido a la antigüedad de los datos presentados anteriormente, se incorporó la información de los recambios de calefactores a leña realizados en Coyhaique hasta 2022, entregada por la contraparte técnica. La Tabla 3-9 presenta la cantidad de equipos instalados en Coyhaique por año en el marco del programa de recambio de calefactores a leña. Debido a que no se cuenta con información respecto al tipo de artefacto recambiado, por criterio conservador se decide tomar el siguiente supuesto:

- Los artefactos a leña recambiados corresponden a (1) combustión lenta C/T, (2) combustión lenta S/T, dado que son los artefactos que poseen un menor factor de emisión y, por consiguiente, el recambio de estos corresponde al escenario menos optimista respecto a la reducción de emisiones que generan.

**Tabla 3-9 Equipos instalados anualmente en Coyhaique en el marco del programa de recambio de calefactores a leña**

Equipo instalado	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gas	-	18	51	-	-	-	-
Eléctrico	-	-	3	-	-	116	78
Leña	500	-	-	-	-	-	-
Kerosene	440	987	607	412	187	531	-
Pellet	95	685	487	1.321	1.220	1.140	256
<b>Total por año</b>	<b>1.035</b>	<b>1.690</b>	<b>1.148</b>	<b>1.733</b>	<b>1.407</b>	<b>1.787</b>	<b>334</b>
<b>Total acumulado</b>	<b>1.035</b>	<b>2.725</b>	<b>3.873</b>	<b>5.606</b>	<b>7.013</b>	<b>8.800</b>	<b>9.134</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información enviada por contraparte técnica

A partir de lo anterior, en la Tabla 3-10 se presenta la cantidad y distribución de artefactos a leña estimada para el año 2023 en Coyhaique, la cual se utilizará para desagregar el consumo total de leña.

**Tabla 3-10 Cantidad y distribución de artefactos a leña en Coyhaique, año 2023**

Tipo de artefacto	Cantidad de artefactos	Distribución porcentual
Cocina a leña	13.116	52%
Combustión Lenta S/T	10.072	40%
Combustión Lenta C/T	0	0%
Salamandra y hechizo	2.133	8%
<b>Total</b>	<b>25.321</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

Dado que los artefactos considerados en el estudio (MORI, 2015), no coinciden con los artefactos con factor de emisión identificado (ver Tabla 3-18), el equipo consultor realizó una homologación entre ambos. La Tabla 3-11 presenta esta homologación.

**Tabla 3-11 Homologación Artefactos Leña**

Tipo artefacto MORI	Tipo artefacto asignado
Cocina a leña	Cocina a Leña A
Combustión Lenta S/T	Combustión Simple
Combustión Lenta C/T	Doble Cámara Básica
Salamandra y hechizo	Salamandra

Fuente: Elaboración propia

### Distribución según calidad de leña

Para determinar la distribución del consumo de leña según su calidad, la cual se desagrega en leña seca y leña húmeda, se utiliza la información elaborada y enviada por la Seremi de Energía a través de la contraparte técnica.

El artículo 6 del PDA actual establece que, para aumentar en forma gradual la oferta de leña seca, se debe “crear un catastro de comerciantes de leña que realice la actividad dentro de la zona sujeta al Plan, el cual será difundido a la ciudadanía con información relevante para el consumidor, como porcentaje de humedad, indicadores de energía calórica y precios”<sup>5</sup>. Adicionalmente, establece que se debe cuantificar anualmente la oferta de leña seca disponible y que “los servicios públicos que elaboren e implementen programas asociados al fomento de leña seca, deberán informar en diciembre de cada año a la Seremi de Energía de la Región de Aysén sobre la naturaleza de los mismos”<sup>6</sup>.

En el marco de lo anterior, la Seremi de Energía entrega información de la cuantificación de leña seca de cada uno de los programas que cuentan con monitoreo de leña en la comuna de Coyhaique. Estos datos se presentan en la Tabla 3-12.

<sup>5</sup> Artículo 6, letra a) del D.S. N° 7 de 2018 del MMA.

<sup>6</sup> Artículo 6, letra b) del D.S. N° 7 de 2018 del MMA.

**Tabla 3-12 Cuantificación de leña seca por programa en Coyhaique**

Programa	m <sup>3</sup> estéreo
Promotor Dendroenergía, CONAF	19.714
Centro Integral de biomasa, Ministerio Energía-ASE	3.550
Sello Calidad de Leña, Ministerio Energía-ASE	7.299
<b>Total</b>	<b>30.563</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información enviada por Seremi de Energía

De esta forma, considerando un consumo total de leña de 252.994 m<sup>3</sup> estéreo y un total registrado de leña seca correspondiente a 30.563 m<sup>3</sup> estéreo, se obtiene la distribución por calidad de leña presentada en la Tabla 3-13.

**Tabla 3-13 Distribución porcentual por tipo de leña, según su calidad**

Tipo leña	Distribución [%]
Seca	12,1%
Húmeda	87,9%

Fuente: Elaboración propia

### Condiciones de operación

Ante la falta de información respecto a las condiciones de operación de los artefactos a leña en Coyhaique, se utiliza como supuesto la información presentada en la actualización del inventario de emisiones de las comunas de Temuco y Padre Las Casas del año 2020 (SICAM, 2020). En dicho estudio, se realizó una encuesta de caracterización residencial al uso de leña y sus artefactos de combustión, en donde se recabó información sobre las prácticas utilizadas por los usuarios para operar sus artefactos de combustión. A partir de los resultados de la encuesta, se estimó para la comuna de Temuco que un 32,6% del uso tiene una mala operación (tiraje cerrado), tal como se presenta en la Tabla 3-14.

**Tabla 3-14 Distribución porcentual por condiciones de operación**

Tiraje	Distribución [%]
Abierto	67,4%
Cerrado	32,6%

Fuente: Elaboración propia en base a (SICAM, 2020)

Por último, considerando la distribución del consumo de leña por tipo de artefacto, tipo de leña y tipo de operación, se obtiene el consumo en toneladas de leña utilizando la densidad de la leña seca y húmeda presentada en la Tabla 3-15. En la Tabla 3-16 se presentan los resultados de la **estimación del nivel de actividad de la combustión residencial de leña para el año 2023**, correspondiente al consumo total de leña en el sector residencial urbano de la comuna de Coyhaique, desagregado por artefacto y tipo de leña.

**Tabla 3-15 Densidad leña seca y leña húmeda**

Tipo de leña	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]
Seca	453
Húmeda	411

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2017b)

**Tabla 3-16 Consumo de leña [ton] en Coyhaique, año 2023**

Tipo artefacto	Leña Húmeda	Leña Seca
Cocina a Leña	47.354	7.172
Combustión Simple	36.364	5.507
Doble Cámara	0	0
Salamandra	7.701	1.166
<b>Total</b>	<b>91.419</b>	<b>13.845</b>

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el nivel de actividad utilizado para estimar las emisiones asociadas a la combustión residencial de pellet corresponde al consumo total de pellet en Coyhaique. Para estimar el nivel de actividad se utiliza como dato que el consumo de pellet en Coyhaique es de 2.934 kg/vivienda/año. Este valor se multiplica por la cantidad de viviendas que consumen pellet en Coyhaique, estimada a partir de las viviendas proyectadas para 2023 en el área urbana de Coyhaique (ver Tabla 3-7) y considerando que un 27% de las viviendas consumen pellet según el estudio del INFOR (Reyes et al., 2021), obteniéndose un **consumo total de pellet de 15.585 ton/año**.

### 3.2.2.2 Factores de Emisión

Para la estimación de emisiones de combustión de leña residencial se usarán los factores de emisión provistos por el MMA para el PDA de Temuco y Padre Las Casas, información que fue proporcionada por la contraparte técnica. Los FE para cada contaminante se encuentran desagregados por tipo de artefacto, tipo de operación (abierto, medio y cerrado) y tipo de leña (húmeda, semi-húmeda y seca). De acuerdo a la información disponible para desagregar el consumo de leña, se decidió, en conjunto con la contraparte técnica, que para el tipo de operación se considerará solo abierto y cerrado (tiraje cerrado está asociado a una mala operación del artefacto), y en el caso del tipo de leña se considerará solo leña húmeda y seca.

De forma complementaria a los factores de emisión proporcionados por la contraparte técnica, se consideran las siguientes fracciones de carbono negro en el MP2.5 para su estimación.

**Tabla 3-17 Fracción de CN en MP2.5 para artefactos de combustión residencial a leña**

Tipo de Artefacto	Fracción CN/MP2.5
Cocina a leña	0,10
Combustión Simple	0,10
Doble Cámara	0,10
Salamandra	0,10
Caldera CD Pellets	0,15

Nota: Estos valores fueron obtenidos de la Guía de EMEP/EEA del año 2013, sin embargo, se revisa que no hayan actualizaciones en su versión del año 2019 (EMEP/EEA, 2019b).

Fuente: Tabla 2-38 del Manual del MMA (MMA, 2017c) a partir de (EMEP-EEA, 2013, Note Tablas 3-17,3-24,3-25)

En la Tabla 3-18 se presentan los factores de emisión para cada contaminante, considerando solo los tipos de artefacto para los cuales se posee desagregación (ver Sección 3.2.2.1).

**Tabla 3-18 Factores de emisión para combustión de leña y pellet [g/kg]**

Tipo artefacto	Tipo operación (tiraje)	Tipo leña	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
Cocina a Leña	-	Húmeda	32,90	32,90	32,04	1,30	0,20	1.041,37	3,20
		Seca	15,30	15,30	14,90	1,30	0,20	115,40	1,49
Combustión Simple	Abierto	Húmeda	11,86	11,86	9,86	3,05	0,06	246,90	0,99
		Seca	6,23	6,23	5,20	2,03	0,06	115,40	0,52
	Cerrado	Húmeda	19,77	19,77	16,44	3,05	0,06	246,90	1,64
		Seca	10,39	10,39	8,67	2,03	0,06	423,13	0,87
Doble Cámara	Abierto	Húmeda	11,03	11,03	10,11	1,95	0,08	213,19	1,01
		Seca	5,21	5,21	4,85	1,86	0,08	115,40	0,49
	Cerrado	Húmeda	18,38	18,38	16,84	1,95	0,08	213,19	1,68
		Seca	8,69	8,69	8,09	1,86	0,08	423,13	0,81
Salamandra	-	Húmeda	28,50	28,50	34,10	3,09	0,20	189,14	3,41
		Seca	12,70	12,70	11,80	7,68	0,20	126,30	1,18
Caldera CD Pellets	-	-	0,50	0,50	0,50	1,30	0,20	115,40	0,08

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Quemadas agrícolas

Las emisiones de quemadas agrícolas se estiman a partir de la metodología propuesta en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017b), la que se presenta en la siguiente ecuación.

#### Ecuación 3-7 Estimación de emisiones de quemadas agrícolas

$$Emisiones_i = \sum_k Superficie_k \cdot FE_{k,i} \cdot FCO_k$$

Donde:

$Emisiones_i$ : Emisiones del contaminante  $i$  [t]

$Superficie_k$ : Superficie total quemada del tipo de suelo o cultivo  $k$  [ha]

$FE_{k,i}$ : Factor de emisión del tipo de suelo  $k$  para el contaminante  $i$  [kg/kg de materia seca]



$FCO_k$ : Factor de carga orgánica del tipo de suelo  $k$  [t/ha]

### 3.2.3.1 Niveles de Actividad

El nivel de actividad corresponde a la superficie quemada por cada tipo de cultivo. Estos datos se obtienen a partir de estadísticas entregadas por la CONAF.

Dado que la base de datos de la CONAF presenta el total de área quemada por cada evento, agrupada en distintas clases de quema, se realizó una homologación para pasar de la clase de quema al tipo de cultivo disponible de interés (ver Tabla 3-19).

**Tabla 3-19 Homologación clase de quema a tipo de cultivo**

Clase quema CONAF	Tipo de cultivo
De desechos de podas	Desechos de Explotación otras especies
De rastrojos de Cebada	Cebada
De rastrojos de Maíz	Maíz
De rastrojos de Otros	Otros cultivos
De rastrojos de Trigo	Trigo
Desechos de Avena	Avena
Desechos explotación Eucalipto	Desechos de Explotación Eucaliptus
Desechos explotación Otras Especies	Desechos de Explotación otras especies
Desechos explotación Pino Insigne	Desechos de Explotación Pino
Desechos podas y raleos Eucalipto	Desechos de Explotación Pino
Desechos podas y raleos Otras especies	Desechos de Explotación Eucaliptus
Especies vegetales en plantaciones forestales	Desechos de Explotación otras especies
Ramas y material leñosos en terrenos agrícolas	Vegetación
Rastrojo de Lupino o Raps	Ramas
Vegetación en Terrenos Forestales	Otros cultivos
Vegetación muerta para recuperar suelos degradados	Vegetación
Vegetación viva en terrenos agrícolas	Vegetación
Vegetación muerta para recuperar suelos degradados	Vegetación
Desechos podas y raleos Eucalipto	Vegetación

Fuente: Elaboración propia en base a registros de CONAF

La Tabla 3-20 presenta la superficie total de quema por tipo de cultivo en la zona saturada de Coyhaique. Para esto debe tenerse en consideración que el registro de CONAF contempla un total de 120 quemas en la comuna de Coyhaique, las cuales se filtran utilizando las coordenadas de las quemas para así identificar únicamente aquellas localizadas dentro de la zona saturada.

**Tabla 3-20 Superficie quemada por tipo de cultivo en zona saturada de Coyhaique, año 2023**

Tipo de cultivo	Superficie quemada [ha]
Ramas	0,54
Desechos de Explotación Otras Especies	0,10
<b>Total</b>	<b>0,64</b>

Fuente: Elaboración propia en base a registros de CONAF

### 3.2.3.2 Factores de emisión

Se utilizan los factores de emisión diferenciados por tipo de cultivo presentados en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017b), presentados en la Tabla 3-21. También se utilizan los factores de carga orgánica (material combustible) por hectárea propuestos en dicho manual, los cuales se presentan en la Tabla 3-22.

**Tabla 3-21 Factor de emisión según tipo de cultivo y contaminantes [kg/kg materia quemada]**

Tipo de cultivo	CO	MP	MP10	MP2,5	CN	NOx	SOx
Avena	0,0612	0,0093	0,0093	0,0089	0,0008	0,0020	0,0003
Cebada	0,0827	0,0064	0,0064	0,0062	0,0008	0,0023	0
Maíz	0,0319	0,0051	0,0051	0,0049	0,0008	0,0015	0,0002
Trigo	0,0561	0,0048	0,0048	0,0046	0,0008	0,0020	0,0004
Otros Cultivos	0,0538	0,0076	0,0076	0,0073	0,0008	0,0021	0,0003
Ramas	0,0371	0,0053	0,0053	0,0045	0,0008	0,0037	0,0011
Vegetación	0,0517	0,0072	0,0072	0,0069	0,0008	0,0020	0,0003
Desechos de Explotación Eucaliptus	0,0719	0,0081	0,0081	0,0068	0,0008	0,0035	0,0011
Desechos de Explotación Pino	0,0719	0,0081	0,0081	0,0068	0,0008	0,0035	0,0011
Desechos de Explotación Otras Especies	0,0719	0,0081	0,0081	0,0068	0,0008	0,0035	0,0011

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2017b)

**Tabla 3-22 Factor de carga orgánica para el tipo de cultivo [ton/ha]**

Tipo de cultivo	FCO [ton/ha]
Avena	4
Cebada	4,2
Maíz	10,4
Trigo	4,7
Otros Cultivos	5,4
Ramas	1,9
Vegetación	5,4
Desechos de Explotación Eucaliptus	5,4
Desechos de Explotación Pino	6,5
Desechos de Explotación Otras Especies	6

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2017b)

### 3.2.4 Incendios forestales

Las emisiones de incendios forestales se estiman a partir de la metodología propuesta en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017b), la que se presenta en la siguiente ecuación.

#### Ecuación 3-8 Estimación de emisiones de incendios forestales

$$Emisiones_i = \sum_k Superficie_k \cdot FE_{k,i} \cdot FCO_k$$

Donde:

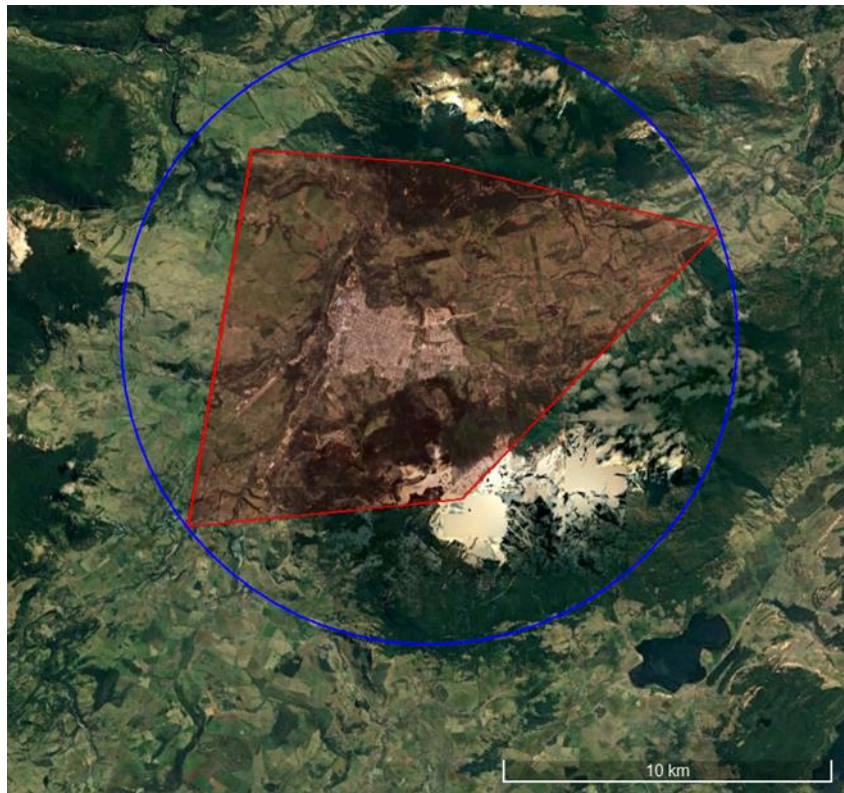
$Emisiones_i$ : Emisiones del contaminante  $i$  [t]

$Superficie_k$ : Superficie total quemada del tipo de bosque  $k$  [ha]

$FE_{k,i}$ : Factor de emisión del tipo de bosque  $k$  para el contaminante  $i$  [kg/kg de materia seca]

$FCO_k$ : Factor de carga orgánica del tipo de bosque  $k$  [t/ha]

Con el objetivo de mejorar el análisis de los incendios forestales, se decide ampliar el área de estudio más allá de la zona saturada propuesta de Coyhaique. En la Figura 3-2 se evidencia el área de estudio considerada para el análisis, en conjunto con la zona saturada.



**Figura 3-2 Área de estudio y zona saturada de Coyhaique**

Fuente: Elaboración propia desde Google Earth

### 3.2.4.1 Niveles de Actividad

El nivel de actividad corresponde a la superficie quemada por cada tipo de bosque, información que se obtiene a partir de estadísticas entregadas por la CONAF.

Dado que la base de datos de la CONAF presenta el total de área quemada distinguida por tipo de superficie, se realizó una homologación para pasar del tipo de superficie al tipo de bosque disponible de interés (ver Tabla 3-23).

**Tabla 3-23 Homologación tipo superficie a tipo de bosque**

Tipo superficie CONAF	Tipo de bosque
Pino	Pino
Eucalipto	Eucaliptus
Otras plantaciones	Arbolado
Arbolado	Arbolado
Matorral	Matorral
Pastizal	Pastizal
Agrícola	Pastizal
Desechos	Desechos Forestales

Fuente: Elaboración propia en base a registros de CONAF

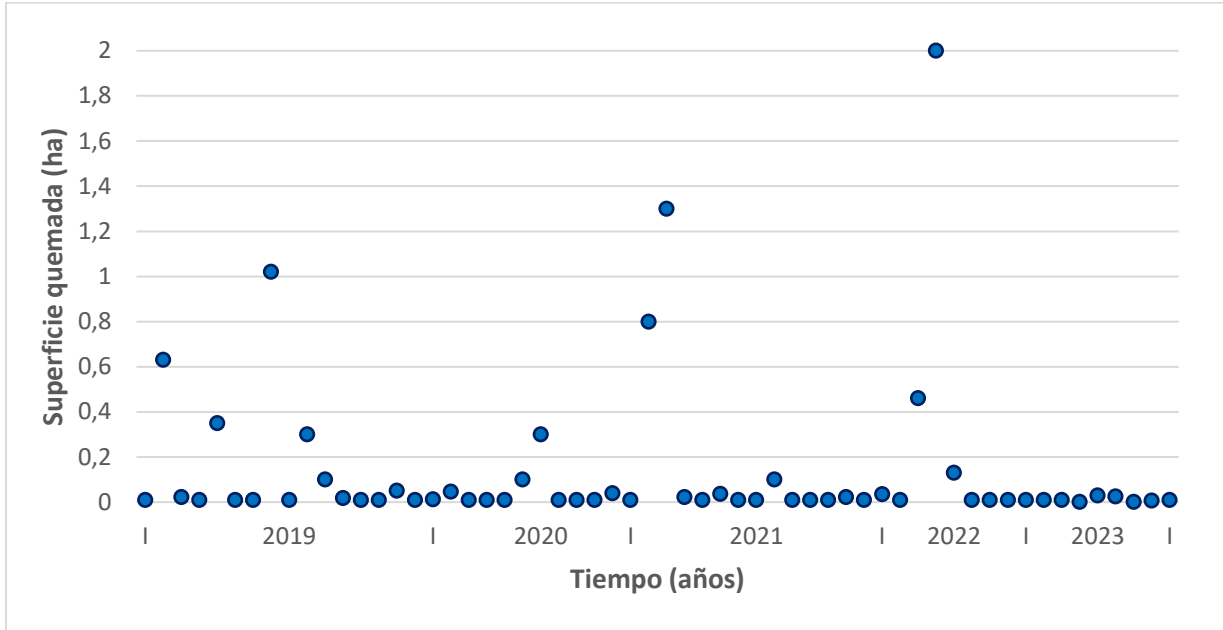
La Tabla 3-24 presenta la superficie total de quema por tipo de bosque para el área de estudio considerada (Ver Figura 3-2). Cabe destacar que se filtraron los incendios ubicados únicamente dentro del área de estudio definida en la Figura 3-2.

**Tabla 3-24 Superficie quemada por tipo de bosque en área de estudio, año 2023**

Tipo de bosque	Superficie quemada [ha]
Pastizal	0,09
Desechos forestales	0,003
<b>Total</b>	<b>0,093</b>

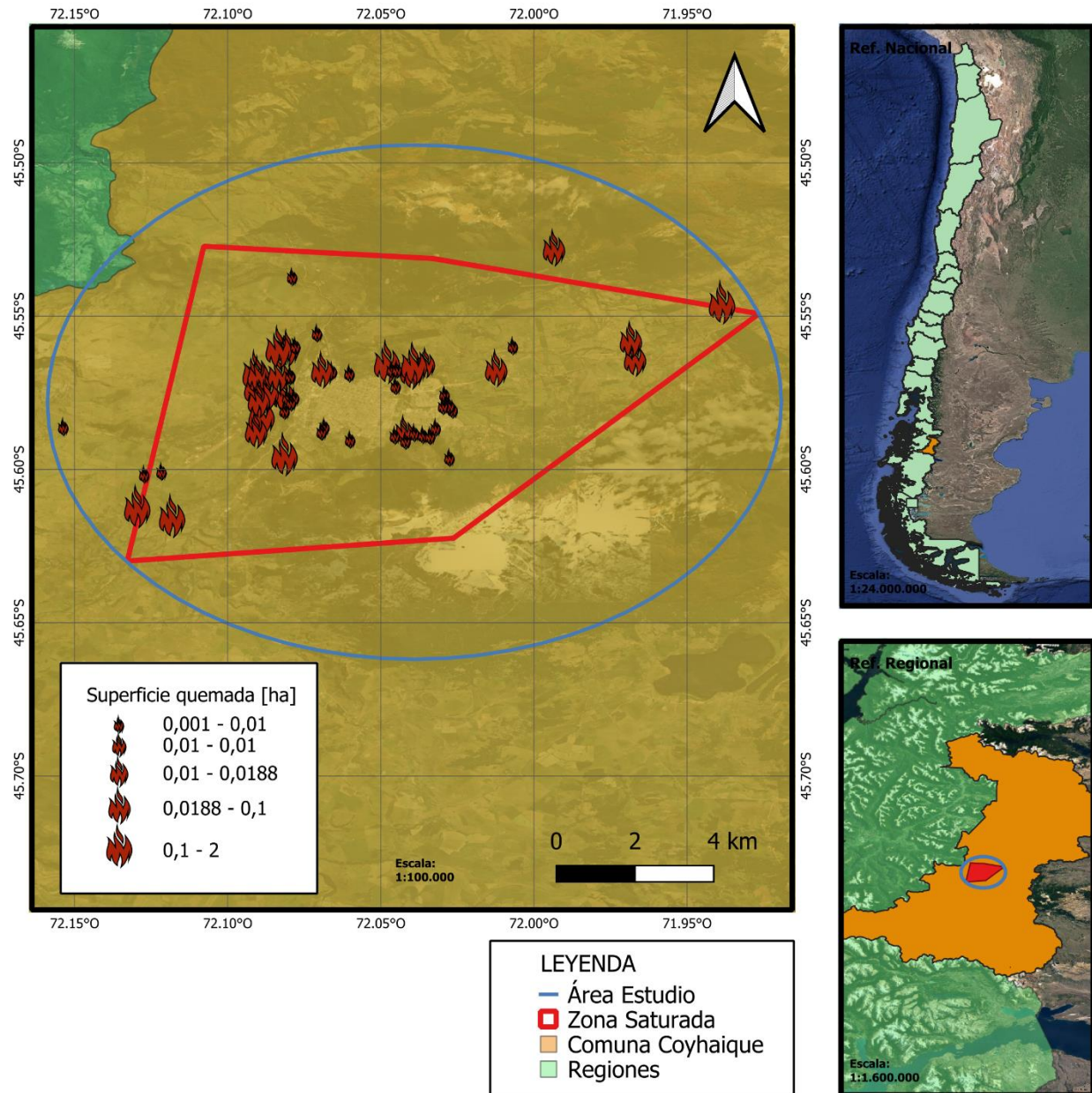
Fuente: Elaboración propia en base a registros de CONAF

Además, con la finalidad de considerar una mayor cantidad de información, se extraen datos de la CONAF sobre la superficie quemada por incendios forestales en el periodo de 2019 – 2023. En la Figura 3-3 se presenta la distribución temporal de los incendios forestales basada en los registros de CONAF y en Figura 3-4 se presenta la distribución espacial de los incendios forestales. Se observa que la mayoría de los incendios registrados afectan superficies menores a 0,2 hectáreas, sin embargo, existen incendios específicos en los que la superficie quemada supera 1 hectárea.



**Figura 3-3 Distribución temporal de los incendios forestales en el área de estudio de Coyhaique, periodo 2019 – 2023**

Fuente: Elaboración propia en base a registros de CONAF



**Figura 3-4 Distribución espacial de los incendios forestales en el área de estudio de Coyhaique, periodo 2019 – 2023**

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de analizar los riesgos de incendios, se cuenta con plataformas como el “Botón Rojo” de la CONAF y el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím) del Ministerio del Medio Ambiente. El “Botón Rojo” es una herramienta diseñada para identificar y priorizar los territorios con una alta probabilidad de ignición y propagación de incendios, proporcionando una base sólida para el análisis de riesgos y la correcta toma de decisiones en la prevención y planificación ante posibles incendios, debido a que combina diversos factores, como la temperatura, la humedad

del combustible fino muerto y el sombreado del relieve. El "Botón Rojo", se activa en aquellos territorios donde la probabilidad de ignición es superior al 70% y la velocidad del viento alcanza los 20 km/h en el intervalo crítico entre las 14:00 y las 18:59 horas, estas condiciones incrementan el riesgo de iniciar y propagar un incendio forestal.

Por su parte, ARClím es una herramienta utilizada para evaluar y gestionar los riesgos asociados al cambio climático, incluyendo el riesgo de incendios forestales. La plataforma permite realizar un análisis de los riesgos de incendios al identificar no solo las áreas más susceptibles de sufrir incendios, sino también cómo este riesgo podría cambiar en el futuro debido a alteraciones climáticas. Para incendios para plataforma posee cuatro mapas de riesgos: Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo. La Amenaza se refiere a la frecuencia de las olas de calor, que aumentan en frecuencia e intensidad, que generan condiciones propicias para la ocurrencia de incendios forestales. La Exposición se evalúa en función de la superficie cubierta por bosques, identificando las áreas vulnerables. La Sensibilidad analiza la probabilidad de que un incendio ocurra y se propague. Finalmente, el Riesgo proporciona una visión del aumento esperado en la ocurrencia de incendios forestales.

### 3.2.4.2 Factores de emisión

Se utilizan los factores de emisión diferenciados por tipo de cultivo presentados en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017b), detallados en la Tabla 3-25. También se utilizan los factores de carga orgánica (material combustible) por hectárea propuestos en dicho manual, presentados en la Tabla 3-26.

**Tabla 3-25 Factor de emisión según tipo de bosque y contaminantes [kg/kg materia quemada]**

Tipo de bosque	MP10	MP2.5	NOx	SOx	CN	MP
Arbolado	0,0185	0,0127	0,00078	0,003	0,0047	0,00026
Eucaliptus	0,0185	0,0127	0,00078	0,003	0,0047	0,00026
Matorral	0,0063	0,00717	0,00052	0,0039	0,0023	0,00021
Pastizal	0,011295	0,00717	0,00052	0,0039	0,0023	0,00021
Pino	0,0185	0,0127	0,00078	0,003	0,0047	0,00026
Desechos forestales*	0,0081	0,0068	0,0035	0,0011	0,0008	0,0081
Referencia	Akagi et al., 2011	Akagi et al., 2011	Akagi et al., 2011	IPCC, 2019	IPCC, 2019	IPCC, 2019

\*El factor de emisión para desechos forestales se estima como el promedio aritmético de los 3 factores de emisión asociados a desechos de bosque de quemas agrícolas (ver Tabla 3-21).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-26 Factor de carga orgánica para el tipo de bosque [ton/ha]**

Tipo de bosque	FCO [ton/ha]
Arbolado	50,4
Eucaliptus	69,4
Matorral*	14,3

Pastizal	4,1
Pino	50,4
Desechos forestales**	5,97

\*El factor de carga orgánica de matorral se obtiene de los alineamientos del IPCC revisados el año 2019.

\*\*El factor de carga orgánica de desechos forestales se estima como el promedio aritmético de los 3 factores asociados a desechos de bosque de quemadas agrícolas (ver Tabla 3-22).

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA, 2017b)

### 3.2.5 Incendios urbanos

Las emisiones de incendios urbanos se estiman a partir de la metodología propuesta en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017b), la que se presenta en la siguiente ecuación.

#### Ecuación 3-9 Estimación de emisiones de incendios urbanos

$$Emisiones_i = FE_i \cdot NA \cdot \frac{1}{1000}$$

Donde:

$Emisiones_i$ : Emisiones del contaminante  $i$  [t]

$FE_i$ : Factor de emisión para el contaminante  $i$  por siniestro [kg/siniestro]

$NA$ : Número de siniestros

#### 3.2.5.1 Niveles de Actividad

En este caso, se utiliza como nivel de actividad el número de siniestros registrados en Coyhaique. Esta información se obtuvo a partir de los registros entregados por Carabineros de Chile.

La Tabla 3-27 presenta la cantidad de eventos de incendios urbanos registrados por tipo de incendio.

**Tabla 3-27 Número de siniestros por tipo de incendio, año 2023**

Tipo de incendio	Número siniestros
Incendio con peligro para las personas	2
Incendio con resultado de muerte y/o lesiones	2
Incendio solo con daños o sin peligro de propagación	58
<b>Total</b>	<b>62</b>

Fuente: Elaboración propia en base a registros de Carabineros de Chile

#### 3.2.5.2 Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados corresponden a los propuestos por la Agencia Ambiental Europea en “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2019” (EMEP/EEA, 2019c). Específicamente en la sección B de la guía se encuentra el capítulo “5.E Otros residuos”, donde se presentan factores de emisión de contaminantes para incendios urbanos de casas, edificios de apartamentos y edificios industriales. Dado que la base de datos facilitada por carabineros de



Chile no distingue el tipo de edificación en el que ocurre el siniestro, se asumió que todos ocurren en casas, con la intención de utilizar el factor de emisión más conservador.

Se complementaron estos FE con contaminantes no listados anteriormente, a partir del capítulo 18 de Incendios de Estructura del documento *Emission Inventory Improvement Program* (STAPPA-ALAPCO-EPA, 2001). De esta forma, los factores de emisión utilizados para incendios urbanos se presentan a continuación en la Tabla 3-28.

**Tabla 3-28 Factor de emisión según contaminantes [kg/siniestro]**

Contaminante	FE [kg/siniestro]	Referencia
MP	143,82	EMEP/EEA, 2019
MP10	143,82	EMEP/EEA, 2019
MP2,5	143,82	EMEP/EEA, 2019
NOx	0,73	STAPPA-ALAPCO-EPA, 2001
CO	31,3	STAPPA-ALAPCO-EPA, 2001

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6 Fuentes móviles

De acuerdo con lo realizado en el estudio “Estimación de emisiones de fuentes difusas para la generación del décimo sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC” (GreenLab Dictuc, 2022) para la ciudad de Coyhaique, la estimación de emisiones de fuentes móviles sigue la metodología para ciudades sin modelo de transporte del “Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones” (MMA, 2017b), para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

#### Ecuación 3-10 Estimación de emisiones de fuentes móviles en ruta

$$E_{Totales} = E_{Caliente} + E_{Partidas\ en\ frío} + E_{Evaporativas} + E_{Polvo} + E_{Desgastes}$$

Cabe destacar que para las ciudades sin modelo de transporte se debe estimar el nivel de actividad de kilómetros recorridos con menor detalle, utilizando factores de emisión promedio. A continuación, se detallan los niveles de actividad y factores de emisión utilizados.

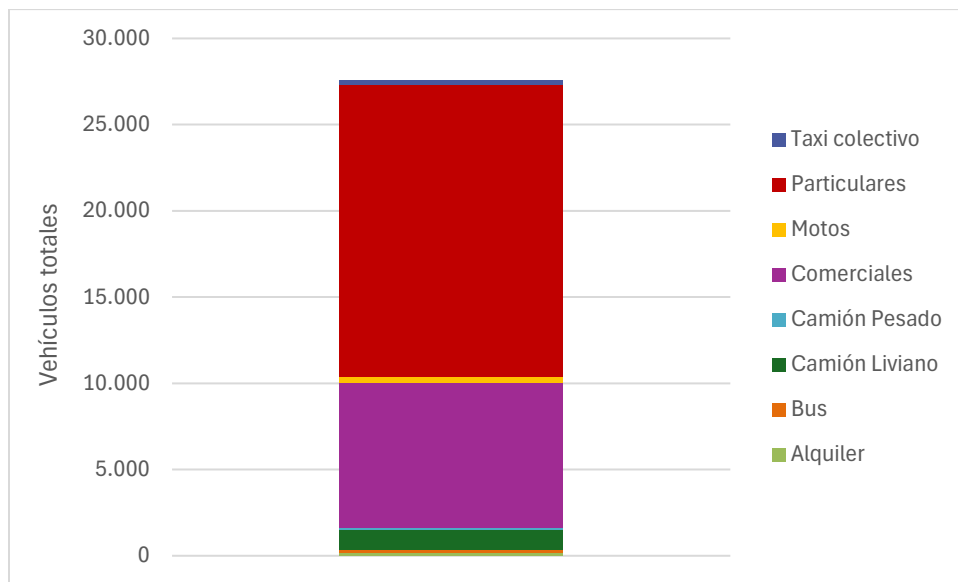
#### 3.2.6.1 Niveles de Actividad

El nivel de actividad corresponde a los kilómetros recorridos según parque vehicular.

Para caracterizar el parque vehicular, se obtiene información de permisos de circulación compilada por el INE para el año 2022, debido a que los datos correspondientes al año 2023 aún no han sido liberados<sup>7</sup>. Los permisos de circulación se encuentran a nivel comunal, desagregados

<sup>7</sup> Por esta razón, la estimación de emisiones de fuentes móviles tiene un carácter preliminar, y será actualizada una vez se cuente con información del año 2023.

por tipo y subtipo de vehículo<sup>8</sup>, combustible y año de fabricación. Para generar el parque vehicular, se homologaron las categorías del parque INE por un CCF6, como se presenta en la Tabla 8-2 del Anexo 8.2 (GreenLab Dictuc, 2022). Luego de ser clasificados por CCF6, debido a que la información de INE no contempla tipo de tecnología de los vehículos, estos vehículos son distribuidos por CCF8 según la información porcentual obtenida de las PRT y permisos de circulación INE. En la Figura 3-5 se presenta el parque vehicular INE del 2022 según CCF6 para la ciudad de Coyhaique.



**Figura 3-5 Parque vehicular en circulación en ciudad de Coyhaique, 2022**

Fuente: Elaboración propia a partir de permisos de circulación publicados por el INE

Adicionalmente, se utilizan los valores de kilómetros recorridos y velocidad promedio por tipo de vehículo recomendados en el manual de inventarios (MMA, 2017b) (ver Tabla 3-29). Siguiendo lo realizado en (GreenLab Dictuc, 2022), en el caso de camiones livianos, los kilómetros recorridos anuales eran mucho mayores a los de las ciudades con modelo de transporte, por lo que este valor fue cambiado por los kilómetros anuales de una ciudad semejante con modelo de transporte: Punta Arenas. Dicho valor se obtuvo al dividir los kilómetros totales entregados por MODEM para la categoría CCF6 701004, por el parque de las Plantas de Revisión Técnica (PRT) para esta categoría.

<sup>8</sup> Los tipos de vehículo se clasifican en tres categorías, y los subtipos en 17 clasificaciones dentro de los tres tipos.

**Tabla 3-29 Kilómetros recorridos y velocidad promedio para ciudades sin modelo de transporte**

Tipo Vehículo	Kilómetros recorridos anuales (km/veh)	Velocidad promedio (km/h)*	
		X <=25.000	25.000 < X <=50.000
<b>Bus</b>	69.848	20	23
<b>Camión Liviano</b>	5.276	31	38
<b>Camión Mediano</b>	39,180	31	38
<b>Camión Pesado</b>	48.700	35	47
<b>Motos</b>	9.630	35	37
<b>Comerciales</b>	25.985	36	37
<b>Particulares</b>	17.004	35	37
<b>Taxi Colectivo</b>	44.650	27	29
<b>Alquiler</b>	40.465	35	37

(\*) Depende del tamaño total del parque vehicular (X).

(\*\*) Corresponde a los kilómetros anuales de la ciudad de Punta Arenas.

Fuente: (MMA, 2017b) Tabla 4-8 y Tabla 4-9

La Tabla 3-30 presenta la cantidad de vehículos por tipo para Coyhaique. En total, se identifican 27.583 vehículos en la ciudad de Coyhaique.

**Tabla 3-30 Tamaño parque vehicular de la ciudad de Coyhaique, año 2022**

Tipo Vehículo	Cantidad de vehículos
<b>Alquiler</b>	196
<b>Bus</b>	131
<b>Camión Liviano</b>	1.147
<b>Camión Pesado</b>	164
<b>Comerciales</b>	8.398
<b>Motos</b>	342
<b>Particulares</b>	16.936
<b>Taxi colectivo</b>	269
<b>Grand Total</b>	<b>27.583</b>

\*De acuerdo con (GreenLab Dictuc, 2022), este campo vehicular para las ciudades sin modelo de transporte es igual a 0.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del parque vehicular 2022 del INE

Luego, multiplicando los kilómetros recorridos promedio por tipo de vehículo (ver Tabla 3-29) con el parque vehicular de Coyhaique por tipo de vehículo (ver Tabla 3-30), se obtienen los kilómetros recorridos para Coyhaique, presentados en la Tabla 3-31.

**Tabla 3-31 Kilómetros recorridos al año por tipo de vehículo para la ciudad de Coyhaique, año 2022**

Tipo Vehículo	Kilómetros recorridos anuales
Particular	287.979.744
Motocicleta	3.293.460
Vehículo de alquiler	7.971.605
Vehículo comercial	218.248.015
Taxi colectivo	12.055.500
Buses urbanos	9.150.088
Camión liviano	6.046.296
Camión pesado	7.986.800
<b>Total</b>	<b>552.731.508</b>

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se realizó una entrevista a un profesional de la SEREMI de Transporte, quien proporciona información sobre los tipos de vehículos que ingresan a la comuna de Coyhaique por la Zona Franca durante el periodo de 2020 – 2023 (Ver Tabla 3-32). Se observa que varios tipos de vehículos ingresaron por la Zona Franca, siendo los principales Station Wagon, automóviles y camionetas. Además, si bien la cantidad de vehículos que ingresan por Zona Franca han disminuido entre 2021 y 2023, resulta relevante a considerar dada la magnitud del parque vehicular de Coyhaique (ver Tabla 3-31).

**Tabla 3-32 Cantidad de vehículos que ingresan por Zona Franca para la ciudad de Coyhaique, periodo 2020 – 2023**

Tipo Vehículo	2020	2021	2022	2023
Automóvil	148	520	453	247
Buggy	1	0	1	0
Bus	0	1	0	1
Camión	35	107	57	23
Camioneta	110	482	282	104
Casa Rodante Motorizada	3	3	3	5
Chasis Cabinado	0	1	1	1
Cuatrimoto	0	0	1	0
Furgón	7	12	5	2
Jeep	0	0	1	0
Máquina Industrial	0	4	1	1
Minibus	6	17	18	7
Moto	3	13	6	2
Remolque	0	0	1	0
Semirremolque	0	0	0	1
Ssangyong	0	1	0	0
Station Wagon	492	1.434	1.076	377
TractoCamión	9	17	14	6
Tractor	0	1	0	0
<b>Total</b>	<b>814</b>	<b>2.613</b>	<b>1.920</b>	<b>777</b>

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los tipos de vehículos que ingresan, es importante considerar que no existen restricciones respecto a las normas de emisión de estos vehículos, siendo la mayoría Euro IV y Euro V. Estos vehículos son aprobados en las plantas de revisión técnicas porque cumplen la norma de emisión con la cual fueron fabricados, sin embargo, al no cumplir con la norma actualmente exigida en Chile (Euro VI), se les otorga un sello rojo, el cual restringe la posibilidad de moverse en el país, permitiéndoles circular únicamente por la región. Como es de esperar, esto genera un impacto significativo en las emisiones locales.

### 3.2.6.2 Factores de emisión

Se utilizan los factores de emisión cargados al software de modelación de emisiones de transporte MODEM en su última versión (v6.0). Estos factores de emisión provienen de la guía europea *'The EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook'* (EMEP/EEA, 2019a) en su versión del año 2019. Esta guía a su vez utiliza como base el software COPERT (v5.2) para la estimación de los factores de emisión que presentan. Los factores de emisión por tecnología están dados para cada categoría vehicular.

### 3.3 Inventario de emisiones, año base 2023

A continuación, se presentan los resultados del inventario de emisiones elaborado mediante la metodología presentada en la Sección 3.2, para la zona saturada de Coyhaique y considerando año base 2023. Se estimaron emisiones asociadas a los siguientes contaminantes: MP10, MP2,5, SOx, NOx, CO y carbono negro. Cabe mencionar que **el inventario de emisiones es elaborado a partir de la mejor información disponible y posee un carácter informativo**, por lo que no pretende reproducir exactamente la realidad.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada tipo de fuente, y a nivel global.

#### 3.3.1 Resultado de la estimación del inventario de emisiones

##### 3.3.1.1 Fuentes fijas

La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emisiones\_Fuentes\_Fijas.xlsx”.

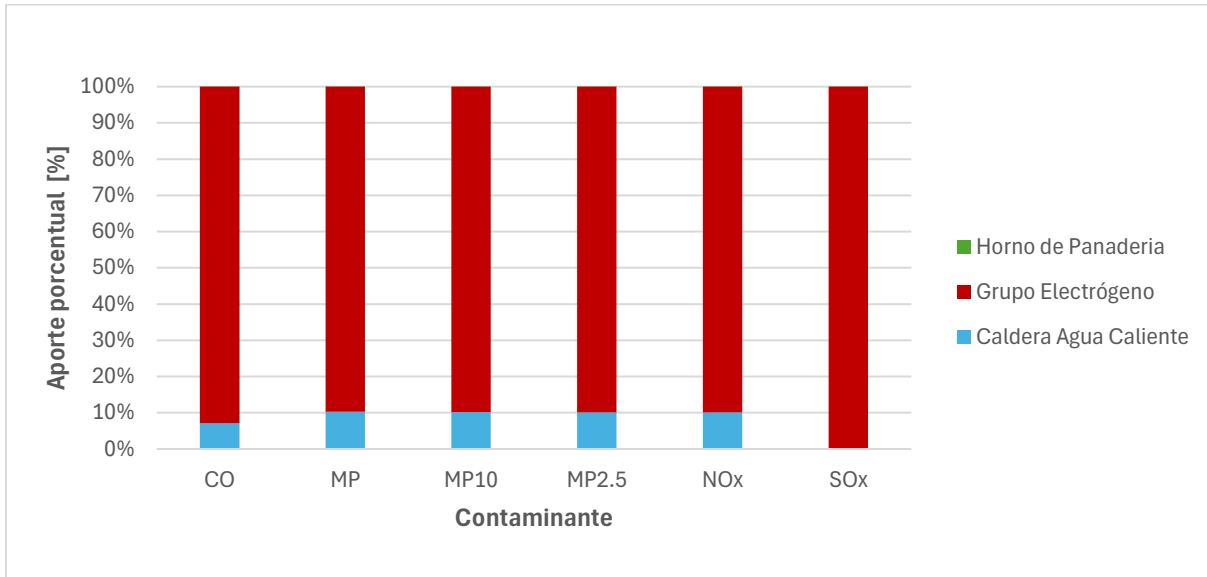
En la Tabla 3-33 se presentan las emisiones por contaminante y tipo de fuente generadas por fuentes fijas en la comuna de Coyhaique, estimadas mediante la metodología presentada en la Sección 3.2.1. Se puede notar que los grupos electrógenos son las principales fuentes emisoras, representando en promedio un 92% de las emisiones de cada contaminante. Además, el combustible cuyo consumo tiene mayores emisiones asociadas es el petróleo diésel, el cual es utilizado principalmente por grupos electrógenos.

**Tabla 3-33 Emisiones generadas por fuentes fijas en la comuna de Coyhaique [ton/año], año 2023**

Tipo Fuente	Combustible	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO
Caldera Agua Caliente	Biomasa Combustible	0,30	0,32	0,27	0,43	0,02	0,53
	Gas de Cañería	1,58	1,58	1,58	22,77	0,00	3,19
	Gas Licuado de Petróleo	3,66	3,65	3,65	56,09	0,01	7,65
	Gas Natural	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,04
	Kerosene	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Petróleo N 2 (Diesel)	0,27	0,19	0,17	1,94	0,00	0,40
Grupo Eléctrico	Bencina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
	Petróleo N 2 (Diesel)	50,65	50,65	50,65	719,85	47,31	154,94
Horno de Panadería	Gas Licuado de Petróleo	0,01	0,01	0,01	0,16	0,00	0,02
<b>Total</b>		<b>56,49</b>	<b>56,41</b>	<b>56,34</b>	<b>801,38</b>	<b>47,35</b>	<b>166,82</b>

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, la Figura 3-6 muestra el aporte de los tipos de fuentes en las emisiones de cada contaminante, observándose la predominante participación de los grupos electrógenos en las emisiones de fuentes fijas de la comuna de Coyhaique.



**Figura 3-6 Aporte porcentual de los tipos de fuentes fijas en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.2 Combustión residencial de leña y pellet

La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emissiones\_Leña.xlsx”.

En la Tabla 3-34 se presentan las emisiones por contaminante y tipo de artefacto generadas por combustión residencial de leña y pellet, estimadas mediante la metodología presentada en la Sección 3.2.2. Se puede observar que las cocinas a leña son los principales artefactos emisores de todos los contaminantes.

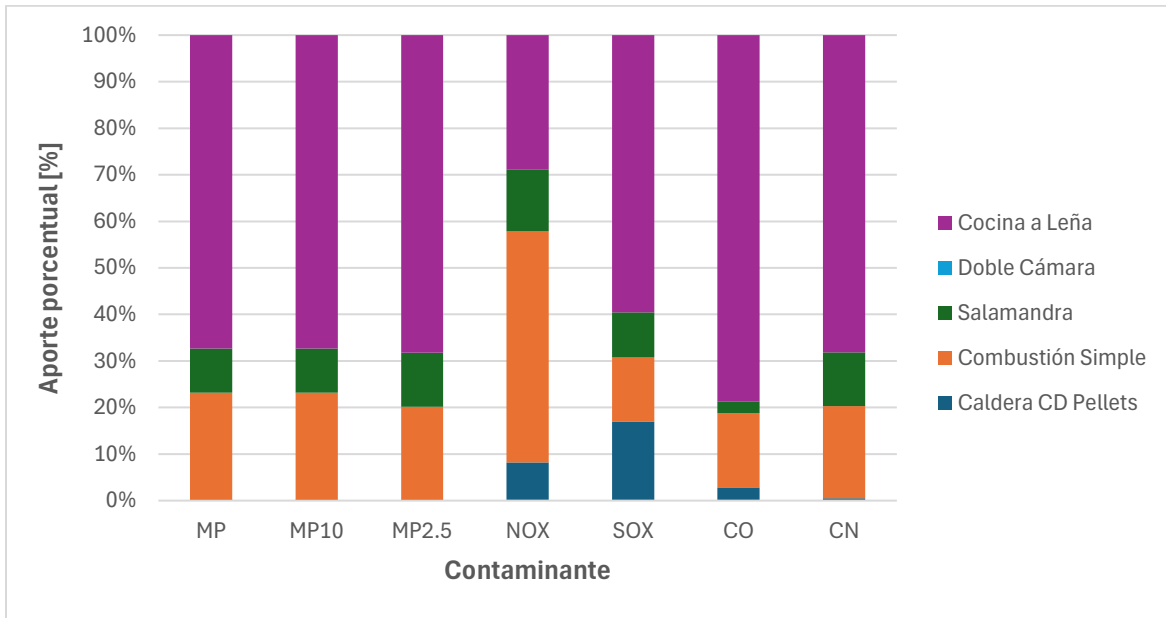
**Tabla 3-34 Emisiones por combustión de leña y pellet en sector residencial urbano de Coyhaique [ton/año], año 2023**

Tipo artefacto	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Cocina a Leña	1.667,4	1.667,4	1.623,8	70,9	10,9	50.140,8	162,4
Combustión Simple	566,9	566,9	471,4	122,1	2,5	10.166,4	47,1
Salamandra	234,3	234,3	276,4	32,8	1,8	1.603,9	27,6
Doble Cámara	-	-	-	-	-	-	-
Caldera CD Pellets	7,8	7,8	7,8	20,3	3,1	1.798,5	1,2
<b>Total</b>	<b>2.476,5</b>	<b>2.476,5</b>	<b>2.379,4</b>	<b>246,0</b>	<b>18,3</b>	<b>63.709,7</b>	<b>238,3</b>

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, mediante la Figura 3-7 es posible observar de manera gráfica el aporte de los diferentes tipos de artefactos en las emisiones de cada contaminante. Se puede

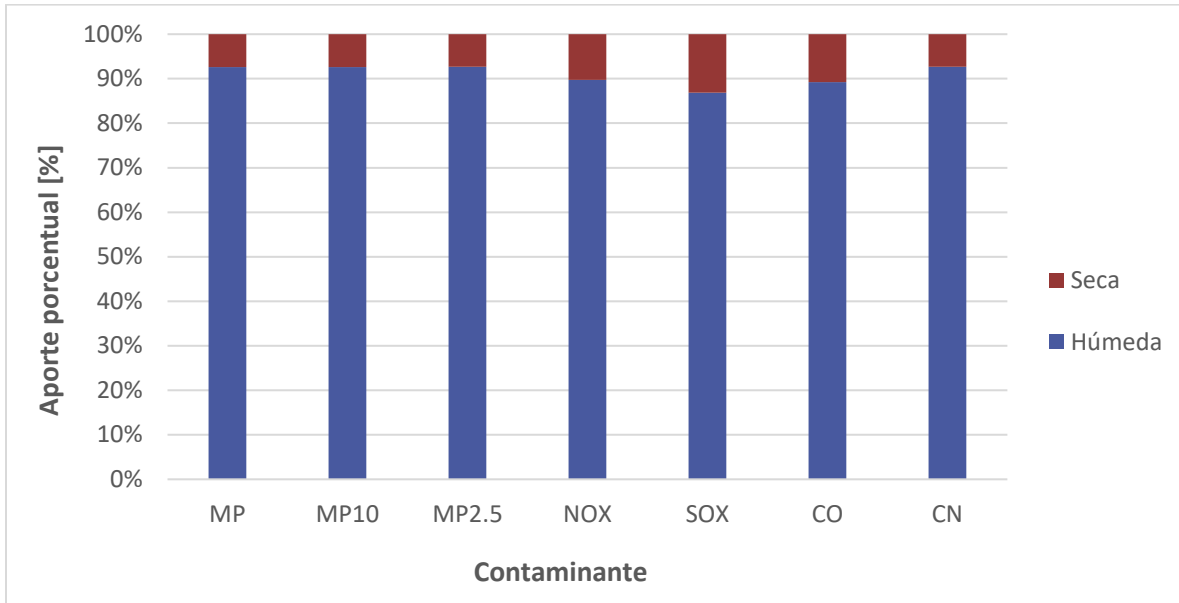
observar que los artefactos que presentan una mayor contribución porcentual a las emisiones corresponden a las cocinas a leña y los de combustión simple.



**Figura 3-7 Aporte porcentual de los artefactos en las emisiones de cada contaminante**  
 Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, como es de esperar, la Figura 3-8 muestra que la leña húmeda representa gran parte de las emisiones de cada contaminante. Esto se asocia al predominante uso de leña húmeda en Coyhaique (ver Tabla 3-16), debido principalmente a que es la opción más económica y accesible, y por temas culturales de la región, a pesar de ser una opción más contaminante.





**Figura 3-8 Aporte porcentual de leña seca y leña húmeda en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.3 Quemas agrícolas

La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emissiones\_Quemas\_Agricolas.xlsx”.

En la Tabla 3-27 se detallan las emisiones por contaminante y tipo de cultivo para la zona saturada, estimadas mediante la metodología presentada en la Sección 3.2.3. Se observa que las quemas agrícolas en la zona saturada en 2023 corresponden únicamente a desechos de explotación de otras especies y a ramas. Además, se destaca que el monóxido de carbono (CO) es el principal contaminante en este tipo de quemas, aunque se debe considerar que los valores emitidos son bajos para la mayoría de los contaminantes.

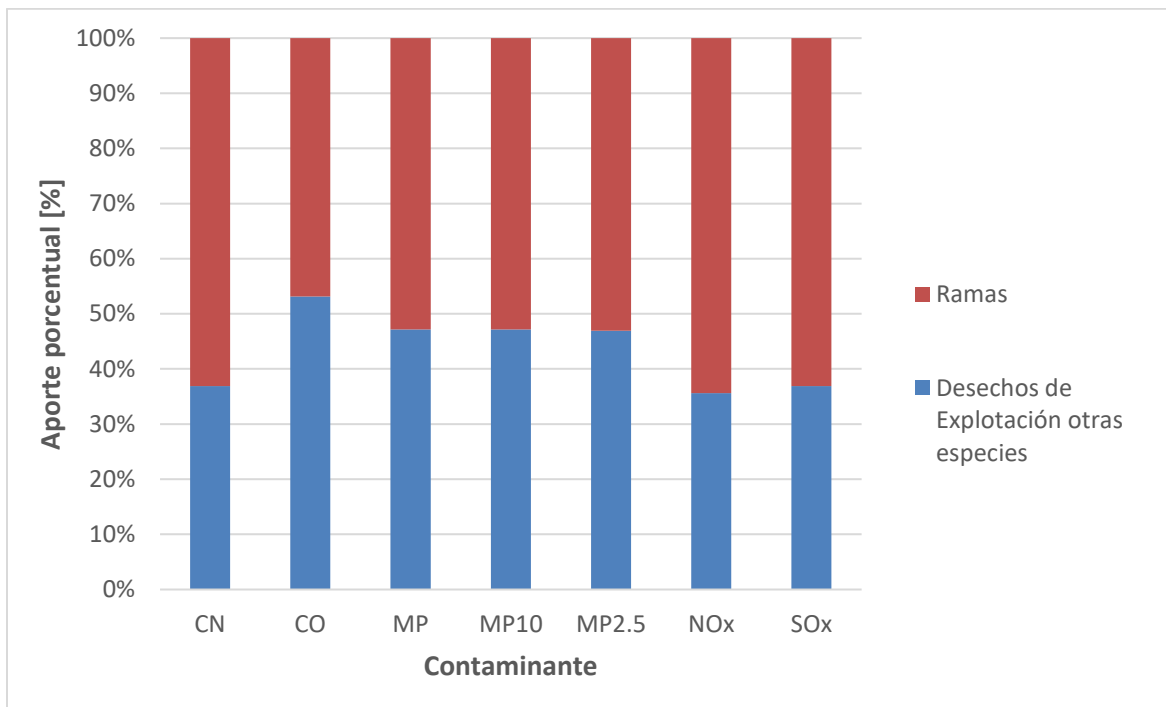
**Tabla 3-35 Emisiones por quemas agrícolas en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023**

Tipo de cultivo	CN	CO	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Desechos de Explotación otras especies	0,0005	0,04	0,005	0,005	0,004	0,002	0,001
Ramas	0,0008	0,04	0,005	0,005	0,005	0,004	0,001
<b>Total</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,009</b>	<b>0,006</b>	<b>0,002</b>

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, mediante la Figura 3-9 se muestra gráficamente el aporte porcentual del tipo de cultivo en las emisiones de los contaminantes. Se observa que las “Ramas” tienen un mayor aporte porcentual entre el 55% y el 60% en la emisión de contaminantes en

comparación con los “Desechos de explotación de otras especies” que contribuyen alrededor del 40% al 45%, esta tendencia es consistente en todos los contaminantes analizados.



**Figura 3-9 Aporte porcentual del tipo de cultivo en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.4 Incendios forestales

La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emissiones\_Incendios\_Forestales.xlsx”.

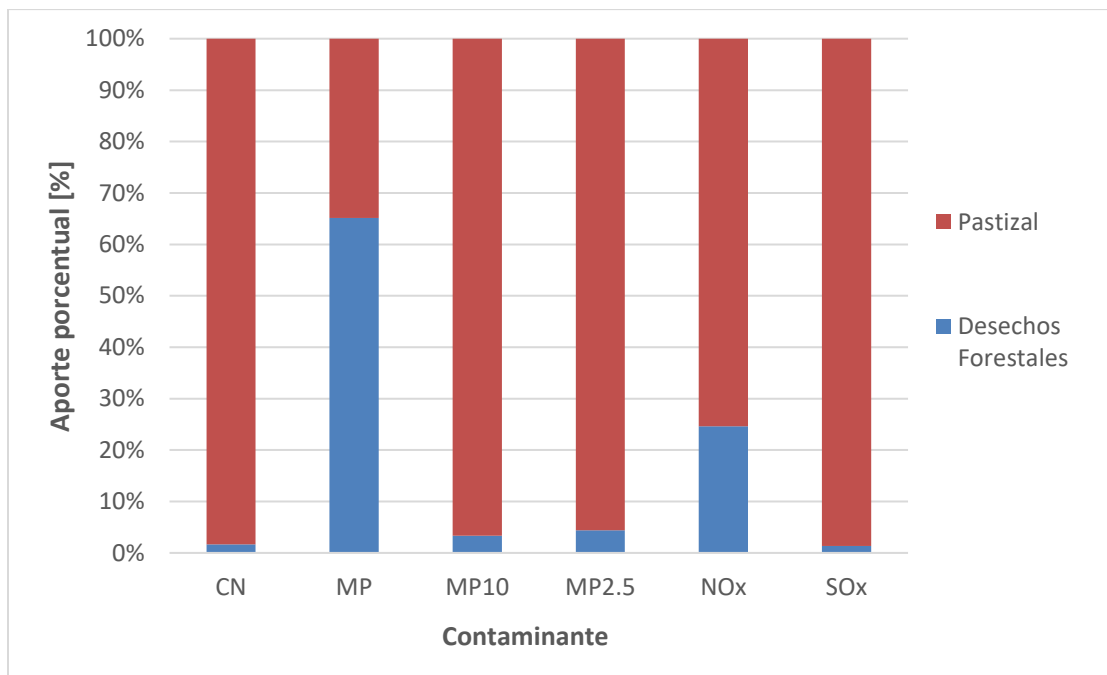
En la Tabla 3-36 se presentan las emisiones por contaminante y tipo de bosque para el área de estudio (Figura 3-2), estimadas mediante la metodología presentada en la Sección 3.2.4. Se observa que los incendios forestales en el área corresponden principalmente a material particulado (MP2,5 y MP10).

**Tabla 3-36 Emisiones por incendios forestales en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023**

Tipo de bosque	CN	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx
Desechos Forestales	1,E-05	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	2,E-05
Pastizal	0,0008	0,0001	0,0042	0,0026	0,0002	0,0014
<b>Total</b>	<b>0,0009</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0043</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0015</b>

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, mediante la Figura 3-10 se visualiza de manera gráfica el aporte porcentual del tipo de bosque en las emisiones de los contaminantes. Se observa que el “Arbolado” predomina en el aporte porcentual de las emisiones en todos los contaminantes analizados, representa un aporte aproximado entre el 70% y el 80% del total. El aporte del “Pastizal” y del “Pino” varía entre el 10% y el 20%- Mientras que el “Matorral” y los “Desechos Forestales” tienen una contribución mínima, que representa un pequeño porcentaje en las emisiones.



**Figura 3-10 Aporte porcentual del tipo de bosque en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.5 Incendios urbanos

La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emissiones\_Incendios\_Urbanos.xlsx”.

En la Tabla 3-37 se detallan las emisiones por contaminante y tipo de incendio urbano para la zona saturada, estimadas mediante la metodología presentada en la Sección 3.2.5. Se observa que el principal contaminante emitido corresponde al material particulado (MP2,5 y MP10).

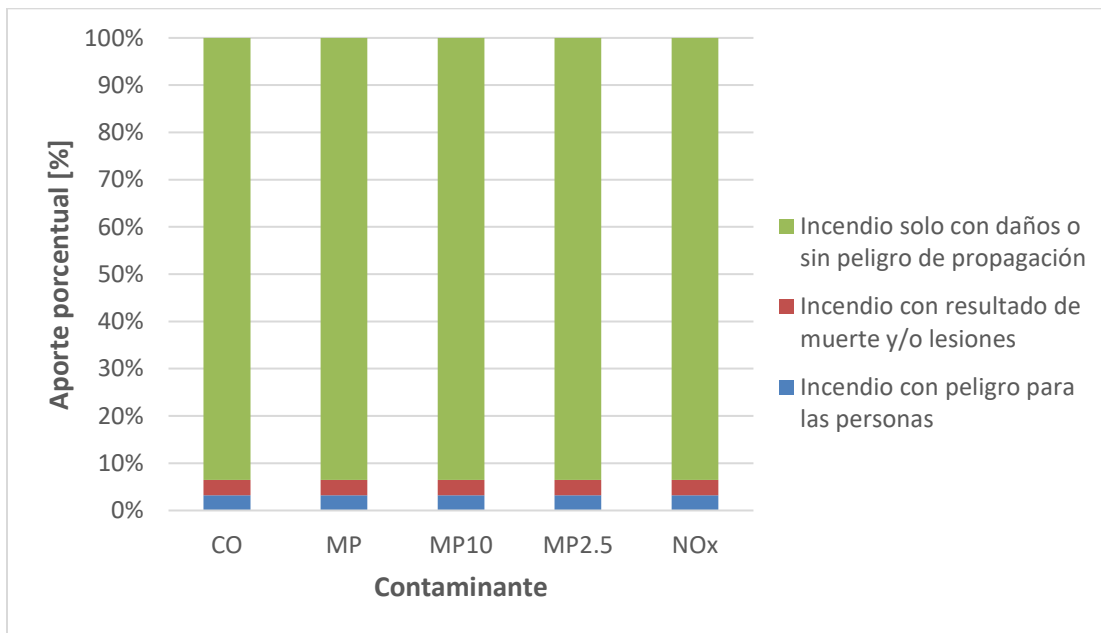
**Tabla 3-37 Emisiones por incendios urbanos en la zona saturada de Coyhaique [ton/año], año 2023**

Tipo de incendio urbano	CO	MP	MP10	MP2,5	NOx
Incendio con peligro para las personas	0,063	0,288	0,288	0,288	0,001
Incendio con resultado de muerte y/o lesiones	0,063	0,288	0,288	0,288	0,001

Tipo de incendio urbano	CO	MP	MP10	MP2,5	NOx
Incendio solo con daños o sin peligro de propagación	1,815	8,342	8,342	8,342	0,042
<b>Total</b>	<b>1,941</b>	<b>8,917</b>	<b>8,917</b>	<b>8,917</b>	<b>0,045</b>

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, mediante la Figura 3-11 se presenta gráficamente el aporte porcentual del tipo de incendio urbano en las emisiones de los contaminantes. Se observa que el “Incendio solo con daños o sin peligro de propagación” presenta el mayor aporte porcentual en las emisiones de todos los contaminantes, representando más de un 90% del total. Mientras que los “Incendios con resultado de muerte y/o lesiones” y el “Incendio con peligro para las personas” representan en conjunto una contribución menor al 10% en las emisiones.



**Figura 3-11 Aporte porcentual del tipo de incendio urbano en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.6 Fuentes móviles

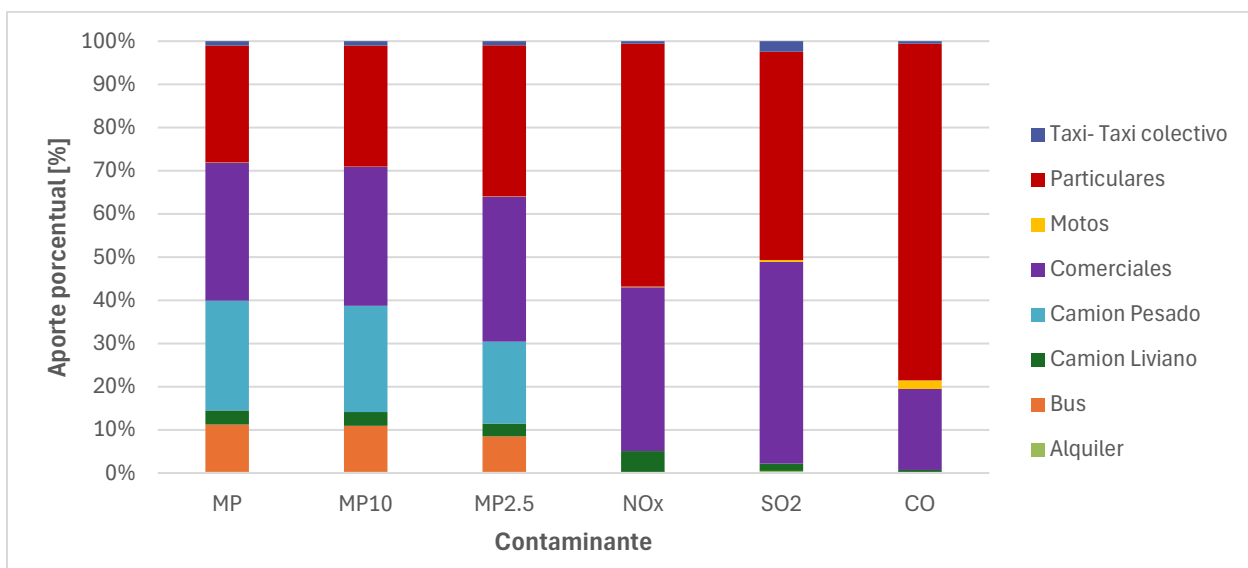
La estimación de las emisiones se desarrolla en una base de datos que se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Emissiones\_Móviles.xlsx”.

En la Tabla 3-38 se presentan las emisiones totales generadas por cada tipo de vehículo en Coyhaique. De forma complementaria, en la Figura 3-12 se muestra el aporte porcentual de cada uno de los tipos de vehículos en las emisiones de cada contaminante. Se puede observar que la principal fuente emisora de MP2.5, NOx, SO<sub>2</sub> y CO corresponde a vehículos particulares, representando un 35%, 56%, 48% y 78%, respectivamente. En el caso de MP y MP10 el principal emisor corresponde a vehículos comerciales, contribuyendo con un 32% de las emisiones de ambos contaminantes.

**Tabla 3-38 Emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Coyhaique [ton/año]**

Tipo vehículo	MP	MP10	MP2,5	NOx	SO2	CO
Alquiler	1,01	0,63	0,19	0,62	0,01	2,11
Bus	38,80	24,05	5,90	-	-	-
Camión Liviano	11,48	7,28	2,12	11,92	0,02	3,71
Camión Pesado	89,91	55,74	13,55	-	-	-
Comerciales	112,90	72,72	24,04	94,13	0,48	155,37
Motos	0,21	0,14	0,07	0,45	0,00	16,66
Particulares	95,71	63,53	25,07	139,51	0,50	645,73
Taxi- Taxi colectivo	3,63	2,28	0,67	1,52	0,03	4,94
<b>Total</b>	<b>353,63</b>	<b>226,36</b>	<b>71,61</b>	<b>248,14</b>	<b>1,03</b>	<b>828,53</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-12 Aporte porcentual de los tipos de vehículos en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.7 Resultados globales

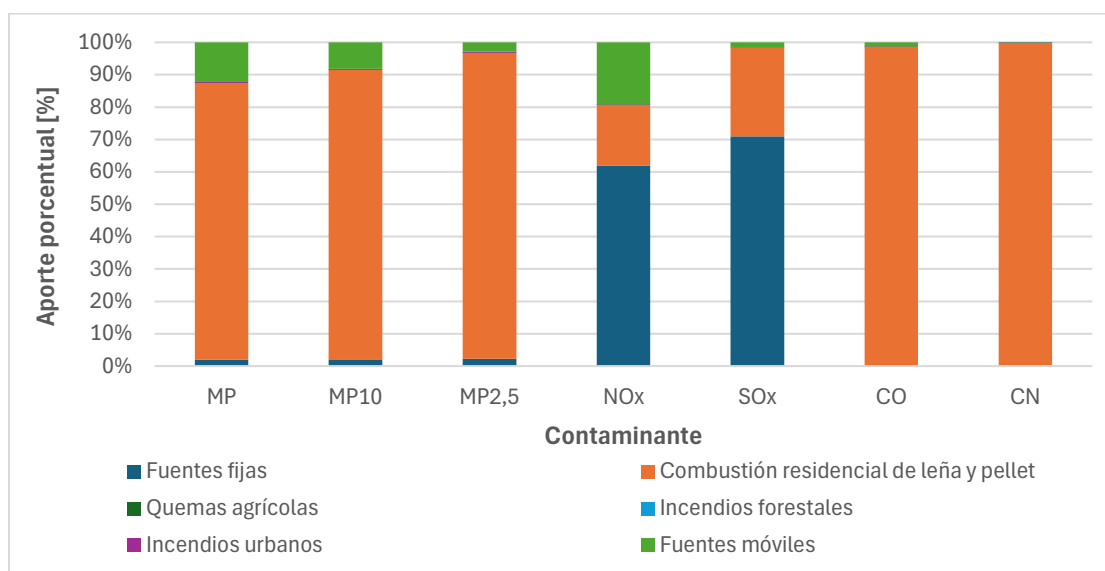
En la Tabla 3-39 se presentan las emisiones totales estimadas para 2023 en la zona saturada de Coyhaique, desagregadas por sector emisor. Se puede observar la predominante participación de la combustión residencial de leña y pellet en las emisiones de todos los contaminantes, a excepción de NOx y SOx cuyo principal emisor fue el sector de fuentes fijas, representando un 62% y 71%, respectivamente. En el caso de los contaminantes MP10 y MP2,5, especialmente relevantes para la zona saturada de Coyhaique, la combustión residencial de leña y pellet es la principal fuente, representando un 89% y 95% de las emisiones, respectivamente, seguido de fuentes móviles.

Es relevante considerar, tal como se mencionó en la Sección 3.2, el alcance de las emisiones estimadas. Si bien se realizó un esfuerzo en estimar el inventario de emisiones para la zona saturada, debido a la falta de información de la ubicación de las fuentes se estimaron emisiones a nivel comunal en el caso de fuentes fijas, fuentes móviles e incendios urbanos. Además, en un intento de incorporar el impacto de los incendios forestales, se consideraron los generados en un área mayor a la zona saturada (ver Figura 3-2).

**Tabla 3-39 Inventario de emisiones [ton/año] estimado para la zona saturada de Coyhaique, año 2023**

Sector	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Fuentes fijas	56,49	56,41	56,34	801,38	47,35	166,82	-
Combustión residencial de leña y pellet	2.476,47	2.476,47	2.379,43	246,02	18,31	63.709,65	238,33
Quemas agrícolas	0,01	0,01	0,009	0,006	0,002	0,08	0,001
Incendios forestales	2,E-04	4,E-03	3,E-03	3,E-04	1,E-03	-	9,E-04
Incendios urbanos	8,92	8,92	8,92	0,05	-	1,94	-
Fuentes móviles	353,63	226,36	71,61	248,14	1,03	828,53	-
<b>Total</b>	<b>2.895,52</b>	<b>2.768,17</b>	<b>2.516,31</b>	<b>1.295,59</b>	<b>66,69</b>	<b>64.707,04</b>	<b>238,34</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-13 Aporte porcentual de los sectores en las emisiones de cada contaminante**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Comparación con inventario de emisiones elaborado en el marco del PDA vigente

El inventario de emisiones actualizado en el presente estudio (ver Tabla 3-39) fue comparado con el inventario utilizado previamente en el AGIES del PDA vigente, que se presenta en la Tabla 3-40, con el propósito de detectar y estudiar las causas de variaciones en las emisiones. Dicho

inventario fue elaborado en el estudio “Actualización Inventario de Emisiones para la zona saturada de Coyhaique” (MMA, 2017a).

Se puede notar que, en el caso de las emisiones de combustión residencial y pellet, las emisiones en el inventario actualizado son menores a las del inventario con año base 2015. En particular, las emisiones de MP10 y MP2,5 son, respectivamente, un 63% y 62% menores en el inventario actualizado, en comparación al inventario del 2015. Esta disminución se debe a una reducción del consumo de leña, lo cual puede explicarse, por una parte, por el menor porcentaje de viviendas que cocinan con leña, tal como se detalla en el estudio del INFOR (Reyes et al., 2021). También ha influido el uso de fuentes de energía complementarias, cuyo acceso ha aumentado gracias al programa de recambio de calefactores, y la penetración del pellet. Adicionalmente, es relevante destacar que, en el inventario utilizado en el AGIES del PDA, las emisiones del sector residencial se estiman para la totalidad de la comuna de Coyhaique, mientras que en el presente estudio se estiman emisiones únicamente en el sector residencial urbano de la comuna.

Respecto a quemas e incendios, las emisiones de material particulado estimadas en el presente estudio son mayores. Esta diferencia puede deberse a que en el inventario con año base 2015 solo se consideraron quemas agrícolas y forestales autorizadas, mientras que en el presente estudio se consideran quemas autorizadas, incendios forestales e incendios urbanos.

En el caso de fuentes fijas, el inventario actualizado estima mayores emisiones para todos los contaminantes. Se debe notar que el inventario de 2015 estima emisiones solo para MP10 y MP2,5, y considera únicamente calderas, mientras que el inventario actualizado considera todas las fuentes fijas reportadas en el RETC. Adicionalmente, como se mencionó en la Sección 3.2.1, en el presente estudio no fue posible obtener información sobre la ubicación de las fuentes fijas, por lo que se consideraron todas las ubicadas dentro de la comuna de Coyhaique. Por lo tanto, en caso de ser posible contar con información más detallada, las emisiones serán actualizadas considerando solo las fuentes ubicadas dentro de la zona saturada. De todas formas, resulta razonable estimar un aumento de emisiones de fuentes fijas para 2023, en comparación con 2015, dada su relación con el aumento de la actividad económica.

Por último, las fuentes móviles también registran un aumento en las emisiones de todos los contaminantes, a excepción de NOx y SOx. Esto resulta razonable considerando el aumento del parque vehicular de Coyhaique, tanto por el crecimiento de la población como por el efecto que ha tenido la implementación de la Ley de Zona Franca en la región. En el caso de NOx y SOx, las emisiones disminuyeron un 46% y 66%, respectivamente. Estos cambios pueden deberse a la actualización de los factores de emisión utilizados en la nueva versión de MODEM, lo que fue identificado también en el estudio “Estimación de emisiones de fuentes difusas para la generación del décimo sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC” (GreenLab Dictuc, 2022).

**Tabla 3-40 Inventario de emisiones [ton/año] del AGIES del PDA Coyhaique y su área circundante, año base 2015**

Sector	MP10	MP2,5	SO2	NOx	NH3	CO
Residencial	6.614	6.260	35	844	611	163.306
Quemas e incendios forestales	0,4	0,4	0,1	0,3	-	2,5
Fuentes fijas	8,7	7,3	-	-	-	-
Móviles en ruta	14	13	3	457	12	535
<b>Total</b>	<b>6.637</b>	<b>6.281</b>	<b>38</b>	<b>1.301</b>	<b>623</b>	<b>163.844</b>

Fuente: Tabla 2 AGIES PDA Coyhaique y su área circundante

Además de lo anterior, es necesario tener en consideración los cambios metodológicos en la estimación de emisiones entre ambos estudios, en particular, en los factores de emisión utilizados.

### 3.4 Proyección de emisiones en horizonte de evaluación de 15 años

Se elaboró una proyección de emisiones para un horizonte de evaluación de 15 años a partir de 2023. En las siguientes subsecciones se presenta la metodología utilizada para la proyección del inventario de emisiones y los resultados obtenidos.

#### 3.4.1 Metodología para la 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 por las empresas (ej. RCAs). De acuerdo con la Ecuación 3-1 presentada en la Sección 3.2, 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 se relacionan con variaciones económicas o demográficas de la zona.
- FE o eficiencia de abatimiento: Cambios en el tiempo ocurren 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 sector o fuente emisora, y su eficiencia de abatimiento. Respecto a la proyección de la eficiencia de abatimiento de las distintas fuentes, ante la falta de información respecto al deterioro natural de las fuentes, se mantendrán constantes, a excepción de casos en que existe información sobre recambios tecnológicos comprometidos.

En términos generales, se consideran efectos por crecimiento poblacional (a partir de estadísticas del INE), crecimiento del parque de viviendas, crecimiento económico e industrial,



comportamiento de la población, y crecimiento del parque vehicular, para cada sector del inventario.

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

### 3.4.1.1 Proyección del Nivel de Actividad

Para proyectar el nivel de actividad en el tiempo se utiliza una tasa de crecimiento<sup>9</sup> anual, mediante la cual se elaboran vectores para el nivel de actividad. La proyección para cada sector se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación, utilizando un nivel de actividad base y una tasa de crecimiento:

#### Ecuación 3-11 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

Para determinar qué tasa de crecimiento utilizar en la proyección de los niveles de actividad sectoriales, el orden de preferencia entre las alternativas posibles se muestra a continuación, de mayor a menor confiabilidad:

1. Utilizar alguna proyección oficial de otro estudio del nivel de actividad o algún *proxy*<sup>10</sup> similar, tales como estudios de mercado u proyecciones de organismos oficiales como el INE.
2. Utilizar alguna proyección oficial del crecimiento del PIB o sector económico asociado al sector del nivel de actividad, tales como estudios elaborados por entidades como el Banco Central (Banco Central de Chile, n.d.).
3. Utilizar el crecimiento promedio de los últimos años del nivel de actividad.
4. Utilizar el crecimiento promedio de los últimos años del PIB asociado al sector económico.

Siguiendo la metodología descrita, los antecedentes utilizados para la proyección del nivel de actividad se detallan en la siguiente tabla.

---

<sup>9</sup> La cual puede ser negativa (en ese caso sería decrecimiento).

<sup>10</sup> Entiéndase *proxy* como un indicador u otra actividad con proyección similar al nivel de actividad de interés.

**Tabla 3-41 Referencias utilizadas para la proyección del inventario de emisiones**

Tipo de fuente	Referencia utilizada para tasa de crecimiento
<b>Fuentes fijas</b>	Proyección del PIB regional.
<b>Combustión residencial de leña y pellet</b>	Proyección viviendas, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural)* (INE, 2018).
<b>Incendios forestales</b>	Superficie quemada promedio por tipo de bosque, periodo 2019-2023 (CONAF).
<b>Incendios urbanos</b>	Proyección viviendas, estimada a partir de proyección de población por comuna y zona (urbana/rural)* (INE, 2018).
<b>Quemas agrícolas</b>	Proyección del PIB regional.
<b>Fuentes móviles</b>	Proyección población del área urbana de la comuna (INE, 2018).

(\*) Para el presente estudio se utilizó la proyección para el área urbana de la comuna de Coyhaique.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1.2 Proyección del Factor de Emisión

Los cambios en el FE se asocian a mejoras tecnológicas, recambio de equipos o deterioro de estos (que pueden estar en los compromisos de las RCAs o como respuesta ante la puesta en marcha de una norma de emisión a una fuente en particular). Comúnmente no se han proyectado ni existen lineamientos claros de cómo proyectarlos. Así, para la proyección se decide mantener constantes los factores de emisión.

### 3.4.1.3 Potenciales nuevas fuentes de emisión

Adicional a la proyección de las fuentes existentes previamente identificadas, se consideran potenciales nuevas fuentes de emisión en la zona. Para esto, se realizó una búsqueda de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Estudios de Impacto ambiental (EIA) de proyectos aprobadas desde el año 2018 en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), cuya localización esté dentro de la zona saturada.

En la Tabla 3-42 se presentan los proyectos considerados, junto con el año a partir del cual se incluye en la proyección, y la manera en la que se incluye. En general, se consideran directamente las emisiones estimadas en la DIA o EIA aprobada. Para definir un año de entrada a la proyección de las emisiones asociadas a cada proyecto, se revisó en qué fase se encuentra cada uno a través del SNIFA<sup>11</sup>; dicha fase se detalla en la Tabla 3-42. Además, cada potencial nueva fuente identificada por cada proyecto, fue clasificada según el sector del inventario de emisiones al cual corresponde, dividiéndose entre fuentes fijas y fuentes móviles. La sistematización de las emisiones de potenciales nuevas fuentes se encuentra disponible en el Anexo Digital "PDACOY-Emissiones\_Nuevas\_Fuentes.xlsx".

<sup>11</sup> <https://snifa.sma.gob.cl/Instrumento>

Cabe destacar que los proyectos que se encuentran actualmente en fase de operación no fueron considerados como potencial nueva fuente, dado que se asumió que sus emisiones ya se encontraban incluidas en las emisiones del año base 2023.

**Tabla 3-42 Potenciales nuevas fuentes identificadas en el marco del SEIA**

Proyecto	Fase	Año inclusión	Descripción de la modelación	RCA
<b>Planta de Almacenamiento de GLP para uso Residencial, Comercial e Industrial Coyhaique</b>	No iniciada la fase de construcción	2025	Se incluyen las emisiones estimadas por el titular del proyecto al ingresar la DIA al SEIA, para la fase de construcción y operación, según el cronograma presentado. Solo se consideran las emisiones dentro del área de aplicación del PDA.	20231100116/2023
<b>Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Coyhaique</b>	Operación sub fase 1 <sup>12</sup>	2024	Se incluyen las emisiones estimadas por el titular del proyecto al ingresar la DIA al SEIA, para las sub fases 1 y 2 de operación, y la sub fase 2 de construcción, según el cronograma presentado.	47/2019

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Resultado de la proyección de emisiones

En la Tabla 3-43 se presentan las emisiones totales por contaminante proyectadas hasta 2038, año base 2023, para la zona saturada de Coyhaique, incluyendo tanto fuentes existentes como potenciales nuevas fuentes (ver Sección 3.4.1.3). Se observa un aumento en las emisiones de todos los contaminantes explicado por el aumento en la población, el parque de viviendas de Coyhaique y el PIB de la región, de acuerdo con lo presentado en la Tabla 3-41.

<sup>12</sup> Si bien en el SNIFA no existe información sobre la fase del proyecto, se consultó información pública al respecto, pudiendo identificar que el año 2018 se desarrolló la fase de construcción: <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-22779.html>

**Tabla 3-43 Emisiones por contaminantes proyectadas en el periodo 2023 – 2038 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOx	SOx	CO	CN
2023	2.896	2.768	2.516	1.296	67	64.707	238
2024	2.905	2.778	2.525	1.318	68	64.895	239
2025	2.914	2.787	2.533	1.343	69	65.061	240
2026	2.922	2.794	2.540	1.362	70	65.212	240
2027	2.929	2.801	2.546	1.380	72	65.347	241
2028	2.935	2.806	2.551	1.399	73	65.446	241
2029	2.940	2.811	2.555	1.418	74	65.535	241
2030	2.944	2.815	2.559	1.437	75	65.611	242
2031	2.947	2.818	2.562	1.455	76	65.654	242
2032	2.949	2.820	2.564	1.472	77	65.671	242
2033	2.951	2.821	2.566	1.489	78	65.697	242
2034	2.952	2.822	2.566	1.505	79	65.687	242
2035	2.952	2.822	2.566	1.521	80	65.664	242
2036	2.953	2.823	2.568	1.536	81	65.675	242
2037	2.955	2.825	2.569	1.551	82	65.685	242
2038	2.956	2.826	2.570	1.566	82	65.695	242

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3-44 se presentan las emisiones totales por contaminante proyectadas hasta 2038, desagregada por fuentes existentes y potenciales nuevas fuentes. Las potenciales nuevas fuentes consideradas en la proyección de emisiones, tal como se explica en la Sección 3.4.1.3, corresponden a fuentes fijas y fuentes móviles de los proyectos en sus fases de construcción y/u operación. Se puede observar que las emisiones generadas por dichas fuentes son muy poco significativas respecto a las existentes; por ejemplo, en el caso del MP10, las nuevas fuentes aportarían, en promedio, un 0,04% de las emisiones de cada año evaluado.

**Tabla 3-44 Proyección de emisiones desagregada por fuentes existentes y potenciales nuevas fuentes, 2023 – 2038 [ton/año]**

Año	MP		MP10		MP2.5		NOx		SOx		CO	
	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva	Existente	Nueva
2023	2.896	-	2.768	-	2.516	-	1.296	-	67	-	64.707	-
2024	2.905	-	2.777	0,7	2.525	0,1	1.318	0,2	68	0,0	64.895	0,0
2025	2.914	0,8	2.786	1,1	2.532	0,3	1.340	2,2	69	0,1	65.060	1,0
2026	2.921	0,8	2.793	1,0	2.539	0,2	1.360	1,5	70	0,0	65.212	0,4
2027	2.929	0,8	2.800	0,9	2.546	0,1	1.379	1,0	72	0,0	65.347	0,2
2028	2.934	0,8	2.805	0,9	2.551	0,1	1.398	1,0	73	0,0	65.446	0,2
2029	2.939	0,8	2.810	0,9	2.555	0,1	1.417	1,0	74	0,0	65.535	0,2
2030	2.943	0,8	2.814	0,9	2.559	0,1	1.436	1,0	75	0,0	65.611	0,2
2031	2.946	0,8	2.817	0,9	2.562	0,1	1.454	1,0	76	0,0	65.654	0,2
2032	2.948	0,8	2.819	0,9	2.564	0,1	1.471	1,0	77	0,0	65.671	0,2
2033	2.950	0,8	2.821	0,2	2.566	0,1	1.488	0,8	78	-	65.697	0,1
2034	2.951	0,8	2.822	0,2	2.566	0,1	1.504	0,8	79	-	65.687	0,1
2035	2.951	0,8	2.822	0,2	2.566	0,1	1.520	0,8	80	-	65.664	0,1
2036	2.952	0,8	2.823	0,2	2.568	0,1	1.536	0,8	81	-	65.675	0,1
2037	2.954	0,8	2.825	0,2	2.569	0,1	1.551	0,8	82	-	65.685	0,1
2038	2.955	0,8	2.826	0,2	2.570	0,1	1.565	0,8	82	-	65.695	0,1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3-45 y la Tabla 3-46 se presentan las emisiones de MP10 y MP2.5, respectivamente, proyectadas hasta 2038 y desagregadas por sector. Además, de forma complementaria, en la Figura 3-13 y Figura 3-15 se ilustra también la proyección de emisiones de MP10 y MP2.5, respectivamente. Se puede observar que las emisiones de cada sector tienden a aumentar en el tiempo. Además, se mantiene la combustión de leña residencial como principal fuente emisora de MP10 y MP2.5, representando en promedio un 89% y 94% de las emisiones respectivamente, seguida de fuentes móviles.

**Tabla 3-45 Proyección de emisiones de MP10 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año]**

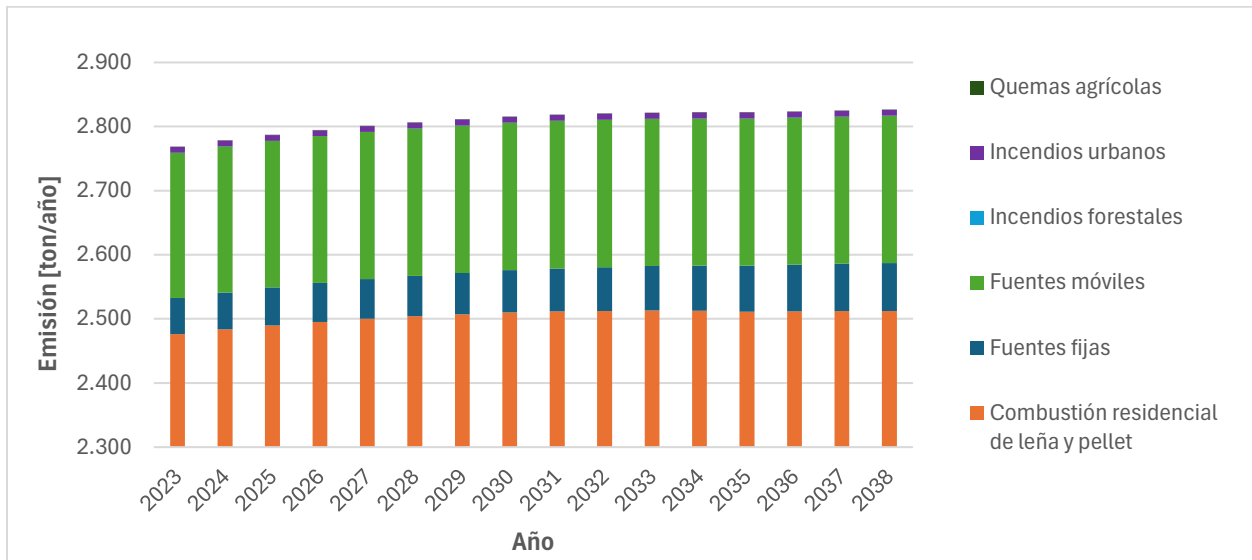
Sector	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
<b>Combustión residencial de leña y pellet</b>	2.476	2.484	2.490	2.495	2.500	2.504	2.507	2.510	2.512	2.512	2.513	2.512	2.511	2.512	2.512	2.512
<b>Fuentes fijas</b>	56	58	60	61	62	63	65	66	67	68	69	71	72	73	74	75
<b>Fuentes móviles</b>	226	228	228	229	229	230	230	230	231	231	230	230	230	230	230	230
<b>Incendios forestales</b>	4,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03	5,E-03
<b>Incendios urbanos</b>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Quemas agrícolas</b>	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02
<b>Total</b>	<b>2.768</b>	<b>2.778</b>	<b>2.787</b>	<b>2.794</b>	<b>2.801</b>	<b>2.806</b>	<b>2.811</b>	<b>2.815</b>	<b>2.818</b>	<b>2.820</b>	<b>2.821</b>	<b>2.822</b>	<b>2.822</b>	<b>2.823</b>	<b>2.825</b>	<b>2.826</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-46 Proyección de emisiones de MP2.5 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año]**

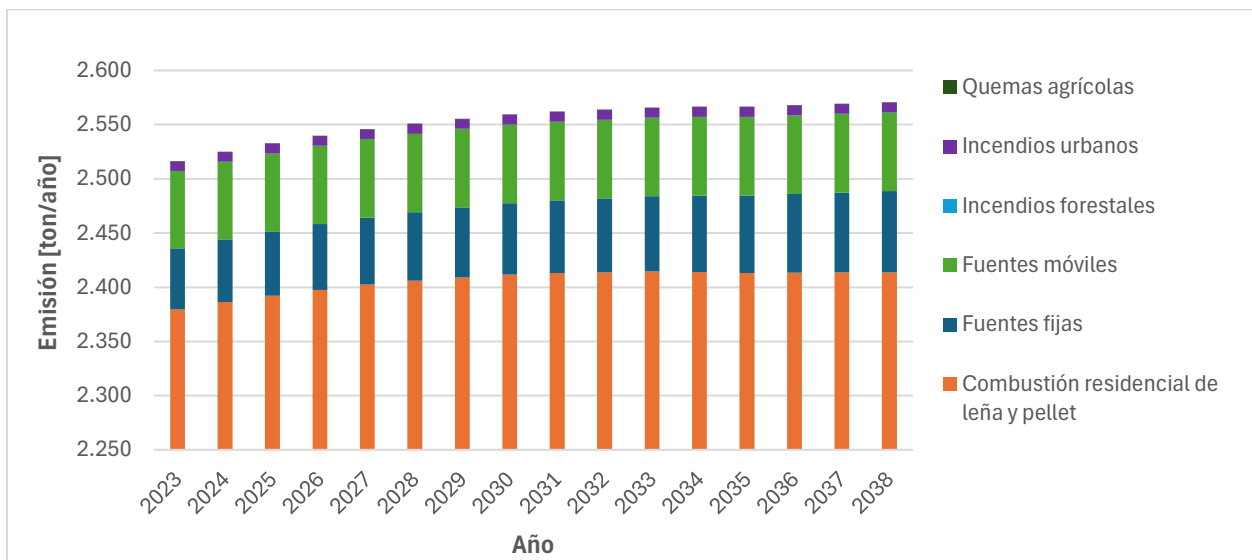
Sector	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
<b>Combustión residencial de leña y pellet</b>	2.379	2.386	2.392	2.398	2.402	2.406	2.409	2.412	2.413	2.414	2.415	2.414	2.413	2.413	2.414	2.414
<b>Fuentes fijas</b>	56	58	59	61	62	63	64	66	67	68	69	71	72	73	74	75
<b>Fuentes móviles</b>	72	72	72	72	72	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
<b>Incendios forestales</b>	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03	3,E-03
<b>Incendios urbanos</b>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Quemas agrícolas</b>	9,E-03	9,E-03	9,E-03	9,E-03	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02	1,E-02
<b>Total</b>	<b>2.516</b>	<b>2.525</b>	<b>2.533</b>	<b>2.540</b>	<b>2.546</b>	<b>2.551</b>	<b>2.555</b>	<b>2.559</b>	<b>2.562</b>	<b>2.564</b>	<b>2.566</b>	<b>2.566</b>	<b>2.566</b>	<b>2.568</b>	<b>2.569</b>	<b>2.570</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-14 Proyección de emisiones de MP10 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año]**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-15 Proyección de emisiones de MP2.5 por sector, periodo 2023-2038 [ton/año]**

Fuente: Elaboración propia

## **4. Análisis técnico de implementación de las medidas establecidas en el PDA vigente**

### **4.1 Evaluación técnica de la efectividad e implementación de las principales medidas y programas estratégicos del PDA vigente**

Se identifica, analiza y evalúa técnicamente la efectividad e implementación de las principales medidas y programas estratégicos del PDA vigente, respecto de su estado de avance y su impacto en la reducción de la contaminación atmosférica.

#### **4.1.1 Revisión de estudios y reportes**

Para evaluar la coherencia de las medidas con las metas de reducción de emisiones comprometidas y analizar el impacto de la implementación del PDA en la evolución de la calidad del aire, específicamente con las concentraciones de MP10 y MP2,5 en la zona saturada desde el año 2019, se revisaron los siguientes estudios y reportes:

- Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente (Centro de Sistemas Públicos, 2019).
- Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile (Solís et al., 2022).
- Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP2,5 y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile (Muñoz-Ibáñez & Cáceres-Lillo, 2020).
- Particulate matter in urban areas of south-central Chile exceeds air quality standards (Molina et al., 2017).

En las siguientes subsecciones se presentan los hallazgos detallados de cada uno de los documentos revisados.

##### **4.1.1.1 Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente**

Este documento corresponde a la evaluación del Programa “Recambio de Calefactores a Leña” del Ministerio del Medio Ambiente entre 2014 y 2017. Su objetivo es evaluar la modalidad de los bienes entregados por el programa, así como analizar los criterios y mecanismos de gestión, ejecución y desempeño utilizados para su implementación. Además, el documento ofrece sugerencias en diversos ámbitos del programa, con el objetivo de contribuir a su mejora. Estas recomendaciones abarcan desde los requisitos de postulación hasta el proceso de compra de los artefactos.

El Programa “Recambio de Calefactores a Leña” es una medida que pretende mejorar la calidad del aire mediante la reducción de emisiones en el sector residencial. Su objetivo es reemplazar calefactores a leña, que presentan una alta emisión de partículas contaminantes y baja eficiencia



energética, por artefactos más eficientes y menos contaminantes. El programa consiste en la compra de estos artefactos, su entrega a los hogares que cumplen con los requisitos establecidos, y el retiro de los calefactores antiguos.

En la Tabla 4-1 se presentan los parámetros para la población objetivo del programa. Los datos se dividen en dos secciones principales: Análisis de población potencial y Población objetivo según el PDA. Es posible analizar el número de viviendas y artefactos disponibles, así como el número de recambios esperados. Se observan diferencias entre las regiones en la cantidad de viviendas, personas y la proporción de artefactos por hogar, siendo Aysén la región con el promedio más alto, de 1,7 artefactos por vivienda.

**Tabla 4-1 Parámetros para la población objetivo del Programa**

Región / PDA	Análisis Población Potencial				Población Objetivo PDA	
	N° viviendas en polígono PDA	N° de personas estimadas por polígono PDA	N° artefactos PDA	Artefactos / Vivienda	N° calefactores a recambiar	N° viviendas sujetas a recambios
O'Higgins	245.245	760.260	-	-	12.000	12.000
Maule	139.737	433.185	59.401	0,4	18.000	18.000
Biobío	54.000	167.400	48.860	0,9	35.000	35.000
Araucanía	114.752	355.731	74.440	0,6	37.000	37.000
Los Lagos	44.100	136.710	49.756	1,1	25.000	25.000
Aysén	18.658	57.840	32.269	1,7	15.000	15.000

Fuente: Elaboración propia en base a (Centro de Sistemas Públicos, 2019)

La Tabla 4-2 muestra el total de recambios de calefactores realizados en los diferentes PDA entre los años 2015 y 2017. En ella se comparan los resultados obtenidos con las metas establecidas y el porcentaje de avance logrado hasta la fecha. Se observa que el mayor número de recambios se realizó en 2017, con un total de 6.391, mientras que el total acumulado en los tres años es de 12.826 recambios, de una meta de 143.000, lo que corresponde a un 9% del objetivo cumplido. Además, se observa que el mayor porcentaje de avance en el cumplimiento de la meta se presenta en la zona de Coyhaique, con 27,9%, alcanzando un total de 2.793 recambios de una meta de 10.000. Ese dato resulta especialmente relevante para el presente estudio, dado que se pretende evaluar la efectividad del PDA de Coyhaique.

**Tabla 4-2 Total de recambios de calefactores que contribuyen a la meta del PDA**

PDA	2015	2016	2017	Total	Meta	% Avance	Años Transcurridos
Valle Central O'Higgins	0	1.063	213	<b>1.276</b>	12.000	10,6%	5/10
Talca y Maule	356	350	1.300	<b>2.006</b>	13.000	15,4%	2/10
Chillán y Chillán Viejo	0	218	499	<b>717</b>	20.000	3,6%	2/8
Temuco y Padre de las Casas	574	1.686	1.538	<b>3.798</b>	37.000	10,3%	3/5
Valdivia	0	0	265	<b>265</b>	26.000	1%	1/8
Osorno	0	1.085	886	<b>1.971</b>	25.000	7,9%	2/10
Coyhaique	68	1.035	1.690	<b>2.793</b>	10.000	27,9%	2/10
<b>Total</b>	<b>998</b>	<b>5.437</b>	<b>6.391</b>	<b>12.826</b>	<b>143.000</b>	<b>9%</b>	

Fuente: Elaboración propia en base a (Centro de Sistemas Públicos, 2019)

En la Tabla 4-3 se presenta el porcentaje de reducción de emisiones según el PDA. Se detallan las emisiones totales de calefacción residencial a leña, las emisiones reducidas por el programa de recambio y el porcentaje de reducción alcanzado. Se observa un alto porcentaje de reducción en la mayoría de las zonas, siendo Osorno la que posee el mayor porcentaje de reducción, con un 54%, seguida de Coyhaique con un 49%. En total, el programa ha logrado reducir 12,3 mil toneladas de MP2,5 al año, lo que representa una reducción del 25% en comparación con las emisiones iniciales de 48,4 mil toneladas por año.

**Tabla 4-3 Porcentaje de Reducción de Emisiones**

PDA	Total emisiones calefacción residencial leña [miles ton MP2,5/año]	Emisiones reducidas programa recambio [miles ton MP2,5/año]	% Reducción emisiones programa recambio
Valle Central O'Higgins	15,4	1,5	10%
Talca y Maule	6,6	1,6	24%
Chillán y Chillán Viejo	5,2	2,2	43%
Temuco y Padre de las Casas	13,7	3,1	22%
Osorno	5,3	2,8	54%
Coyhaique	2,2	1,1	49%
<b>Total</b>	<b>48,4</b>	<b>12,3</b>	<b>25%</b>

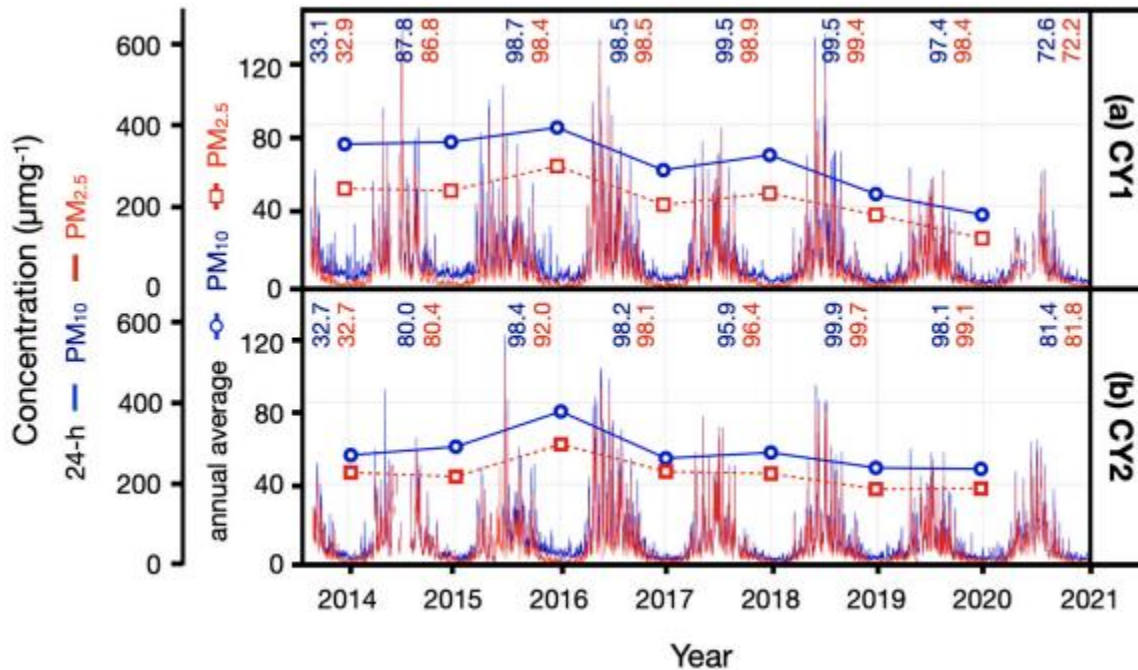
Fuente: Elaboración propia en base a (Centro de Sistemas Públicos, 2019)

#### 4.1.1.2 Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile

El documento presenta la evolución de la contaminación del aire en la ciudad de Coyhaique durante siete años, de 2014-2020, y analiza los niveles de contaminación por material particulado (MP) en dos estaciones de monitoreo. El objetivo es determinar el nivel de exposición de la población ante la contaminación del aire durante este periodo, comprender las tendencias en la contaminación por MP y evaluar el efecto de meteorología en los niveles de MP en la ciudad.

En la Figura 4-1 se muestra la serie temporal de las concentraciones de MP10 y MP2,5 para ambas estaciones de monitoreo en el periodo 2013-2020. Se observan *peaks* marcados durante ciertos meses, lo que indica que las concentraciones presentan variaciones estacionales. Los días más

contaminados corresponden a los meses de invierno, caracterizados por bajas temperaturas, baja velocidad del viento y altos niveles de MP2,5 y MP10. Estos aumentos en la contaminación se relacionan principalmente con la mayor emisión de material particulado debido al uso intensivo de leña para calefacción y cocina residencial.



**Figura 4-1 Serie temporal de la concentración de MP2,5 y MP10 entre 2013-2020**

Fuente: (Solís et al., 2022)

Respecto a la variación diaria, se observan *peaks* para ambos contaminantes durante la mañana, entre las 6:00 am y las 10:00 am, y otro de mayor intensidad y duración en la tarde, entre las 6:00 pm y las 11:00 pm. Durante la mañana, las viviendas comienzan a quemar leña para calefacción y cocina, además, se presenta una menor capacidad de dispersión en la atmósfera, generada por la inversión térmica nocturna y una baja velocidad del viento, que contribuye al aumento de MP. En la tarde, las personas regresan del trabajo, la temperatura ambiente disminuye y comienzan a quemar leña para calefacción. Además, en Coyhaique el uso de leña con alto contenido de humedad, que es más económica, es un factor importante en el aumento de emisiones, ya que reduce la temperatura de combustión en las estufas y provoca una mayor emisión de compuestos.

En la Figura 4-1 se observa una tendencia a la baja en ambas concentraciones en las dos estaciones de monitoreo. En la Tabla 4-4 se presenta la variación en la reducción de estos contaminantes, según el análisis de Theil-Sen realizado con Openair en el estudio. Se observa una mayor disminución de la tendencia de MP10 en la estación CY1 respecto a CY2, lo cual puede atribuirse a fuentes locales y a pesar de la proximidad de las estaciones, existen diferencias en su

entorno: ambas se encuentran en una zona residencial, pero CY2 tiene una menor densidad residencial y es más abierto, con más espacio entre residencias.

**Tabla 4-4 Variación en la reducción de contaminante para las estaciones**

	CY1	CY2	Promedio
<b>MP10 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3\text{año}</math>]</b>	-7,5 a -4,3	-4,7 a -1,4	-5,7 a -2,9
<b>MP2,5 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3\text{año}</math>]</b>	-4,7 a -1,7	-3,8 a -1	-3,5 a -1,3

Fuente: Elaboración propia en base a (Solís et al., 2022)

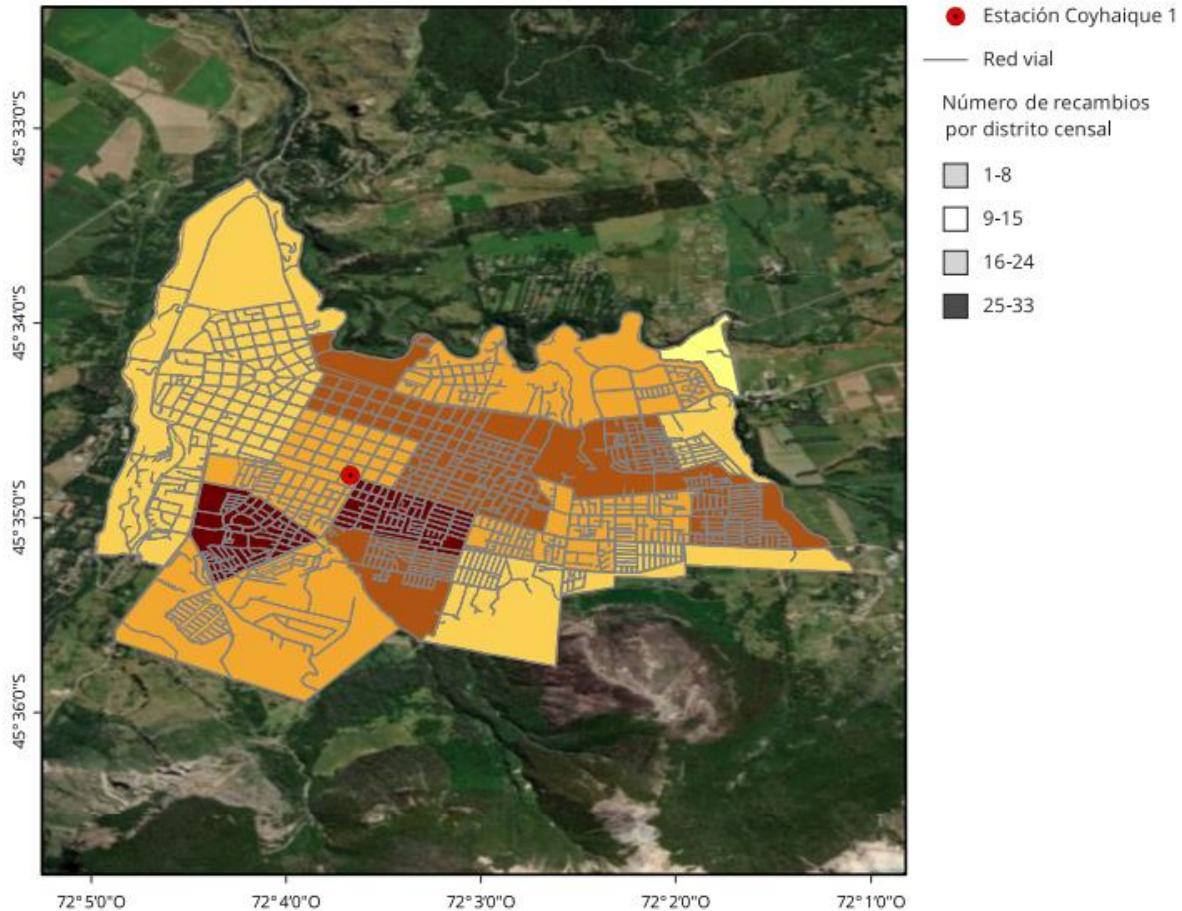
Entre los años 2014 y 2020 se evidencia una disminución en las concentraciones de MP2,5 y MP10, lo cual se puede atribuir a los programas gubernamentales implementados en la ciudad para mitigar el impacto de la contaminación por MP en la salud de la población. La estrategia del Ministerio del Medio Ambiente para reducir las emisiones se basa en cuatro pilares: i) el reemplazo de estufas más eficientes; ii) mejorar la calidad de la leña, reduciendo su contenido de humedad y promoviendo el uso de otros combustibles; iii) mejorar el aislamiento térmico de las viviendas; y iv) generar conciencia y educar a las comunidades sobre el uso adecuado de la leña.

Como resultado, se han implementado diversas medidas en Coyhaique que están logrando reducir las emisiones. A pesar de estas disminuciones en los niveles de contaminación por partículas en Coyhaique, los promedios anuales de MP2.5 y MP10 en Coyhaique continúan superando los umbrales establecidos por la OMS y CAQS. Durante los siete años de análisis, se ha excedido en más del 55% y 75% los límites recomendados por la OMS para MP10 y MP2,5, respectivamente.

#### **4.1.1.3 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, así con el número de ingresos hospitalarios diarios por urgencias respiratorias, comparando el año 2014, cuando no se había realizado el recambio, con los de 2016 tras la implementación.

En la Figura 4-2 se presenta un plano de la ciudad, la ubicación de la estación de monitoreo EMCA-Coy1 y el número de RTC realizados. La Tabla 4-5 presenta la distribución de los tipos de calefactores reemplazados según el nivel de aislamiento térmico de las viviendas. Se observa que el 85% de los recambios (788 de 925) se realizaron en viviendas que no estaban térmicamente aisladas.



**Figura 4-2 Mapa de la ciudad de Coyhaique, Chile, con el número de RTC, año 2016**

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

**Tabla 4-5 Recambio de tecnología de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda**

Calefactor	Aisladas n (%)	No aisladas n (%)	Total n (%)
Leña	81	419	500
Keroseno	51	339	390
Pellet	5	30	35
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>788</b>	<b>925</b>

Fuente: Elaboración propia en base a (Muñoz-Ibáñez & Cáceres-Lillo, 2020)

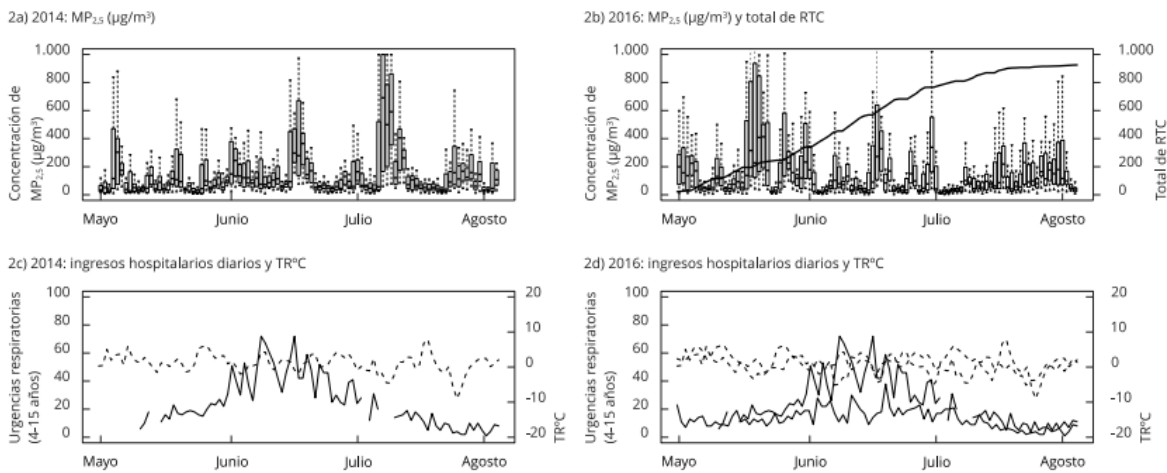
En la Tabla 4-6 se presentan las estadísticas descriptivas de los datos recopilados para los años 2014 (sin recambio) y 2016 (con recambio). Se observa que en 2014 se reportó el doble de urgencias respiratorias en comparación con 2016, siendo la mayoría de los casos correspondientes al grupo etario de 4 a 15 años. Por otro lado, el promedio diario de MP2,5 durante el periodo (CPD) muestra valores altos y similares en ambos años. Respecto al número de horas en que la concentración de MP2,5 superó los 50 µg/m<sup>3</sup> (HD50), en 2016 se registró una menor cantidad de horas por sobre la norma.

**Tabla 4-6 Datos recopilados para ingresos hospitalarios**

	2014 (sin recambio)	2016 (con recambio)
<b>N° total de RTC</b>	0	925
<b>N° de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria</b>		
<b>Grupo de 4 a 15 años</b>	180	89
<b>Total</b>	240	117
<b>Promedio diario</b>	1,8	0,9
<b>CPD-MP2.5 (µg/m³) [promedio diario del periodo]</b>	140,1	148,1
<b>HD50-MP2,5 (horas &gt; 50 µg/m³) [n° de horas totales del periodo]</b>	1.501	1.390
<b>HD50-MP2,5 (horas &gt; 50 µg/m³) [promedio diario del periodo]</b>	16,14	14,95
<b>TR°C [promedio diario del periodo]</b>	1,04	0,69

Fuente: Elaboración propia en base a (Muñoz-Ibáñez & Cáceres-Lillo, 2020)

La Figura 4-3 presenta la distribución diaria de las concentraciones horarias de MP2,5 cada 24 horas, incluyendo el número acumulado de RTC en 2016 y los ingresos hospitalarios por urgencias respiratorias. En mayo de 2016, cuando comenzaron los recambios, las concentraciones de MP2,5 alcanzaron más de 500 µg/m³. Posteriormente, en julio, con más de 750 calefactores reemplazados, los valores observados de MP2,5 no superan los 300 µg/m³. En cambio, en 2014, sin recambios, la tendencia de MP2,5 asciende a lo largo de los meses, superando los 500 µg/m³ en julio. Además, en ambos periodos se observa que las urgencias respiratorias se concentran entre junio y julio, siendo de mayor magnitud el año 2014 con respecto al 2016. Esto refleja el impacto en la disminución de las concentraciones ambientales que ha tenido el recambio de calefactores en Coyhaique.



**Figura 4-3 Distribución diaria de las concentraciones horarias de MP2,5 cada 24 horas**

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

Se puede determinar que el recambio de calefactores genera una disminución en el número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria, al comparar con el periodo sin recambio, lo cual

tiene relación con la disminución de horas-día en que las concentraciones de MP2,5 sobrepasan los límites definidos como de riesgo para la población.

Además, el documento presenta brevemente el caso de Libby, una localidad rural de Montana (EE.UU.), con características geográficas y meteorológicas similares a Coyhaique. Entre 2005 y 2009, se evaluó el efecto del recambio de 1.100 calefactores a leña, se reporta una disminución del 27,6% en la concentración de MP2,5 y en las urgencias respiratorias infantiles. De manera similar, en un estudio realizado en la ciudad de Launceston, Australia, evaluó el impacto de las estrategias implementadas para reducir la contaminación por combustión de leña en los indicadores de morbilidad y mortalidad por causa respiratoria. En dicho estudio, se observó una reducción del 60% en los niveles de MP10 en un periodo de seis años posteriores a la implementación de estas estrategias.

Por otro lado, si se considera que 925 calefactores dejaron de emitir, en promedio, 40 g/h de MP2,5 a la atmósfera y asumiendo que operan 12 horas al día, la disminución total de emisiones supera las 43,5 toneladas de MP2,5 en un área de 7,3 km<sup>2</sup>. Cabe destacar que sólo un 14,8% de las viviendas con RTC fueron mejoradas térmicamente, lo que indica que el impacto de los recambios podría ser mayor al aislar el total de las viviendas. El PDA de Coyhaique sigue en desarrollo con diversas acciones de gestión ambiental, no sólo enfocadas en el recambio de calefactores, los cuales deberían generar un impacto significativo en la reducción de las emisiones de MP y otros contaminantes derivados de la combustión de leña.

#### **4.1.1.4 Particulate matter in urban areas of south-central Chile exceeds air quality standards**

Este documento analiza la calidad del aire de partículas MP10 y MP2,5 en 23 estaciones de monitoreo ubicadas en 16 ciudades del centro-sur de Chile, durante un periodo de 8 años (2007-2014), comparando las concentraciones medias anuales y máximas con los límites establecidos por la OMS y las normativas nacionales. Las ciudades consideradas son Rancagua, Rengo, San Fernando, Curicó, Talca, Maule, Chillán y Chillán Viejo, Gran Concepción, Coronel, Los Ángeles, Temuco y Padre Las Casas, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Coyhaique y Punta Arenas

El análisis muestra que las concentraciones medias anuales en las estaciones de monitoreo varían significativamente. En Coyhaique, se evidencia que la concentración de MP10 supera los 80 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para MP2,5 alcanza los 57 µg/m<sup>3</sup>, siendo la máxima emisión entre las ciudades estudiadas. En términos generales, las concentraciones más altas ocurren durante los meses de otoño e invierno (abril a septiembre), mientras que las más bajas se registran en primavera y verano (octubre a marzo), es decir, en el período cálido del año. Lo anterior hace sentido, ya que durante los meses fríos la calefacción con leña produce emisiones que constituyen la fuente principal de partículas. Además, las concentraciones más altas se midieron en la mañana (6:00–10:00am) y en la noche (18:00–21:00pm), lo que se relaciona con un aumento en las emisiones de la población y con las condiciones atmosféricas predominantes en esos horarios.

Al comparar la calidad del aire de las ciudades con los límites establecidos, se obtiene que las concentraciones en todas las ciudades superaron los valores recomendados por la OMS (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y por el Ministerio del Medio Ambiente (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El límite de la OMS para MP<sub>2,5</sub> se superó en al menos un tercio de los días del año (>120 días) en ciudades como Rancagua, Rengo, Curicó, Talca, Chillán, Los Ángeles, Temuco, Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Coyhaique. En cuanto a MP<sub>10</sub>, el estándar chileno fue superado en más de la mitad de los días del año para Rancagua, Rengo, San Fernando, Los Ángeles, Chillán y Coyhaique.

Para mitigar el impacto de la combustión de leña en la calidad del aire, el Ministerio del Medio Ambiente ha diseñado e implementado una estrategia que incluye: (i) reducir las emisiones y mejorar la eficiencia de los artefactos de quema, (ii) mejorar la capacidad de secado de la leña, (iii) mejorar el aislamiento térmico de las viviendas y (iv) concientizar y educar a las comunidades sobre los impactos en la salud asociados con la leña. Sin embargo, esta estrategia no ha sido completamente efectiva debido a varios factores: el uso excesivo de leña está vinculado a factores culturales, ya que la calefacción con leña se asocia históricamente al calor del hogar; factores económicos, debido a que la leña ha sido tradicionalmente una fuente de calefacción más económica; y factores geográficos, dado que su uso es más frecuente en climas fríos y húmedos.

Por lo tanto, en las ciudades de la región sur de Chile, algunas medidas de mitigación no han logrado reducir de manera efectiva las emisiones, lo que expone a la población a concentraciones de MP con potenciales impactos negativos en la salud. Es necesario encontrar alternativas para controlar el uso residencial de leña y minimizar sus impactos ambientales y en la salud, sin afectar la economía de los hogares que actualmente utilizan leña.

#### **4.1.2 Estado de avance de las medidas del Plan**

Se realiza un análisis del estado de avance de las medidas del PDA vigente, con respecto al cumplimiento de las actividades comprometidas según plazos, formas y alcances. Para ello, se revisaron los Informes de Estado de Avance del PDA desde 2017 a 2023<sup>13</sup> para complementar la evaluación del avance de cada medida. En la Tabla 4-7 se presenta la evaluación del avance de las medidas. Se observa una evaluación para las 86 medidas sistematizadas del PDA vigente, de las cuales aproximadamente 56 reportan un avance, 3 medidas no están vigentes, y 16 fueron clasificadas como una medida completa debido a que cumplen con el alcance solicitado en la implementación y presenta una evidencia de su cumplimiento a través de documentos o enlaces a páginas web. Por otro lado, existen aproximadamente 6 medidas sin avances, entre las que destacan organismos municipales como la Municipalidad de Coyhaique y el Departamento de Tránsito del Municipio, Carabineros de Chile, la Seremi de Salud y MINVU.

---

<sup>13</sup> Disponibles en: <https://snifa.sma.gob.cl/Instrumento/AvancePpda>



Tabla 4-7 Evaluación del avance de las medidas del PDA vigente

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M1	Coordinación para la Ordenanza Municipal, regula comercio de leña	Debe coordinar con Municipalidad de para elaborar Ordenanza que regula comercio de leña	4	Seremi del Medio Ambiente	Realización de acciones de coordinación junto con el municipio tendientes a la elaboración de la Ordenanza	Si	Medida con avance; se coordina para retomar la ordenanza se llega a informe borrador
M2	Ordenanza Municipal para regular comercio de la leña	Formalizar venta de leña, registrar comerciantes, patente comercial, venta ambulante o en vehículos	4	Municipalidad de Coyhaique	Existencia de Ordenanza Municipal de Coyhaique	No	Medida con avance; Ordenanza tiene borrador, se somete a consulta de participación ciudadana, no formalizada: <a href="https://www.coyhaique.cl/portalmunicipalidad/files/borradorordenanzalena.pdf">https://www.coyhaique.cl/portalmunicipalidad/files/borradorordenanzalena.pdf</a>
M3	Contar con xilohigrómetro	Comerciantes de leña deben tener un xilohigrómetro y verificar la humedad leña	5	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de fiscalización de existencia de xilohigrómetro ejecutadas año t respecto de a las programadas para el año t	0%	Medida con avance; se reporta el n° de fiscalizaciones a la tenencia de xilohigrómetro por año
M4	Estándares de leña comercializada	Leña comercializada debe cumplir los requerimientos de Norma NCh 2907, según especificación de "leña seca" de la tabla 1 de dicha norma	5	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de fiscalización a venta de leña ejecutadas año t respecto a las programadas para el año t	0%	Medida con avance; se reporta en número de fiscalizaciones al comercio de leña por año
M5	Coordinación para aumento de oferta leña seca	Coordinar acciones para aumentar gradualmente la oferta de leña seca	6	Seremi de Energía	Coordinación con los organismos sectoriales pertinentes	Si	Medida con avance; se genera coordinación por la difusión del "Sello de Calidad de Leña".
M6	Catastro de comerciantes de leña	Crear catastros comerciantes de leña, a actualizar cada 3 meses y difundir información sobre porcentaje de humedad, indicadores de energía calórica y precios	6.a	Seremi de Energía	Existencia Catastro de comerciantes de leña seca dentro de la zona sujeta al Plan y su difusión	Si	Medida con avance; se reporta un catastro por "Sello de Calidad de la Leña", existen 24 comerciantes, de los cuales 13 realizan sus ventas en la comuna: <a href="https://www.sellocalidadlena.cl/">https://www.sellocalidadlena.cl/</a>

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M7	Cuantificación de la Oferta de leña seca disponible	Cuantificar al año la oferta de leña seca disponible y reportarla a la Seremi del Medio Ambiente antes del 31 de marzo	6.b	Seremi de Energía	Reporte de la Seremi del Medio Ambiente de la cuantificación de leña seca disponible en la zona	Si	Medida con avance; se reporta el monitoreo de la cantidad de leña de Coyhaique en m <sup>3</sup> estéreos por año
M8	Programas asociados al fomento de leña seca	Servicios con programas de fomento de leña seca, deben informar anual a la Seremi de Energía sobre los programas y los medios de verificación para seguimiento y trazabilidad	6.b	Seremi de Energía	Existencia de documento que recopila informes de los servicios que hayan implementado programas asociados al fomento de la energía	Si	Medida con avance; se informa la ejecución de capacitaciones y programas como "Leña Más Seca" y "Centros Integrales de Biomasa" para el fomento de leña
M9	Coordinación con Municipio para información del comercio de leña	Una vez dictada la Ordenanza Municipal del Art.4, la Seremi de Energía deberá coordinarse con la Municipalidad para obtener información sobre el comercio	6	Seremi de Energía	Documento que compila la información entregada por el municipio del comercio de leña en la zona	Si	Medida de reporte único, reportada el año 2021
M10	Programa de fomento productivo para comerciantes y productores de leña	Diseñar e implementar programas para comerciantes y productores de leña seca u otros combustibles para calefacción residencial que se ubiquen en las comunas de Coyhaique, Aysén y Río Ibáñez	7	Seremi de Energía	Implementación de programas dirigidos a comerciantes y productores de leña seca u otros combustibles energéticos destinados para la calefacción	Si	Medida de reporte único; se reporta desde 2020 - 2022 los programas de fomento realizados
M11	Programa de Inversión regional de leña seca	Programa para aumentar la oferta de leña seca, financia a productores y comerciantes de leña para infraestructura o maquinaria. Incrementar capacidad de secado 100.000 m <sup>3</sup> estéreo/ anuales	8	Seremi de Energía	Porcentaje de la capacidad teórica de secado de los proyectos financiados con respecto de capacidad teórica de secado meta 100.000 m <sup>3</sup> anuales	20%	Medida con avance; se reportan por años los programas realizados
M12	Fondos para el Programa de Inversión regional de leña seca	Energía se coordinará con GORE para obtener los fondos sectoriales y/o regionales en el marco de Programa de Inversión	8	Seremi de Energía	Cantidad de proyectos financiados con fondos del Ministerio de Energía como con recursos del GORE	2	Medida con avance; se coordinan para obtener fondos y reportan el monto entregado por programa

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M13	Disminución de las emisiones de material particulado en red domiciliaria	Priorizar acciones de la Política Energética Regional con impacto en la disminución de emisiones de MP, implementación con fondos sectoriales o FNDR	9	Seremi de Energía	Cantidad de acciones priorizadas con impacto significativo en la disminución de las emisiones de MP	1	Medida de reporte único; reportada en 2021, "Política Energética Aysén" con acciones: <a href="https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo_ch95/appinstances/media204/POLITICA-ENERGETICA-AYSEN-2050.pdf">https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo_ch95/appinstances/media204/POLITICA-ENERGETICA-AYSEN-2050.pdf</a>
M14	Campaña comunicacional del buen uso de la biomasa	Diseñar e implementar una campaña comunicacional para promover el buen uso de la biomasa	10	Ministerio de Energía	Diseño e implementación de la Campaña comunicación a la promoción del buen uso de la biomasa	Si	Medida de reporte único; reportada el año 2020
M15	Prohibición uso de chimeneas de hogar abierto	A partir de la entrada de vigencia del decreto, se prohíbe uso de chimeneas de hogar abierto en viviendas	11.a	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones realizadas al uso de chimeneas de hogar abierto en el año t	N/A	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año, no se fiscaliza si no se presenta denuncias
M16	Prohibición de la quema en calefactores y cocinas a leña, de combustibles prohibidos	Se prohíbe la quema en los calefactores y cocinas a leña, de combustibles como carbón mineral, maderas impregnadas, residuos o cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera	11.a	Seremi de Salud	Total de fiscalizaciones realizadas por quema de combustibles distintos a la leña, briquetas o pellets de madera en cocinas a leña y calefactores, en el año t	N/A	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año, no se fiscaliza si no se presenta denuncias
M17	Prohibición de uso de calefactores a leña tipo hechizo y salamandra	Desde el 1 de enero de 2021, se prohíbe uso de calefactores a leña tipo hechizo y salamandra en viviendas del Plan	11.b	Seremi de Salud	Total de fiscalizaciones por uso de calefactores a leña tipo hechizo y salamandra en el año t	N/A	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año, no se fiscaliza si no se presenta denuncias
M18	Prohibición de uso de calefactores a leña tipo cámara simple	Desde el 1 de enero de 2025, se prohíbe uso de calefactores a leña tipo cámara simple en viviendas	11.c	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones realizadas al uso de calefactores a leña tipo cámara simple el año t	N/A	Medida no vigente, vigencia a partir del año 2025
M19	Prohibición de uso de calefactores que no cumplan con DS N° 39/2011 MMA	Desde el 1 de enero de 2026, se prohíbe uso de calefactores a leña que no cumplan la norma de emisión del DS N° 39/2011 del MMA, excepto los recambiados	12	Seremi de Salud	Número total fiscalizaciones realizadas al uso de calefactores a leña que no cumplen con DS N° 39/2011 MMA	N/A	Medida no vigente, vigencia a partir del año 2026

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M20	Programa de recambio de artefactos a leña	Se ejecutará anualmente el programa de recambio de artefactos a leña por otros de menor emisión. Contempla al menos 15.000 calefactores y/o cocinas a leña en 8 años.	13	Seremi del Medio Ambiente	Porcentaje acumulado de artefactos recambiados por otros de menor emisión, respecto del total de meta (15.000 artefactos)	61%	Medida con avance; se reporta por año el número de recambios realizados, siendo 9.134 en total para 2023, no se realizaron postulaciones en 2023 sino bases de licitación
M21	Programa de recambio de artefactos a leña (que utilicen combustibles distintos a la leña)	Al menos 14.000 recambios del programa deben ser por artefactos de combustible distinto a la leña, incluyendo aquellos que utilicen electricidad	13	Seremi del Medio Ambiente	Porcentaje acumulado de artefactos recambiados que utilicen un combustible distinto a la leña, respecto del total de artefactos meta (14.000 artefactos)	62%	Medida con avance; se reporta por año el número de recambios realizados, siendo 8.634 en total para 2023, no se realizaron postulaciones en 2023 sino bases de licitación
M22	Requisitos específicos del programa de recambio	Los requisitos específicos del programa serán establecidos anualmente por el MMA	13	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución de requisitos específicos del programa de recambio de artefactos a leña	Si	Medida de reporte único; reportada en 2020, se entrega información del "Programa de Recambio de Calefactores", que incluye requisitos para postular: <a href="https://calefactores.mma.gob.cl/">https://calefactores.mma.gob.cl/</a>
M23	Programa de recambio de artefactos a leña por calderas de alta eficiencia	Se recambiará calderas a leña existentes por calderas de alta eficiencia para calefacción y agua caliente sanitaria	13	Seremi del Medio Ambiente	Numero de calderas o artefactos a leña de una edificación que hayan sido cambiados en el año t	0	Medida sin avance; servicio lo reporta sin avances
M24	Financiamiento para mejorar oferta en dendroenergía y nuevas fuentes energéticas	Disponer de instrumentos para financiar prototipos y proyectos que mejoren las condiciones de la oferta actual en dendroenergía y nuevas fuentes energéticas	14.a	CORFO	Número de instrumentos entregados para el financiamiento de proyectos que mejoren la oferta actual en dendroenergía	4	Medida con avance; se reportan los programas y/o proyectos
M25	Programa de Garantías para créditos de inversión para el área de eficiencia energética y sustentabilidad	Programa de garantías para apoyar a las empresas regional del área sustentabilidad y eficiencia energética en el cumplimiento normativo	14.b	CORFO	Programa de Garantías para créditos de inversión y escalamiento	Si	Medida con avance; se reportan los programas como el Programa Crédito Verde: <a href="https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias/credito_verde">https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias/credito_verde</a>

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M26	Continuidad al proyecto de Calefacción distrital	Dar continuidad al proyecto en el radio urbano de Coyhaique. Se iniciará etapa de construcción dentro de los 2 años desde el decreto y financiamiento solicitado al Gobierno Regional	15	Seremi del Medio Ambiente	Continuidad al proyecto de calefacción distrital en el radio urbano de Coyhaique en el año t	Si	Se genera contrato "Diseño de la construcción piloto de calefacción distrital Escuela Agrícola Coyhaique": <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wpcontent/uploads/2021/02/PERFIL-PROYECTOCD1.pdf">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wpcontent/uploads/2021/02/PERFIL-PROYECTOCD1.pdf</a>
M27	Subsidio para acondicionamiento térmico de viviendas existentes	Entrega gradualmente al menos 7.000 subsidios de Acond. Térmico para las viviendas existentes en 10 años, conforme al DS N° 255/2006 del MINVU	16	MINVU	Número total acumulado de subsidios especiales para el acondicionamiento térmico de viviendas existentes	5857	Medida en avance; se reporta el número de subsidios entregados, siendo 5.187 en total hasta el 2023
M28	Subsidio complementario para regularización de viviendas	Si vivienda postulada al subsidio de Acondicionamiento no está regularizada, se considera un monto para regularizar	17	MINVU	Número total de viviendas regularizadas al año	1185	Medida en avance; se reporta el número de subsidios entregados, siendo 4.675 en total hasta el 2023
M29	Estándares de acondicionamiento térmico (viviendas con subsidio)	Entrega los estándares que deben cumplir las viviendas a las cuales se les entregue el subsidio de Acondicionamiento térmico	18	DOM	Porcentaje de viviendas existentes que postulan al acondicionamiento y cumplen con los estándares mínimos del subsidio	100%	Medida con avance; el 100% de las resoluciones incluyen los estándares de acondicionamiento térmico desde el año 2016.
M30	Reforzar fiscalización de obras financiadas a través de programas de mejoramiento térmico (viviendas con subsidio)	Se refuerza progresivamente la fiscalización de las obras financiadas a través de programas de subsidios de mejoramiento térmico de viviendas del MINVU	19	SERVIU	Porcentaje del número de fiscalización a obras financiadas por subsidios de mejoramiento térmico de viviendas en el año t respecto de las obras	21.13%* 17.26%**	Medida con avance; se refuerza la fiscalización y se reporta el porcentaje de fiscalizaciones de proyectos. (* ) % fiscalizado por ITOs. (** ) % fiscalizado por SERVIU.
M31	Estándares térmico-mínimos (viviendas nuevas)	Entrega los estándares mínimos de las viviendas nuevas. Incluyen los estándares de la envolvente térmica, las ventanas, aislamiento de sobrecimiento, el riesgo de condensación, la infiltración de aire y la ventilación	20	DOM	Número de proyectos aprobados	1	Medida con completa; DOM certifica el cumplimiento mediante el permiso de edificación y la recepción final, según la Resolución Exenta N°9.870/2018 del MINVU

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M32	Programa de Rehabilitación de Viviendas existentes	Ejecutar Programa de Rehabilitación de Viviendas Existentes, financiado a través del FNDR o sectorialmente	21	Seremi de Energía	Número de viviendas existentes rehabilitadas en el año t	20	Medida completa; programa ejecutado y finalizado el año 2020 con informe final en diciembre
M33	Manual de uso de la vivienda, eficiencia energética y el impacto de la contaminación	Elaborar manual de uso de la vivienda, con temas relacionados con eficiencia energética e impacto de la contaminación dentro y fuera de la vivienda	22.a	Seremi MINVU	Manual de uso de la vivienda eficiencia energética y el impacto de la contaminación elaborado y publicado	Si	Medida completa; se presenta página web con las Fichas de Soluciones Constructivas: <a href="http://xi.serviu.cl/pda/pda.htm">http://xi.serviu.cl/pda/pda.htm</a>
M34	Incorporación de la componente ambiental en el Plan de Habilitación Social (PHS)	Incorporar la componente ambiental como requisito en el PHS. Incorporar la ventilación de la vivienda, calefacción, las nociones reacondicionamiento, condensación al interior de la vivienda, uso eficiente de la energía y mantención vivienda	22.b	SERVIU	Exigencias del PHS establecidas en el proceso de postulación a los subsidios habitacionales del MINVU que se otorguen dentro de la zona	Si	Medida completa; se incorpora marco postulación PHS, se publica la pauta evaluación PHS: <a href="https://serviuohiggins.minvu.cl/wp-content/files_mf/1380054307Pauta_de_evaluacion_PHS_FSV.pdf">https://serviuohiggins.minvu.cl/wp-content/files_mf/1380054307Pauta_de_evaluacion_PHS_FSV.pdf</a>
M35	Programa de Capacitación exigencias en el reacondicionamiento térmico de las viviendas	Desarrollar programa de capacitación dirigido a ejecutores de proyectos de mejoramiento térmico, para dar a conocer las exigencias del PDA y el correcto reacondicionamiento	22.c	Seremi MINVU	Programa de capacitación en el Plan de descontaminación atmosférica y las exigencias en el reacondicionamiento térmico de viviendas	3	Medida con avance; se reportan las capacitaciones realizadas
M36	Programa de Capacitación en Obras de Innovación de Eficiencia Energética para PSAT y EP	Diseñar e implementar programa para incentivar la aplicación de este tipo de subsidios MINVU	22.d	Seremi MINVU	Programa de capacitación en Obras de innovación de eficiencia energética	2	Medida con avance; se reportan capacitaciones realizadas
M37	Charlas informativas al área de construcción con requisitos que deben cumplir en el marco del Plan	Se realizarán al menos 2 charlas informativas anuales a actores que proyecten construir en la zona, para informar los requisitos e incentivos vigentes a proyectos	22.e	Seremi del Medio Ambiente	Realización de al menos 2 charlas informativas a inmobiliarias y actores relevantes del área de la construcción que proyecten construir en la zona	Si	Medida con avance; se reportan las charlas realizadas

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M38	Calificación Energética de Viviendas nuevas (CEV)	Realizar la CEV para un porcentaje mínimo del 30% de las viviendas sociales nuevas construidas cada año en la zona	23	SERVIU	Porcentaje de viviendas sociales nuevas construidas con CEV en año t, respecto del total de viviendas nuevas construidas en el año t $\geq 30\%$	73.6%	Medida en avance; se evalúa y construyen viviendas nuevas con CEV
M39	Proyecto piloto de viviendas sociales orientado a la baja o nula demanda térmica	Elaborará proyecto piloto en base al "Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica" (MMA)	24	MINVU	Proyecto Piloto de viviendas sociales en la zona de baja o nula demanda térmica	No	Medida sin avance; servicio lo reporta sin avances
M40	Norma de producto calderas nuevas < 75 kWt	Las calderas nuevas, con potencia térmica nominal menor a 75 kWt, deben cumplir con límite máximo de emisión de 50 mg/m3N	25	Superintendencia del Medio Ambiente	Número de Calderas nuevas que acreditan emisión y eficiencia	N/A	Medida con avance; se implementa la fiscalización, no se recibieron en la SMA reporte de calderas nuevas respecto a emisión y eficiencia
M41	Listado de las calderas ubicadas en la zona sujeta al Plan	Se informa el listado de las calderas ubicadas en la zona del Plan y que se han registrado según DS N° 10/2012 de MINSAL	26	Seremi de Salud	Existencia del Registro calderas ubicadas en la zona de la Seremi de Salud de Aysén de acuerdo con el DS N° 10, de 2012, del MINSAL	Si	Medida completa; se reporta en 2019 la lista con las calderas ubicadas en zona en Oficio Ord. N°1169/2019 de la Seremi de Salud
M42	Actualización del Registro de Calderas	Anualmente envía a la Superintendencia y la Seremi del Medio Ambiente de la región de Aysén una copia actualizada del respectivo Registro de Calderas	26	Seremi de Salud	Existencia del Registro calderas ubicadas en la zona actualizado de la Seremi de Salud	Si	Medida con avance; se reporta la actualización del registro de calderas, para 2023 con oficio, para 2022 mediante correo electrónico, para 2021 con Oficio Ord. N°1123/2020 de la Seremi de Salud
M43	Listado de fuentes que dispondrán de ampliación de plazo	A 18 meses de la vigencia del decreto, la SMA debe publicar el listado de fuente que dispondrán de ampliación de plazo	27.b.ii	Superintendencia del Medio Ambiente	Existencia del listado de fuentes afectas al Plan	N/A	Medida no vigente; en 2023 medida no vigente y en 2022 no existen solicitudes de ampliación de plazo para el cumplimiento de límites de emisión

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M44	Límite de emisión calderas existentes de alimentación automática, que usan pellet o astilla	Se eximen por 24 meses adicionales al plazo en literal a), aquellas calderas existentes de alimentación automática, que usan pellet o astillas de madera, en forma exclusiva y permanente	27.b.ii	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización ejecutadas anualmente	N/A	Medida con avance; se reporta fiscalización realizada, pero no se detectaron calderas
M45	Límite de emisión calderas existentes $\geq$ 75 kWt	Entrega tabla con los límites de emisión de MP para calderas existentes, verifica cumplimiento con mediciones discretas	27, 28	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización a fuentes existentes ejecutadas anualmente	100%	Medida con avance; se reporta la fiscalización realizada
M46	Límite de emisión 75kWt $\geq$ calderas nuevas	Entrega tabla con los límites de emisión de MP para calderas nuevas, de verifica cumplimiento con mediciones discretas	27, 28	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización a fuentes nuevas ejecutadas anualmente	N/A	Medida con avance; se reporta la fiscalización realizada, pero no se detectaron calderas nuevas
M47	Mediciones discretas de calderas existentes y nuevas $\geq$ 75 kWt y menores 20MWt	Para verificar cumplimiento de los límites de emisión, se realizan mediciones discretas de emisión MP según frecuencia de tabla 19	28	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización ejecutadas anualmente	N/A	Medida con avance; se reporta la fiscalización realizada, pero no se detectaron calderas nuevas
M48	Protocolo realización mediciones discretas	Con protocolo se realizan las mediciones discretas de emisiones de MP	28	Superintendencia del Medio Ambiente	Existencia del protocolo para la medición discreta de material particulado	Si	Medida completa; instructivo: <a href="https://portal.sma.gob.cl/index.php/porta-l-regulados/instructivos-y-guias/">https://portal.sma.gob.cl/index.php/porta-l-regulados/instructivos-y-guias/</a> y Resolución Exenta N°587/2019 de SMA <a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1131666">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1131666</a>
M49	Monitoreo continuo de MP para calderas existentes $\geq$ 20MWt	Calderas existentes, que deban verificar el cumplimiento de los límites máximos de emisión de Art.27 y 28, deberán instalar y validar un sistema de monitoreo continuo de emisiones	29	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización ejecutadas anualmente	N/A	Medida con avance; se reporta la fiscalización realizada, pero no se detectaron calderas



ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M50	Monitoreo continuo de MP para calderas nuevas $\geq 20\text{MWt}$	Calderas nuevas, que deban verificar el cumplimiento de los límites máximos del Art.27 y 28, deberán instalar y validar un sistema de monitoreo continuo de emisiones para contaminante	29	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización ejecutadas anualmente	N/A	Medida con avance; se reporta la fiscalización realizada, pero no se detectaron calderas
M51	Programa de mejoramiento de eficiencia energética	Diseño de programa para reducir la demanda energética y el consumo de cualquier combustible, se publicarán los requerimientos para evaluación energética	30.a	Seremi de Energía	Diseño del Programa de mejoramiento Energético	Si	Medida de reporte único; se reporta en 2020 el programa "Gestiona Energía" como base de datos de los indicadores de consumo energético en los servicios públicos del área PDA
M52	RCA que contenga obligación de compensar emisiones	Indica quiénes deben compensar emisiones, las consideraciones generales para la compensación de emisiones, entre otros	31, 32, 33	Servicio de Evaluación Ambiental	Número de proyectos aprobados con RCA con Programas de compensación aprobados	N/A	Medida con avance; no existen proyectos a ejecutarse que deban cumplir con compensación según Of.ORD. N°20241110221 de 2024
M53	Cumplimiento de RCA que contenga obligación de compensar emisiones	La SMA fiscaliza el cumplimiento de las medidas de compensación asociadas a los Programas de Compensación aprobados	34	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de programas de compensación fiscalizados respecto del total de programas presentados y aprobados por SEREMI MA	N/A	Medida con avance; no existen proyectos a ejecutarse que deban cumplir con la compensación de emisiones
M54	Método de control de emisiones en la vía pública de vehículos diésel	Implementar un método de control de emisiones en la vía pública de vehículos diésel, para detectar vehículos cuyo motor o sistema de control de emisiones se encuentran deteriorados o con falta de mantenimiento	35	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones	Método de control de emisiones de vehículos diésel implementado para detectar el deterioro en el control de emisiones	Si	Medida completa; el D.S. N°4/1994 establece normas de emisión de contaminantes aplicables a los vehículos motorizados y fija los procedimientos para su control

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M55	Prohibición de la emisión continua de humos visibles en vehículos motorizados	No se permite emisión continua de humo visible negro, gris o azul, excepto vapor de agua, por tubo de escape de veh. motorizados. En motor diésel no se permite emisión por más de 5 seg	36	Carabineros de Chile	Número de fiscalizaciones realizadas en el año t	0	Medida con avance; se reportan el número de fiscalizaciones
M56	Prohibición de la emisión continua de humos visibles en vehículos motorizados	No se permite emisión continua de humo visible negro, gris o azul, excepto vapor de agua, por tubo de escape de veh. motorizados. En motor diésel no se permite emisión por más de 5 seg	36	Departamento del Tránsito del Municipio	Número de fiscalizaciones realizadas en el año t	0	Medida sin avance; no reporta información en años
M57	Prohibición de la emisión continua de humos visibles en vehículos motorizados	No se permite emisión continua de humo visible negro, gris o azul, excepto vapor de agua, por tubo de escape de veh. motorizados. En motor diésel no se permite emisión por más de 5 seg	36	Seremi de Transporte	Número de fiscalizaciones realizadas en el año t	253	Medida con avance; se reportan el número de fiscalizaciones
M58	Mantener sistema de seguimiento de la calidad del aire para material particulado	Se mantendrá un seguimiento de la calidad del aire para MP10 y MP2,5 junto a parámetros meteorológicos	38.a, 39	Ministerio del Medio Ambiente	a) Existencia del sistema de seguimiento de calidad de aire. b) Mantención sistema de seguimiento de la calidad del aire para MP10 y MP2,5	a) Si. b) Coy 1: MP10 98,2% MP2,5 99,7% c) Coy 2: MP10 98,2% MP2,5 98,8%	Medida completa; existe un sistema de seguimiento de calidad de aire, disponible en: <a href="https://sinca.mma.gob.cl/">https://sinca.mma.gob.cl/</a>
M59	Información periódica de las condiciones de calidad del aire	Se informará diariamente las condiciones de calidad del aire según la tabla 21 para MP10 y MP2,5	38.a, 39	Seremi del Medio Ambiente	N° reportes periódicos con información del número y tipo de episodios críticos constatados	183	Medida completa; existe información periódica para calidad del aire: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/</a>
M60	Plan comunicacional de difusión a la ciudadanía durante la GEC	Desarrollar un plan de difusión a la ciudadanía el mes de marzo de cada año, el cual será difundido durante la gestión de episodios críticos (GEC)	38.c, 41	Seremi del Medio Ambiente	Implementación de plan comunicacional en período GEC según art. 41 a, b, c y d	Si	Medida completa; se implementa el plan, disponible en: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/calidad-del-aire/">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/calidad-del-aire/</a>

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M61	Informe diario a la Delegación Presidencial	Se informará diariamente a la Intendencia Regional de Aysén la evolución de la calidad del aire, condiciones de ventilación y los resultados del sist. de pronósticos	38.d, 42.a	Seremi del Medio Ambiente	Existencia Reporte diario con el Pronóstico, las condiciones de ventilación y la evolución de la calidad del aire en periodo GEC	Si	Medida con avance; se reportan los episodios declarados, por medio de correo electrónico
M62	Declaración de episodio crítico	La Intendencia Regional declarará la condición de episodio crítico y hará públicas las medidas que se adoptarán.	38.d, 42.b, c, d	Delegación Presidencial de Aysén	Porcentaje Resoluciones dictadas en relación con el N° de episodios declarados a la comunidad en el periodo 1 de abril al 30 septiembre	100%	Medida con avance; se reportan las resoluciones de episodios críticos declarados
M63	Actividades físicas durante episodios críticos	Se recomienda realizar actividad física según la "Guía de actividades de educación física para periodos de preemergencia y emergencia ambiental en Coyhaique" o "Guía de recomendación de Actividades Físicas en Alerta ambiental"	38.e, 43.i	Seremi del Medio Ambiente	Comunicar establecimientos educacionales el inicio del Plan Operacional GEC y las medidas que éstos deberán ejecutar en caso de declaración de un episodio crítico según guía	Si	Medida completa; con Ord. N°94/2022 se comunica a establecimiento el Inicio del Plan Operacional de GEC y las medidas ejecutas. Además, se publica la guía en página web del PDA: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/AYSEN-EDUCACION-FISICA.pdf">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/AYSEN-EDUCACION-FISICA.pdf</a>
M64	Recomendaciones a la protección de la salud uso responsable y eficiente de la calefacción (Episodio de Alerta)	Se entregan recomendaciones sobre la protección de la salud y se hará llamado a un uso responsable y eficiente de calefacción	38.e, 43.i	Seremi del Medio Ambiente	Difusión recomendaciones en episodio a la comunidad a través de la página web aire Coyhaique y otros medios de comunicación	Si	Medida con avance; se realizan recomendaciones en episodios de Alerta, referente a las medidas de la protección de la salud y uso responsable y eficiente de la calefacción, mediante, folletos, redes sociales, entre otros
M65	Recomendaciones a la protección de la salud uso responsable y eficiente de la calefacción (Episodio de Emergencia)	Se entregan recomendaciones sobre la protección de la salud y se hará llamado a un uso responsable y eficiente de calefacción	38.e, 43.i	Seremi del Medio Ambiente	Difusión recomendaciones en episodio a la comunidad a través de la página web aire Coyhaique y otros medios de comunicación	Si	Medida con avance; se realizan recomendaciones en episodios de Emergencia, referente a las medidas de la protección de la salud y uso responsable y eficiente de la calefacción

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M66	Recomendaciones a la protección de la salud uso responsable y eficiente de la calefacción (Episodio de Preemergencia)	Se entregan recomendaciones sobre la protección de la salud y se hará llamado a un uso responsable y eficiente de calefacción	38.e, 43.i	Seremi del Medio Ambiente	Difusión recomendaciones en episodio a la comunidad a través de la página web aire Coyhaique y otros medios de comunicación	Si	Medida con avance; se realizan recomendaciones en episodios de Preemergencia, referente a las medidas de la protección de la salud y uso responsable y eficiente de la calefacción
M67	Prohibición de uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas (Episodio de Preemergencia)	Se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas, excepto los calefactores del programa de recambio de la Seremi del Medio Ambiente y los que cumplen con el DS N° 39/2011, del MMA	38.e, 43.ii	Seremi de Salud	Número de artefactos prohibidos en uso detectados en el año t, en episodios de preemergencia	6735*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (*). Junto con M71 y M72.
M68	Prohibición de uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas (Episodio de Alerta)	Se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas, excepto los calefactores del programa de recambio de la Seremi del Medio Ambiente y los que cumplen con el DS N° 39/2011, del MMA	38.e, 43.ii	Seremi de Salud	Número de artefactos prohibidos en uso detectados en el año t, en episodios de alerta	0	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año
M69	Prohibición de uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas (Episodio de Emergencia)	Se prohíbe el uso de más de un artefacto a leña por vivienda durante las 24 horas, excepto los calefactores del programa de recambio de la Seremi del Medio Ambiente y los que cumplen con el DS N° 39/2011, del MMA	38.e, 43.ii	Seremi de Salud	Número de artefactos prohibidos en uso detectados en el año t, en episodios de emergencia	1100*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (*). Junto con M70 y M73.
M70	Prohibición de humos visibles de artefactos de leña (Episodio de Emergencia)	Se prohíbe la emisión de humos visibles de artefactos a leña durante las 24 horas, se aplicará en las zonas territoriales previamente informadas	38.e, 43.iii	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones por humos visibles provenientes de artefactos residenciales a leña, en emergencia	1100*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (*). Junto con M70 y M73.

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M71	Prohibición de humos visibles de artefactos de leña (Episodio de Preemergencia)	Se prohíbe la emisión de humos visibles de artefactos a leña durante las 24 horas, se aplicará en las zonas territoriales previamente informadas	38.e, 43.iii	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones por humos visibles provenientes de artefactos residenciales a leña, en preemergencia	6735*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (* ) Junto con M67 y M72.
M72	Prohibición de 18:00 a 06:00 del funcionamiento de calderas industriales y calefacción existentes (Episodio de Preemergencia)	Se prohíbe el funcionamiento de calderas que presenten emisiones mayores o iguales a 50 mg/m <sup>3</sup> N de MP, se aplicará por zona territorial excepto aquellas calderas que utilicen combustible gaseoso, exclusiva y permanente	38.e, 43.iv	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones a calderas Industriales y de calefacción existentes ejecutadas año t en episodio de preemergencia	6735*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (* ) Junto con MP67 y M71.
M73	Prohibición de 24 hrs. del funcionamiento de calderas industriales y calefacción existente (Episodio de emergencia)	Se prohíbe de 18:00 a 6:00 el funcionamiento de calderas que presenten emisiones mayores o iguales a 50 mg/m <sup>3</sup> N de MP, se aplicará por zona territorial excepto aquellas calderas que utilicen combustible gaseoso, exclusiva y permanente	38.e, 43.iv	Seremi de Salud	Número total de fiscalizaciones a calderas Industriales y de calefacción existentes ejecutadas año t en episodio de emergencia	1100*	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año. (* ) Junto con M69 y M70
M74	Evaluación del Sistema de pronóstico de calidad del aire	Se evalúa anualmente el sistema para desarrollar y mantener un mejoramiento continuo en su desempeño	39.b, 40	Ministerio del Medio Ambiente	Existencia de la evaluación anual del sistema de pronóstico de calidad del aire	Si	Medida completa; se indica informe sobre sistema de pronóstico y su evaluación: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/reporte_coyhaique_2022.pdf">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/reporte_coyhaique_2022.pdf</a>
M75	Sistema de pronóstico de calidad del aire para MP2,5 y MP10	Se implementará un sistema de pronóstico de calidad del aire, a partir de las metodologías aprobadas por las resoluciones exentas N° 532 de 2017 y N° 139 de 2019, del MMA	39.b, 40	Seremi del Medio Ambiente	Implementación sistema de pronóstico de calidad del aire para material particulado (MP10 y MP2,5)	Si	Medida completa; se indica informe sobre sistema de pronóstico: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/reporte_coyhaique_2022.pdf">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/reporte_coyhaique_2022.pdf</a>

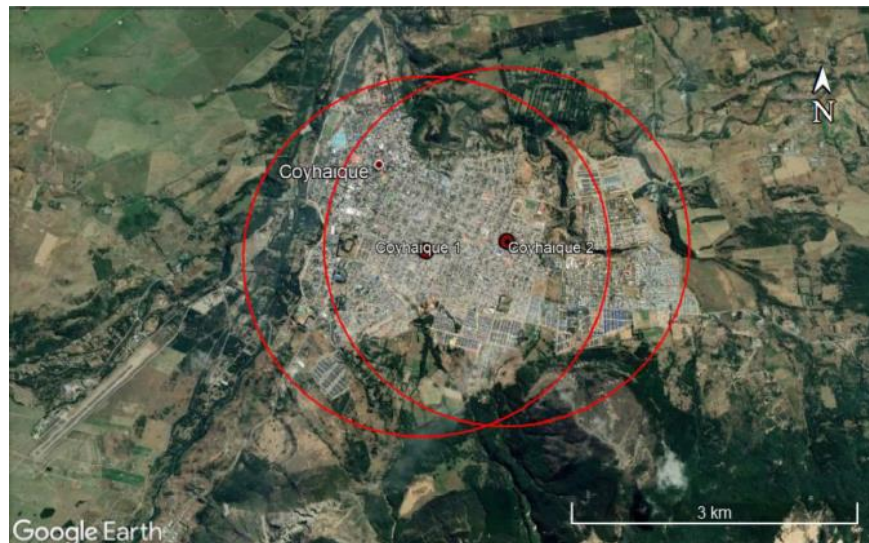
ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M76	Subdivisión de zonas territoriales de GEC	Mediante Resolución podrá subdividir en zonas territoriales de gestión de episodios la zona del plan, las cuales serán definidas cada año, antes de la entrada en vigencia del Plan Operacional de GEC	43	Seremi del Medio Ambiente	a) Definir mediante Resolución con la subdivisión de zonas territoriales de gestión de episodios la zona del plan. b) Informar a la ciudadanía la subdivisión de las zonas	a) N/A b) Si	Medida completa; mediante el plan comunicacional de la GEC: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Plan-Operacional-GEC-2021.pdf">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Plan-Operacional-GEC-2021.pdf</a>
M77	Prohibición uso de calefactores a leña en locales comerciales y de la administración del estado	Durante GEC se prohíbe el uso de calefactores a leña en establecimientos comerciales (con patente comercial) y en dependencias de Administración del Estado y municipales	43.a	Superintendencia del Medio Ambiente	Porcentaje de actividades de fiscalización ejecutadas anualmente	100%	Medida con avance; se reporta el número de fiscalizaciones por año
M78	Prohibición de quema rastrojos	Durante GEC se prohíbe el uso del fuego para la quema de rastrojos en la zona sujeta al Plan	43.b	CONAF	Número de quemas detectadas en el año t	N/A	Medida con avance; se reporta el número de quemas detectadas por año
M79	Prohibición de quema de vegetación viva o muerta	Durante GEC se prohíbe el uso del fuego para la quema de cualquier tipo de vegetación, en los terrenos agrícolas, ganaderos o forestal, en la zona	43.b	Servicio Agrícola y Ganadero	Número de quemas detectadas en el año t	N/A	Medida con avance; se reporta el número de quemas detectadas por año
M80	Prohibición de quema residuos en la vía pública	Durante GEC se prohíbe la quema de neumáticos, hojas secas, ramas y/o todo tipo de residuos al aire libre, en la vía pública o recintos privados	43.c	Carabineros de Chile	N° total de fiscalizaciones por quema de neumáticos, hojas secas, ramas y/o residuos al aire libres en la vía pública o privados	0	Medida sin avance; servicio lo reporta sin avances
M81	Campaña pública de difusión del PDA	Desarrollo de una Estrategia Comunicacional con campañas públicas anuales para informar sobre las medidas del PDA, promover su cumplimiento y educar a la población	44.a	Seremi del Medio Ambiente	Desarrollo de Estrategia Comunicacional	Si	Medida completa; se presenta página web con información PDA Coyhaique: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/</a>

ID	Medida	Descripción Medida	Art.	Organismo responsable	Indicador	Resultado	Evaluación del avance
M82	Programa educacional ambiental	Ejecución de un programa de educación ambiental, para concientizar y sensibilizar a los establecimientos educacionales sobre la descontaminación	44.b	Seremi del Medio Ambiente	Ejecución de un programa de educación ambiental formal	Si	Medida con avance; se ejecutan actividades educativas como ferias, seminarios, capacitaciones en calidad del aire y contaminación (Cód. BIP 40009624)
M83	Sistema de información a la ciudadanía	Implementar un sistema para entregar rápidamente la información a la ciudadanía sobre la calidad aire y el PDA	44.c	Seremi del Medio Ambiente	Desarrollo y mantención de sistema de información a la ciudadanía relativa a datos de calidad del aire	Si	Medida completa; se presenta página web con información sobre calidad del aire y PDA: <a href="https://airecoyhaique.mma.gob.cl/">https://airecoyhaique.mma.gob.cl/</a>
M84	Cuenta pública avances y logros del PDA	Realización de una cuenta pública anual sobre los avances y logros del Plan	44.d	Seremi del Medio Ambiente	Realización de cuenta pública	Si	Medida completa; se presenta página web con la cuenta pública por año para Aysén: <a href="https://cuentaspublicas.mma.gob.cl/">https://cuentaspublicas.mma.gob.cl/</a>
M85	Programa de Difusión y Educación - SNCAE	Incorporar en el Sistema Nacional Ambiental de Certificación de Establecimientos Educacionales de Coyhaique, la temática de calidad del aire en los planes de trabajo e incentivar, a través del Fondo de Protección Ambiental, el desarrollo de iniciativas de mejoramientos de la calidad del aire en la zona sujeta al Plan	45	Seremi del Medio Ambiente	Incorporación de la temática calidad del aire en la certificación ambiental de establecimientos educacionales	Si	Medida con avance; se realiza la certificación ambiental en liceo de Coyhaique y se realizan capacitaciones: <a href="https://mma.gob.cl/liceo-san-felipe-benicio-recibe-bandera-de-certificacion-ambiental-de-excelencia/">https://mma.gob.cl/liceo-san-felipe-benicio-recibe-bandera-de-certificacion-ambiental-de-excelencia/</a> <a href="https://mma.gob.cl/profesores-as-de-la-comuna-de-aysen-participaran-en-capacitacion-de-educacion-ambiental-en-calidad-del-aire/">https://mma.gob.cl/profesores-as-de-la-comuna-de-aysen-participaran-en-capacitacion-de-educacion-ambiental-en-calidad-del-aire/</a>
M86	Programa de Arborización	Desde vigencia de Decreto y por 5 años, se establecerá un programa de arborización urbana y/o uso de otras coberturas vegetales en el radio urbano de la zona sujeta al Plan	46	Seremi de Agricultura	Realización del programa de arborización urbana y/o utilización de otras coberturas vegetales	Si	Medida con avance; la cuenta pública 2023 de CONAF con los programas de arborización: <a href="https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2024/05/cuenta_publica_2023_2024-5-28.pdf">https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2024/05/cuenta_publica_2023_2024-5-28.pdf</a> <a href="https://www.conaf.cl/?s=programa+de+arborizaci%C3%B3n">https://www.conaf.cl/?s=programa+de+arborizaci%C3%B3n</a>

Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Estado de Avance del PDA

### 4.1.3 Evolución de la calidad del aire para MP10 y MP2,5

Adicional a lo anterior, se evalúa el impacto de la aplicación del PDA en la evolución de la calidad del aire por MP10 y MP2,5 en la zona saturada, desde el momento de dictación del Plan (D.S. N° 7/2018 del MMA) a la fecha. Para esto, se realizó una recopilación de la información histórica disponible de las concentraciones de MP10 y MP2,5 entre el año 2018 y 2023 en la plataforma del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). En la Figura 4-4 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Coyhaique.



**Figura 4-4 Ubicación de estaciones de calidad del aire del aire de Coyhaique**

Fuente: SMA

El análisis realizado incluye las métricas consideradas en las normas de calidad del aire para MP10 y MP2,5 establecidas en el Decreto N° 12/2021 y Decreto N° 12/2011 del MMA, respectivamente, y se presentan en la Tabla 4-8. En esta, se detalla el valor máximo junto con el periodo, y las condiciones de superación que se aplican a las concentraciones registradas en cualquier estación monitorea calificada como EMRP.

**Tabla 4-8 Límites de concentración en normas de calidad primaria para MP10 y MP2,5**

Contaminante	Valor Norma [µg/m³N]	Periodo	Criterio excedencia
MP10	50	Anual	Promedio tri-anual de las concentraciones anuales, es mayor o igual al valor.
	130	24 horas	a. Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en un año, es mayor o igual al valor. b. Si antes que concluya un año, el número de días con mediciones sobre el valor es mayor que siete.



Contaminante	Valor Norma [µg/m <sup>3</sup> N]	Periodo	Criterio excedencia
MP2,5	20	Anual	Promedio tri-anual de las concentraciones anuales es mayor al valor.
	50	24 horas	Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en un año, es mayor al valor.

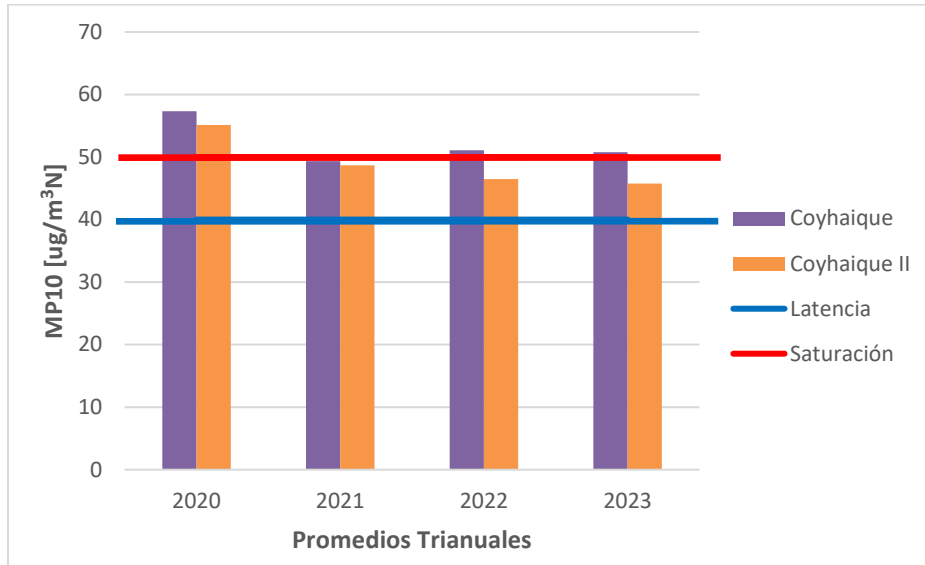
Fuente: Elaboración propia

En las siguientes subsecciones se presenta la evaluación de las normas de calidad para MP10 y MP2,5. Cabe destacar que el análisis se realizó aplicando los límites de MP10 establecidos en el Decreto N° 12/2021 del MMA por criterio conservador, a pesar de que en la mayor parte del periodo de evaluación no se encontraba vigente dicha normativa. Esto implica una exigencia mayor al evaluar la norma de 24 horas de MP10, dado que antes de la publicación de la normativa actual el límite era 150 µg/m<sup>3</sup>N.

#### 4.1.3.1 Evaluación de la norma anual para MP10

La norma primaria anual de calidad de aire para MP10 se excede cuando el promedio aritmético de las concentraciones anuales de tres años consecutivos es mayor o igual a 50 µg/m<sup>3</sup>N. De esta forma, en el caso del año 2020, los valores utilizados corresponden al promedio de las concentraciones de los años 2018, 2019 y 2020, para cada estación de monitoreo EMRP con datos validados en esos años.

La Figura 4-5 presenta el promedio trianual de las concentraciones anuales de MP10 registradas en las distintas estaciones durante el periodo 2020-2023. Además, se muestra el límite de saturación de 50 µg/m<sup>3</sup>N y el límite de latencia. Se observa una tendencia decreciente de las concentraciones registradas en la estación “Coyhaique II” desde 2020 hasta 2023, mientras que en la estación “Coyhaique” se registra una disminución en 2021 respecto al año anterior, y luego se mantiene más bien constante en los años siguientes con un valor cercano al límite de saturación. En 2022 y 2023, se registraron promedios trianuales de 51,07 µg/m<sup>3</sup>N y 50,77 µg/m<sup>3</sup>N, respectivamente, las cuales sobrepasan ligeramente el límite.



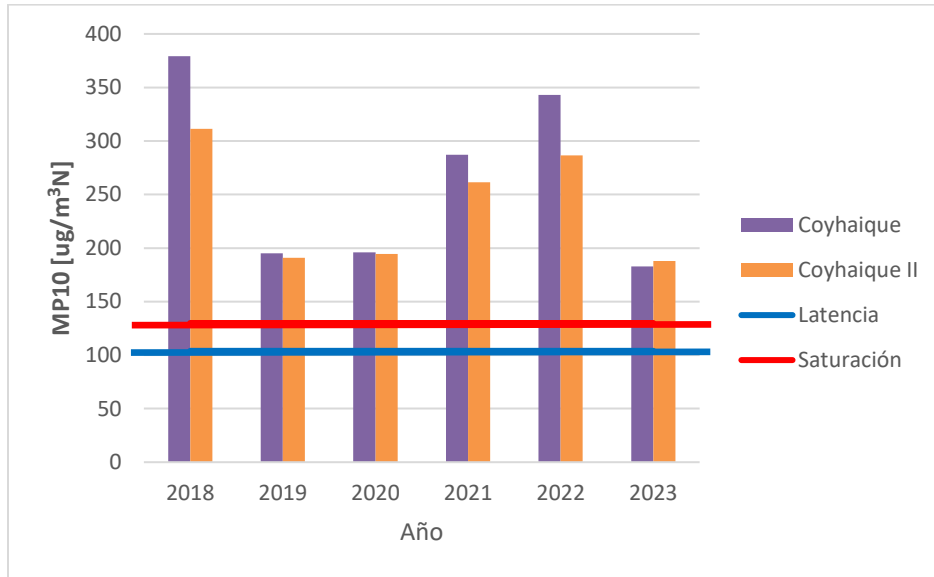
**Figura 4-5 Evaluación norma anual para MP10**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.2 Evaluación de la norma 24 horas para MP10

La norma de calidad de aire vigente para MP10 en 24 horas se excede cuando el percentil 98 de las concentraciones diarias de cada año es mayor o igual a  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , o si antes que concluya un año, el número de días con mediciones sobre  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  es mayor que siete. La Figura 4-6 presenta el percentil 98 de las concentraciones, lo que permite evaluar el cumplimiento de la norma de 24 horas para MP10 en las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023.

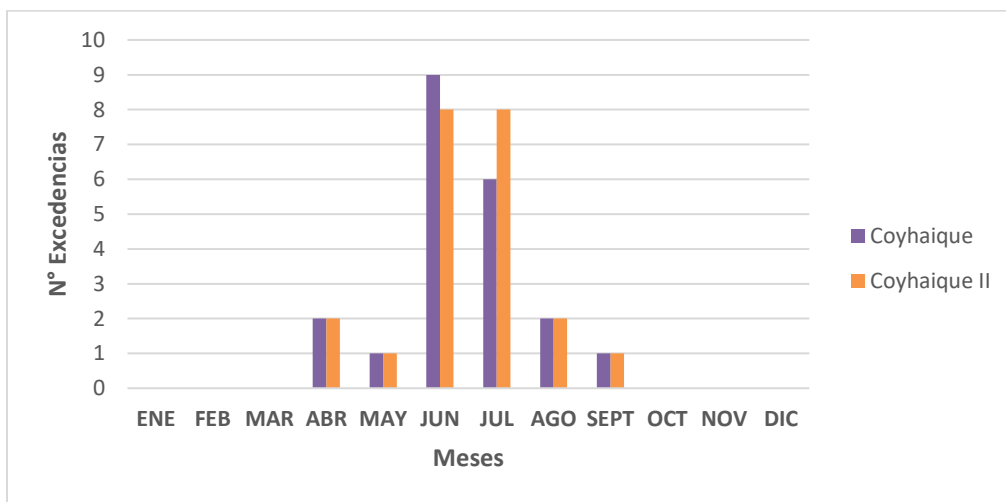
Se observa que la norma fue superada todos los años, tanto en el nivel de saturación como en el de latencia, alcanzando valores de  $379,2 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en 2018 y  $343 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en 2022 para la estación “Coyhaique”. Si bien no se observa una tendencia clara, existe una disminución en 2019, que se mantiene durante 2020. Además, se registra nuevamente una disminución en 2023, con un valor de  $188 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , este aún se encuentra por encima del límite normativo.



**Figura 4-6 Evaluación norma 24 horas para MP10**

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la Figura 4-7 muestra el número de excedencias a la norma 24 horas para MP10 en 2023 por estación. Para un mayor detalle, en el Anexo 8.3 se presentan las excedencias de cada año de evaluación, desde 2018 a 2022. Se puede observar cierta estacionalidad en la cantidad de excedencias registradas, dado que los meses con mayor número de excedencias son junio y julio, cuando las temperaturas disminuyen y se intensifica el uso de leña para calefacción.



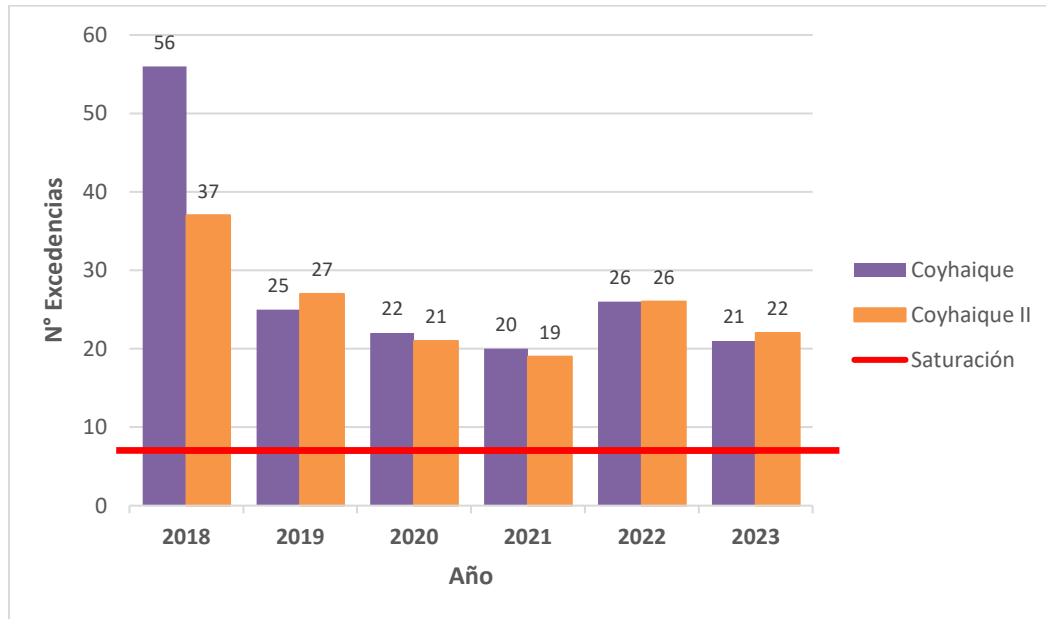
Nota: Se registra un total de 21 excedencias en la estación Coyhaique y 22 en la estación Coyhaique II

**Figura 4-7 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2023**

Fuente: Elaboración propia

Para complementar lo anterior, la Figura 4-8 presenta las excedencias a la norma de 24 horas de MP10 de forma agregada para cada año. Se observa una tendencia de reducción en el número

de excedencias a lo largo de los años, sin embargo, el límite de concentración señalado en la Tabla 4-8 es superado más de 19 veces al año en todas las estaciones y años evaluados. De esta forma, anualmente, el número de días con mediciones superiores al valor permitido es mayor a siete.



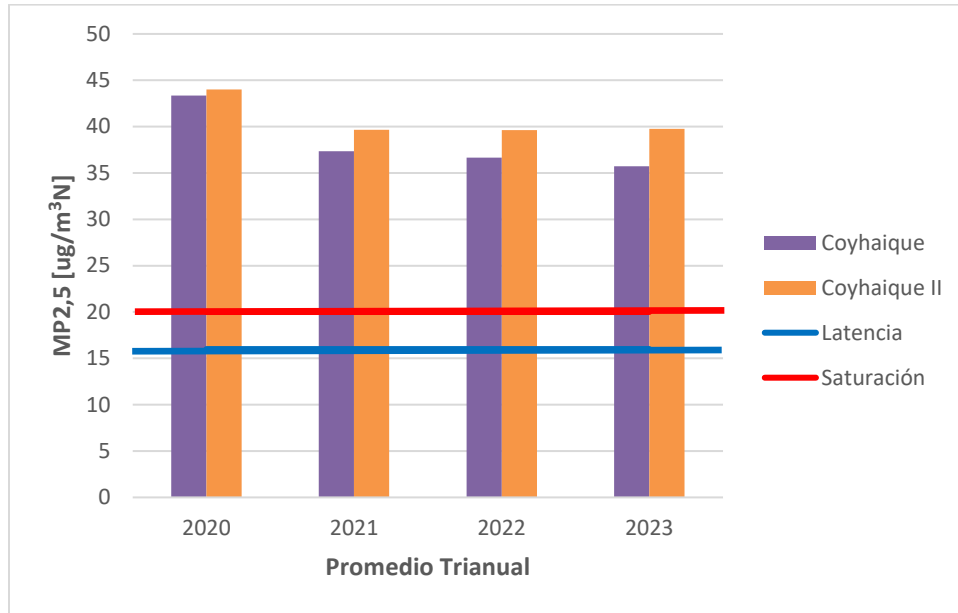
**Figura 4-8 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10 por año**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.3 Evaluación de la norma anual para MP2,5

La norma primaria anual para MP2,5 se excede cuando el promedio aritmético de las concentraciones anuales de tres años consecutivos es mayor a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . La Figura 4-9 presenta el promedio trianual de las concentraciones anuales de MP2,5 durante el periodo 2020-2023, considerando que el año 2020 incluye el promedio de los años 2018, 2019 y 2020. Además, se muestra el límite de saturación de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y el límite de latencia.

Se observa que la norma anual fue superada en todos los años, con un promedio de concentración relativamente constante, con valores entre  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . Sin embargo, se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones, lo que sugiere que la implementación del PDA ha logrado disminuir las emisiones en la zona. Además, ambas estaciones de monitoreo muestran valores similares, aunque la estación “Coyhaique II” presenta una concentración más alta que la estación “Coyhaique”.

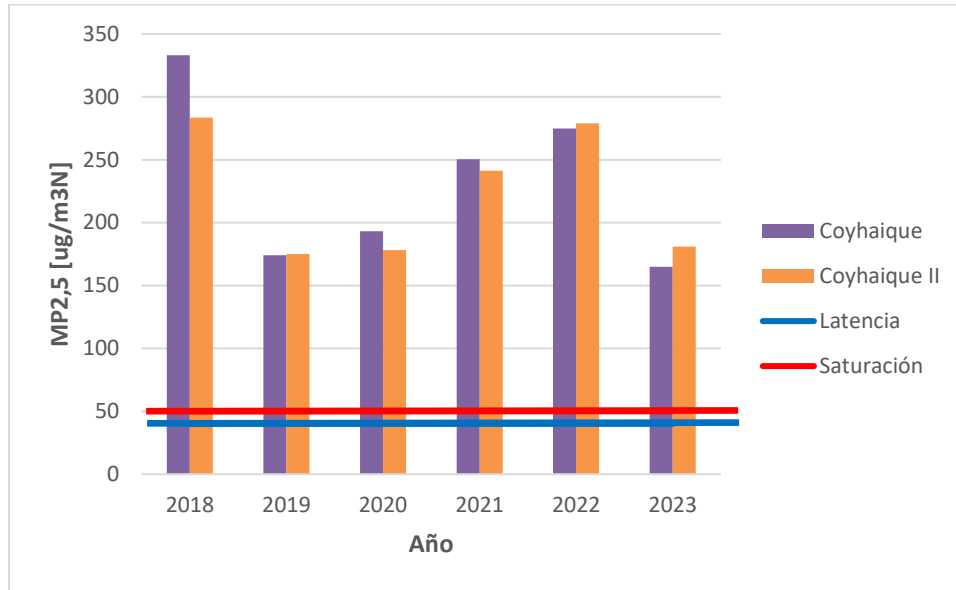


**Figura 4-9 Evaluación norma anual para MP2,5**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.4 Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5

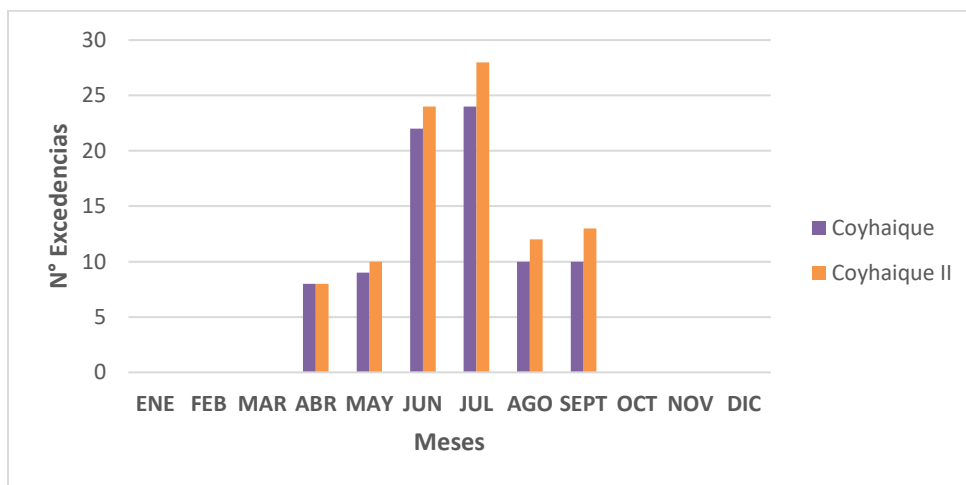
La norma de calidad de aire para MP2,5 en 24 horas se excede cuando el percentil 98 de las concentraciones diarias de cada año es mayor a 50 µg/m³N. La Figura 4-10 presenta la evaluación de la norma de 24 horas en las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023. Se observa que la norma fue superada todos los años en ambos niveles analizados, alcanzando valores de 333,04 µg/m³N en 2018 y 279 µg/m³N en 2022 para las estaciones. También, se observa una disminución en 2019, 2020 y 2023 con respecto a los años anteriores, alcanzando en este último año un valor de 180,82 µg/m³N, pero que aún se encuentra por encima de los límites establecidos.



**Figura 4-10 Evaluación norma 24 horas para MP2,5**

Fuente: Elaboración propia

De forma complementaria, en la Figura 4-11 se muestra el número de excedencias a la norma 24 horas para MP2,5 en 2023, mientras que en el Anexo 8.4 se presentan las excedencias de cada año de evaluación, desde 2018 a 2022. Se observa que las excedencias se concentran en los meses con temperaturas más bajas; en particular, los meses con mayor número de excedencias son junio y julio, que alcanzan hasta 28 excedencias en la estación “Coyhaique II”. Además, la estación de monitoreo “Coyhaique II” posee un mayor número de excedencias que la otra estación del lugar.

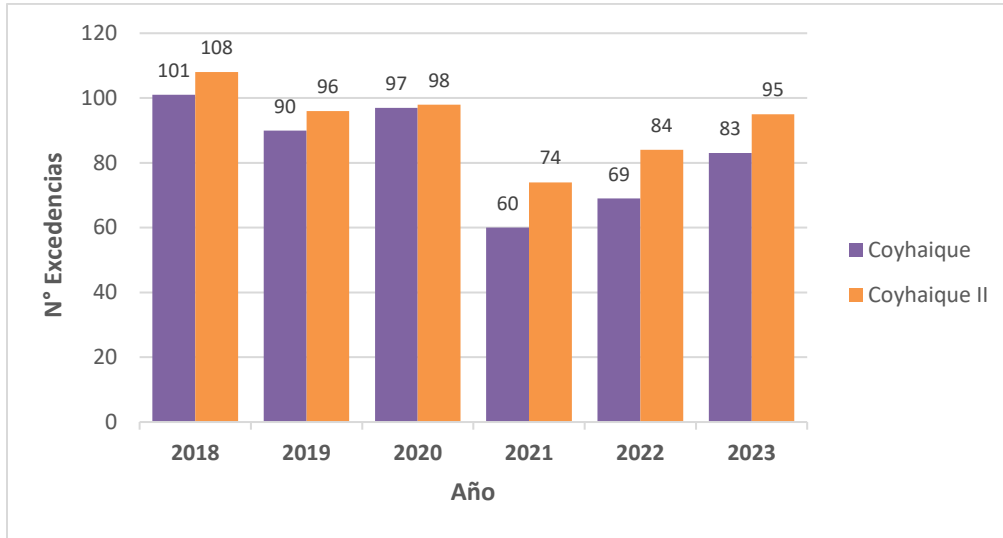


Nota: Se registra un total de 83 excedencias en la estación Coyhaique y 95 en la estación Coyhaique II

**Figura 4-11 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2023**

Fuente: Elaboración propia

Además, lo anterior se muestra de forma agregada en la Figura 4-12, donde se presentan las excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5 en cada año. Se observan altos valores de excedencias, con una leve tendencia de reducción en su número, registrándose la menor cantidad en 2021 y 2022.



**Figura 4-12 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5 por año**

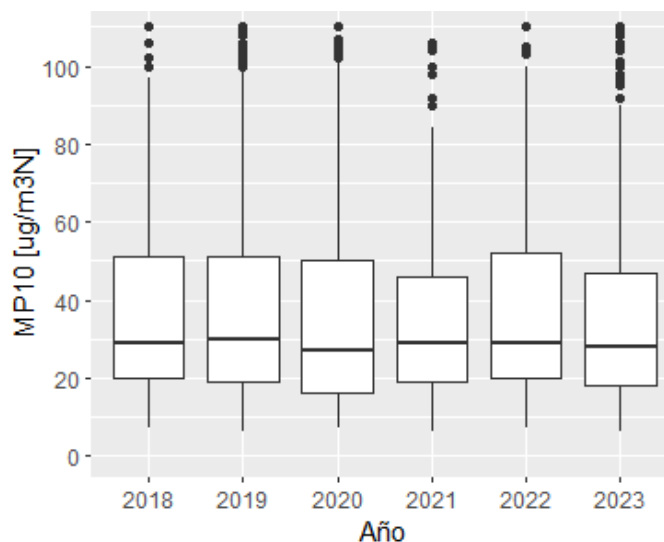
Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, en las secciones siguientes se analiza con más detalle la evolución de las concentraciones históricas de MP10 y MP2,5 en cada estación de monitoreo.

#### 4.1.3.5 Estación Coyhaique

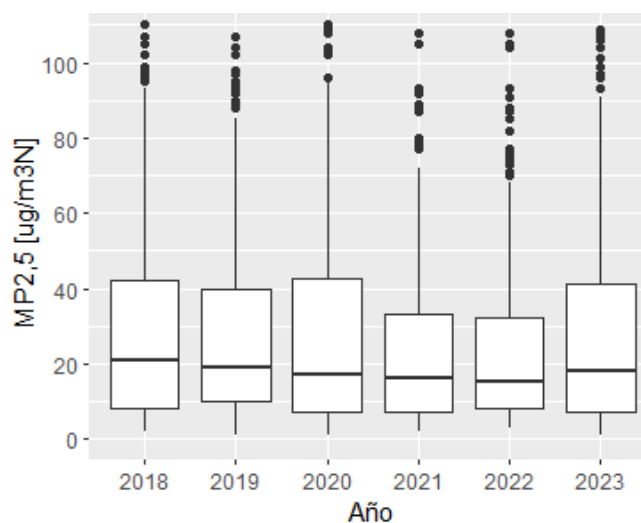
La estación Coyhaique, ubicada en el lado oeste de la ciudad, realiza mediciones horarias de MP10 y MP2,5. En la Figura 4-13 y Figura 4-14 se presenta la concentración diaria de MP10 y MP2,5, respectivamente. Los estadígrafos utilizados para la elaboración de los gráficos se resumen en la Tabla 4-9 y Tabla 4-10 para cada contaminante.

Se observa que el contaminante MP10 no muestra una tendencia clara, siendo más bien constante, aunque en 2021 las concentraciones disminuyen levemente, para luego aumentar en 2022 y volver a disminuir ligeramente en 2023. En el caso de MP2,5, la concentración tampoco presenta una tendencia, manteniéndose estable. Sin embargo, se evidencia una leve disminución en 2021 y 2022, seguida de un aumento en 2023. Las concentraciones medianas oscilan entre 30 a 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP10, y entre 17 a 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP2,5. La concentración diaria máxima para ambos contaminantes se registró el 2 de junio de 2018, con valores de 562  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP10 y 543  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP2,5. Otra concentración máxima se observaron el 17 de junio de 2021, con 443  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP10 y 422  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP2,5.



**Figura 4-13 Concentración de MP10 en estación de monitoreo Coyhaique**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4-14 Concentración de MP2,5 en estación de monitoreo Coyhaique**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-9 Estadígrafos concentraciones de MP10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ] en estación Coyhaique**

Año	Máximo	3rd Qu.	Mediana	Media	1st Qu.	Mínimo
2018	562	81	39	72,4	21	7
2019	253	60	32	50,6	19	6
2020	309	63,5	31	49	17	7
2021	443	53	31	48,4	20	6
2022	419	64	32	55,8	21	7
2023	387	58,8	30	48,1	19	6

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4-10 Estadígrafos concentraciones de MP2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ] en estación Coyhaique**

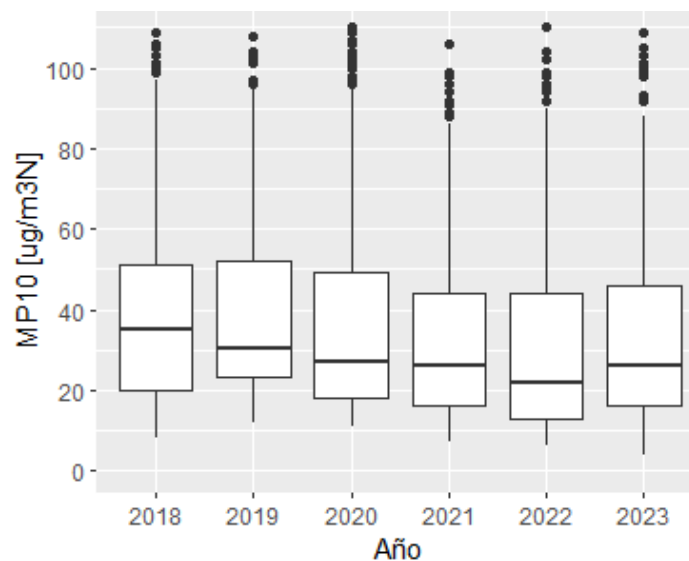
Año	Máximo	3rd Qu.	Mediana	Media	1st Qu.	Mínimo
2018	543	57,5	25	52,1	9	4
2019	242	53	21	39,5	10	3
2020	303	54	20,5	38,5	8	4
2021	422	40,3	17	34,1	7	2
2022	331	41	17	37,4	8	2
2023	358	47	19	35,7	8	2

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.6 Estación Coyhaique II

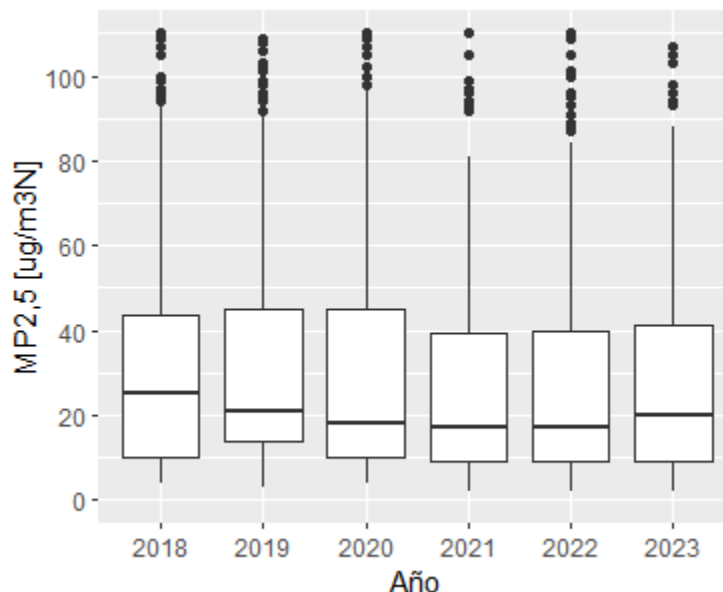
La estación Coyhaique II, ubicada en el lado este de la ciudad, mide ocho parámetros contaminantes, incluyendo mediciones horarias de MP10 y MP2,5. En la Figura 4-15 se presenta la evolución de la concentración diaria de MP10 y en la Figura 4-16 la concentración de MP2,5. Los estadígrafos correspondientes se encuentran en la Tabla 4-11 y Tabla 4-12.

Tanto MP10 como MP2,5 no presentan una tendencia, manteniéndose relativamente constante a lo largo de los años. Las concentraciones medianas se encuentran en un rango de 25 a 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y de 19 a 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  para MP10 y MP2,5, respectivamente. Además, la concentración diaria máxima de MP10, de 430  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se registró en el 2 de junio de 2018, mismo día en que se registró la segunda concentración máxima de MP2,5 con un valor de 405  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . La concentración máxima de MP2,5 corresponde a 415  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , medida el 17 de junio de 2021, fecha en que también se registró la segunda concentración máxima de MP10 con 422  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .



**Figura 4-15 Concentración de MP10 en estación de monitoreo Coyhaique II**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4-16 Concentración de MP2,5 en estación de monitoreo Coyhaique II**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-11 Estadígrafos concentraciones de MP10 [µg/m³N] en estación Coyhaique II**

Año	Máximo	3rd Qu.	Mediana	Media	1st Qu.	Mínimo
2018	430	73	39	64,1	21	8
2019	276	63	34	52,7	23	12
2020	294	63,3	31	48,6	18	11
2021	422	51	28	44,7	17	7
2022	359	53	25	46,1	13	6
2023	401	61,3	29	46,4	17	4

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-12 Estadígrafos concentraciones de MP2,5 [µg/m³N] en estación Coyhaique II**

Año	Máximo	3rd Qu.	Mediana	Media	1st Qu.	Mínimo
2018	405	59	28	50,4	11	4
2019	259	54	24	41,9	14	3
2020	275	55	22	39,7	11	4
2021	415	44	18,5	37,4	9	2
2022	358	47	20	41,8	9	2
2023	382	54	22	40,2	10	2

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4 Reducción de emisiones principales medidas

Se analiza el impacto de las medidas del PDA vigente en la reducción de emisiones durante su periodo de implementación a partir de 2019. Esto se realiza únicamente para las medidas que

generen una reducción de emisiones directamente cuantificable, identificándose las siguientes tres medidas:

- Cuantificación de la oferta de leña seca (Artículo 6.b)
- Programa de recambio de artefactos a leña (Artículo 13)
- Programa de acondicionamiento térmico de viviendas existentes (Artículo 16)

La estimación de las emisiones reducidas se desarrolla en una base de datos disponible en el anexo digital "PDACOY-Estimación\_Reducción\_PDAVigente.xlsx". En las siguientes subsecciones se presenta mayor detalle de la estimación de reducciones de emisiones para cada medida.

#### 4.1.4.1 Cuantificación de la oferta de leña seca

En el caso de la oferta de leña seca, la estimación considera la diferencia entre las emisiones que se generarían si se utilizara únicamente leña húmeda, y las emitidas efectivamente al utilizar la leña seca cuantificada. En 2023, la disponibilidad de leña seca en Coyhaique fue de 30.563 m<sup>3</sup> estéreos (Tabla 3-12). De esta forma, se analizan dos escenarios: un escenario sin la medida en donde los 30.563 m<sup>3</sup> serían de leña húmeda, y otro escenario con la medida que permite cuantificar un total de 30.563 m<sup>3</sup> de leña seca. Así, la reducción de emisiones generada por la medida corresponde a la diferencia entre las emisiones del escenario sin medida (leña húmeda) y el escenario con medida (leña seca).

La Tabla 4-13 y Tabla 4-14 presentan las emisiones correspondientes a cada tipo de artefacto, considerando el uso de leña húmeda y leña seca, respectivamente. Cabe destacar que no se incluyen artefactos de doble cámara básica, ya que, por criterio conservador, se asume que los artefactos a leña recambiados corresponden a: (1) combustión lenta C/T (correspondiente a doble cámara) y (2) combustión lenta S/T (correspondiente a combustión simple). Por lo tanto, de los 9.134 artefactos recambiados, los 6.402 identificados en el estudio de MORI (2015) fueron completamente reemplazados, alcanzando una reducción total de ese artefacto (Tabla 3-10).

La Tabla 4-15 muestra la reducción de emisiones asociada al fomento del uso de leña seca en 2023, según lo establecido por el PDA. Se observa que la implementación de leña seca en lugar de leña húmeda reduce significativamente las emisiones de contaminantes, alcanzando porcentajes de reducción de hasta 53,3% en MP2,5, y un 51,1% en MP y MP10. Cabe destacar que, dado que solo se cuenta con información de la cuantificación de leña seca correspondiente al año 2023, no es posible estimar la reducción de emisiones en todo el periodo de implementación del articulado. Sin embargo, de forma simplificada se podría suponer que las reducciones anuales presentadas en la Tabla 4-15 se generarían también en cada año del periodo 2019-2022.

**Tabla 4-13 Emisiones Cuantificación Leña [ton/año] – Escenario Leña húmeda, año 2023**

Tipo artefacto	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Cocina a Leña	93,39	93,39	87,13	18,04	1,34	1.228,66	8,71
Combustión Simple	74,09	74,09	61,59	15,65	0,31	1.266,69	6,16
Doble Cámara Básica	-	-	-	-	-	-	-
Salamandra	30,96	30,96	37,05	3,36	0,22	205,50	3,70
<b>Total</b>	<b>198,45</b>	<b>198,45</b>	<b>185,77</b>	<b>37,04</b>	<b>1,86</b>	<b>2.700,85</b>	<b>18,58</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-14 Emisiones Cuantificación Leña [ton/año] – Escenario Leña seca, año 2023**

Tipo artefacto	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Cocina a Leña	47,41	47,41	44,14	13,20	1,26	793,80	4,41
Combustión Simple	36,62	36,62	30,55	9,81	0,29	1.041,15	3,06
Doble Cámara Básica	-	-	-	-	-	-	-
Salamandra	12,98	12,98	12,06	7,85	0,20	129,09	1,21
<b>Total</b>	<b>97,01</b>	<b>97,01</b>	<b>86,75</b>	<b>30,86</b>	<b>1,75</b>	<b>1.964,04</b>	<b>8,67</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-15 Reducción Emisiones Cuantificación Leña [ton/año]**

Escenario	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Leña Húmeda	198,45	198,45	185,77	37,04	1,86	2.700,85	18,58
Leña Seca	97,01	97,01	86,75	30,86	1,75	1.964,04	8,67
<b>Total</b>	<b>101,44</b>	<b>101,44</b>	<b>99,02</b>	<b>6,18</b>	<b>0,11</b>	<b>736,81</b>	<b>9,90</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4.2 Programa de recambio de artefactos a leña

La reducción de emisiones generada por el programa de recambio de artefactos a leña está asociada al consumo de leña evitado por el retiro de los artefactos. Para ello, en primer lugar, en la Tabla 3-9 se presenta la cantidad de equipos instalados en Coyhaique en el marco del recambio de artefactos a leña. Tal como se explicó anteriormente (ver Sección 3.2.2.1), debido a la falta de información del tipo de artefacto recambiado, se decidió distribuir los recambios en (1) Combustión Lenta C/T y (2) Combustión Lenta S/T, lo que se traduce en los recambios presentados en la Tabla 4-16. Considerando que la vigencia del PDA actual es a partir de 2019, la reducción de emisiones asociada al Plan se debe contabilizar únicamente a partir de dicho año, por lo que en la Tabla 4-17 se presentan los recambios acumulados entre 2019 y 2022.

**Tabla 4-16 Distribución de recambios de artefactos a leña [%], periodo 2016-2022**

Tipo artefacto MORI	Tipo artefacto asignado	Cantidad	Distribución
Combustión Lenta S/T	Combustión Simple	2.732	30%
Combustión Lenta C/T	Doble Cámara Básica	6.402	70%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-17 Recambios de artefactos a leña, periodo 2019-2022**

Tipo artefacto	Cantidad
Combustión Simple	1.574
Doble Cámara Básica	3.687
<b>Total</b>	<b>5.261</b>

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de estimar un consumo de leña promedio por tipo de artefacto (combustión simple y doble cámara), se utiliza la información de la "Actualización del inventario de emisiones para la zona saturada de Coyhaique" (MMA, 2017a), obteniendo un consumo promedio de acuerdo a la cantidad registrada en Coyhaique en dicho estudio. La Tabla 4-18 muestra el consumo promedio por tipo de artefacto.

**Tabla 4-18 Consumo promedio por artefacto [m<sup>3</sup>/artefacto-año]**

Tipo artefacto	Consumo [m <sup>3</sup> ]	Cantidad artefactos	Consumo promedio [m <sup>3</sup> /art-año]
Combustión Simple	168.315	12.804	13,15
Doble Cámara Básica	84.157	6.402	13,15

Fuente: Elaboración propia

El consumo promedio se multiplica por la cantidad de artefactos recambiados (ver Tabla 4-17) y se distribuye en tipo de leña (ver Tabla 3-13) y tipo de operación (ver Tabla 3-14), obteniéndose el consumo total de leña evitado por el recambio de artefactos entre 2019 y 2022. La Tabla 4-19 presenta la reducción de emisiones por recambio de artefactos a leña en el periodo 2019-2022. Se observa una importante reducción en las emisiones de los contaminantes, en particular, reduciendo un total de 375 y 333 toneladas de MP10 y MP2,5, respectivamente, en todo el periodo de implementación del articulado y hasta 6.445 toneladas de CO.

**Tabla 4-19 Reducción Emisiones Programa de Recambio, 2019-2022 [ton]**

Escenario	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Combustión Simple	118	118	98	25	1	2.109	10
Doble Cámara Básica	256	256	235	39	2	4.336	23
<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>375</b>	<b>333</b>	<b>65</b>	<b>2</b>	<b>6.445</b>	<b>33</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4.3 Programa de acondicionamiento térmico

Para la medida de acondicionamiento térmico, la estimación de la reducción de emisiones considera la diferencia entre las emisiones generadas en viviendas sin acondicionamiento y las emisiones generadas por las mismas viviendas ya reacondicionadas. Además, se analizan dos escenarios: uno en que las viviendas utilizan únicamente leña seca y otro en que emplean únicamente leña húmeda. La estimación inicial se realiza para una vivienda tipo, la cual originalmente presenta un consumo anual de 17 m<sup>3</sup> de leña y, tras un reacondicionamiento térmico completo, mejora su eficiencia en un 85,4% según datos proporcionados por la

contraparte técnica, reduciendo en el mismo porcentaje su consumo de leña. Adicionalmente, se considera un total de 4.569 viviendas acondicionadas entre 2019 y 2023 (Tabla 4-20).

**Tabla 4-20 Cantidad de viviendas acondicionadas por año**

Año	Viviendas Seleccionadas	Viviendas Acondicionadas
2019	1.168	1.147
2020	1.346	1.304
2021	1.136	1.104
2022	871	819
2023	734	195
<b>Total</b>	<b>5.255</b>	<b>4.569</b>

Fuente: Elaboración propia según información proporcionada por SERVIU

La Tabla 4-21 y la Tabla 4-22 presentan la reducción de emisiones por acondicionamiento térmico de viviendas, considerando los escenarios de leña húmeda y leña seca, respectivamente. Además, la reducción se detalla tanto a nivel unitario por vivienda, como para el total de 4.569 viviendas acondicionadas en todo el periodo de implementación del articulado 2019-2023. Se obtiene un porcentaje de reducción de emisiones del 85% que se debe a la mejora en la eficiencia térmica de las viviendas al ser acondicionadas. Adicionalmente, se observa una diferencia en las emisiones al comparar el caso con leña húmeda y el caso con leña seca en donde, si bien la reducción de emisiones total asociado al primer caso es mayor, también lo son las emisiones del escenario sin y con acondicionamiento térmico. Es decir, como es de esperar, las emisiones son mayores cuando las viviendas utilizan leña húmeda.

**Tabla 4-21 Reducción Emisiones Acondicionamiento - Leña Húmeda**

Escenario	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Sin acondicionamiento	0,110	0,110	0,103	0,021	0,001	1,502	0,010
Con acondicionamiento	0,016	0,016	0,015	0,003	0,000	0,219	0,002
<b>Reducción unitaria [ton/año-vivienda]</b>	<b>0,094</b>	<b>0,094</b>	<b>0,088</b>	<b>0,018</b>	<b>0,001</b>	<b>1,283</b>	<b>0,009</b>
<b>Reducción total 2019-2023 [ton]</b>	<b>430,81</b>	<b>430,81</b>	<b>403,28</b>	<b>80,42</b>	<b>4,04</b>	<b>5.863,19</b>	<b>40,33</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-22 Reducción Emisiones Acondicionamiento Térmico – Leña Seca**

Escenario	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Sin acondicionamiento	0,054	0,054	0,048	0,017	0,001	1,092	0,005
Con acondicionamiento	0,008	0,008	0,007	0,003	0,000	0,159	0,001
<b>Reducción unitaria [ton/año-vivienda]</b>	<b>0,046</b>	<b>0,046</b>	<b>0,041</b>	<b>0,015</b>	<b>0,001</b>	<b>0,933</b>	<b>0,004</b>
<b>Reducción total 2019-2023 [ton]</b>	<b>210,6</b>	<b>210,6</b>	<b>188,32</b>	<b>67</b>	<b>3,8</b>	<b>4.263,68</b>	<b>18,83</b>

Fuente: Elaboración propia

Al considerar un escenario ideal en donde viviendas sin acondicionamiento térmico que utilizan leña húmeda son acondicionadas y se cambian a leña seca, como consecuencia del PDA, la reducción de emisiones alcanza 468,39 ton de MP10 y 439,97 ton de MP2,5 en el periodo 2019-2023. Esto representa una disminución del 92,9% en las emisiones de MP10 y del 93,2% en las

de MP2,5. La Tabla 4-23 muestra la reducción de emisiones para el escenario ideal de acondicionamiento térmico.

**Tabla 4-23 Reducción Emisiones Acondicionamiento Térmico Ideal**

Escenario	MP	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CO	CN
Sin acondicionamiento - Leña Húmeda	0,110	0,110	0,103	0,021	0,001	1,502	0,010
Con acondicionamiento - Leña Seca	0,008	0,008	0,007	0,003	0,000	0,159	0,001
<b>Reducción unitaria [ton/año-vivienda]</b>	<b>0,103</b>	<b>0,103</b>	<b>0,096</b>	<b>0,018</b>	<b>0,001</b>	<b>1,343</b>	<b>0,010</b>
<b>Reducción total 2019-2023 [ton]</b>	<b>468,39</b>	<b>468,39</b>	<b>439,97</b>	<b>82,71</b>	<b>4,08</b>	<b>6.136,2</b>	<b>44</b>

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Reuniones sectoriales con los servicios que tienen medidas comprometidas en el PDA vigente

Se realizaron reuniones sectoriales con los principales Servicios que tienen medidas comprometidas en el PDA vigente. En la Tabla 4-24 se presenta el itinerario seguido para la realización de las reuniones, las cuales fueron en formato remoto vía Microsoft Teams.

**Tabla 4-24 Itinerario reuniones sectoriales**

Fecha reunión	Servicio entrevistado
Jueves 26 de septiembre a las 11 hrs	Superintendencia del Medio Ambiente
Lunes 30 de septiembre a las 15 hrs	Municipalidad de Coyhaique
Jueves 3 de octubre a las 16 hrs	CONAF
Viernes 4 de octubre a las 15 hrs	Seremi de Energía
Lunes 7 de octubre a las 11 hrs	Seremi MINVU SERVIU
Martes 8 de octubre a las 9 hrs	Seremi de Obras Públicas (MOP)
Martes 8 de octubre a las 14 hrs	GORE Aysén
Viernes 11 de octubre a las 9 hrs	Seremi de Transporte
Viernes 11 de octubre a las 11 hrs	Seremi de Salud
Lunes 14 de octubre a las 9 hrs	SEC

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.1 Metodología reuniones

Las reuniones sectoriales tuvieron los siguientes enfoques:

- **Identificación de brechas:** Se priorizó identificar cualquier brecha o deficiencia en la implementación de las medidas comprometidas en el PDA vigente. Esto incluye posibles áreas donde las medidas no se están llevando a cabo según lo planeado o donde se están encontrando dificultades en su ejecución.
- **Identificación de obstáculos:** Identificar los obstáculos que puedan estar impidiendo la implementación efectiva de las medidas del PDA. Estos obstáculos pueden ser de diversa índole, como limitaciones presupuestarias, falta de recursos humanos, barreras regulatorias, entre otros.

- Evaluar el avance en la implementación de las medidas y su aporte para el logro de los objetivos del PDA.
- Recibir recomendaciones a incluir en el proceso de actualización del PDA.

Para esto, se elaboraron pautas con las preguntas a realizar a cada Servicio entrevistado, pautas las cuales fueron revisadas y validadas por la contraparte técnica. Estas pautas abarcaron preguntas generales respecto al avance del Plan, preguntas particulares respecto a cada medida comprometida sobre posibles obstáculos que hayan surgido en su implementación, evaluación del avance y aporte de las medidas, y recomendaciones para su actualización. Adicionalmente, se agregó al final de cada pauta un apartado de preguntas adicionales o reflexiones, solicitado por la contraparte técnica, en donde se realizaron preguntas enfocadas en lo que la SEREMI del MMA espera de cada Servicio más allá de la implementación del PDA vigente. En la Tabla 4-25 se presenta, a modo de ejemplo, las principales preguntas realizadas en las reuniones.

**Tabla 4-25 Preguntas principales realizadas en reuniones sectoriales**

Temática	Preguntas principales
<b>Preguntas generales</b>	¿Cuáles son las principales brechas o dificultades que han experimentado en la implementación de las medidas? Por ejemplo, limitaciones presupuestarias, recursos humanos insuficientes, barreras regulatorias.
	¿Existen áreas específicas donde la implementación ha enfrentado más desafíos o dificultades?
	¿Existen dificultades que no han logrado superar? ¿Qué necesitarían para poder superarlas?
	¿Tienen sugerencias de mejoras que creen que se podrían incorporar en la actualización del Plan?
	¿Hay nuevas medidas o enfoques que están considerando implementar y que podrían ser beneficiosas en el futuro?
	¿Mediante qué medidas crees que se podría seguir avanzando en reducir las emisiones atmosféricas de la zona?
<b>Preguntas por medida</b>	¿Han experimentado obstáculos o brechas durante la implementación de la medida?
	¿Consideras que los resultados obtenidos hasta ahora son coherentes con lo esperado, y qué factores podrían estar influyendo en su éxito o limitaciones?
	¿Alguna recomendación o mejora que necesite la medida?

Fuente: Elaboración propia

Para cada reunión se desarrolló una minuta en donde se detallan los asistentes, los principales temas tratados y las intervenciones realizadas por los servicios. Dichas minutas se envían como Anexo Digital del presente informe.

#### 4.2.2 Sistematización y análisis de los aportes de los servicios

La información discutida en las reuniones con los servicios fue sistematizada en una base de datos que contiene la siguiente información:

- Servicio que realiza el aporte



- Nombre de la medida existente o nueva
- Artículo del PDA de la medida existente, en caso de aplicar
- Obstáculo/brecha de la medida identificada por el servicio
- Tipo propuesta: Indica si la propuesta corresponde a una “Modificación” o una “Nueva”
- Propuesta: Detalle de la propuesta realizada
- Temática

A partir de la sistematización de los aportes recibidos, las temáticas más recurrentes identificadas son las siguientes:

- Obstáculos:
  - Falta de personal y recursos financieros para la fiscalización de las medidas.
- Medidas nuevas propuestas:
  - Fomento al comercio formal de leña seca.
  - Subsidio de calefacción para combustibles alternativos.
  - Educación a la población sobre los efectos a la salud generados por la contaminación al aire.

Además, la Tabla 4-26 presenta la recurrencia de aportes por temática. Se refleja un alto aporte de Calefacción y Aislamiento Térmico, seguido por la necesidad de mejorar la fiscalización para que la implementación de las medidas sea efectiva, así como la introducción de nuevas acciones para diversificar las alternativas de combustibles y educar a la población respecto al impacto de la contaminación atmosférica, promoviendo, en el mejor de los casos y de forma muy gradual, un cambio cultural.

**Tabla 4-26 Recurrencia de aportes por temática**

Temática	Cantidad	Recurrencia
Calefacción y Aislamiento Térmico	20	33%
Calidad y Comercio Leña	9	15%
Educación	10	16%
Fiscalización y Recursos	11	8%
Transporte	3	5%
Otros	8	13%
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

La sistematización de los aportes para la actualización del PDA se entrega en el Anexo Digital “PDACoy-Sistematizacion\_reuniones.xlsx”. Además, la Tabla 4-27 presenta la sistematización para medidas existentes y la Tabla 4-28 las nuevas medidas sugeridas en las reuniones.

**Tabla 4-27 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Reuniones con servicios – Medidas Existentes**

Servicio	Medida	Art.	Obstáculo/brecha	Tipo prop.	Propuesta	Temática
Superintendencia del Medio Ambiente	Medidas durante el periodo de gestión de episodios críticos (GEC)	43	El D.S no establece un servicio público a cargo de la fiscalización de la medida.	Modificación	Asegurar que cada medida tenga un organismo ejecutor y fiscalizador explícito en el decreto supremo. Se propone que la medida sea fiscalizada por la Seremi de Salud.	Fiscalización y Recursos
	Medidas durante el periodo de gestión de episodios críticos (GEC)	43	-	Modificación	Considerar la paralización calderas a leña, basándose en el combustible más que potencia térmica.	Otros
	Calidad de leña	5	-	Modificación	Modificar el organismo responsable a la SEC. Considerar aspectos no regulados por la Ley de Biocombustibles Sólidos.	Calidad y Comercio Leña
	Comercio de leña	5	Comercio de leña en Coyhaique tiene un alto grado de informalidad, por lo que se complejiza su fiscalización.	Modificación	Ordenanza Municipal que regule aspectos no considerados por la Ley de Biocombustibles Sólidos, como venta informal en camiones, almacenamiento en viviendas y bodegas, picaduría de leña, desechos	Calidad y Comercio Leña
	Control de emisiones en calderas con potencia mayor o igual a 75 kWt	27, 28	Verificar el cumplimiento de límites emisión es difícil por costo elevado del muestreo isocinético. No existen calderas de esa potencia.	Modificación	Establecer la obligatoriedad para titulares de calderas de registrarse en SISAT de la SMA, para ser incluido en el catastro de calderas. Incorporar verificación simple, como estimación emisión o requisitos de mitigación	Otros
	Cumplimiento de RCA que contenga obligación de compensar emisiones	34	La compensación no incluye proyectos menores a 1 ton/año, que podrían ser significativos en Coyhaique.	Modificación	Incorporar proyectos que emita menos de 1 ton/año de MP.	Otros
	Contar con xilohigrómetro	5	Aparato que solicita el articulado es altamente costoso y complejo de utilizar. Además, es necesario que esté calibrado.	Modificación	Agregar que el xilohigrómetro esté calibrado. Debido a la Ley de Biocombustibles Sólidos, medida debe quedar a cargo de la SEC.	Calidad y Comercio Leña
	Programa de recambio de artefactos a leña	13	Los beneficiados revenden el calefactor recambiado y lo cambian por calefactor a leña. Seguimiento complejo porque requiere identificar al vendedor asociado al número de serie del postulante.	-	-	Calefacción y Aislamiento Térmico

Servicio	Medida	Art.	Obstáculo/brecha	Tipo prop.	Propuesta	Temática
Seremi de Energía	Fondos para el Programa de Inversión regional de leña seca	8	Programa "Leña Más Seca": Falta de seguimiento de beneficiarios anteriores. No se sabe si se mantiene la producción de leña seca a lo largo del tiempo.	Modificación	Mejorar el seguimiento de los beneficiarios del programa para asegurar la producción continua de leña seca, tanto beneficiarios anteriores como futuros	Calidad y Comercio Leña
	Programas asociados al fomento de leña seca	6.b	Sello de Calidad de Leña: El monitoreo actual solo incluye a los postulantes con infraestructura adecuada, lo que deja fuera a otros productores.	-	-	Calidad y Comercio Leña
	Programas asociados al fomento de leña seca	6.b	Falta de recursos humanos en CONAF para monitorear a todos los beneficiarios del Programa Dendroenergía.	Modificación	Aumentar los recursos humanos de CONAF para abarcar más beneficiarios del programa.	Fiscalización y Recursos
SERVIU	Fiscalización de Programa de Acondicionamiento Térmico	19	Falta de fiscalización suficiente debido a la escasez de personal. Seremi MINVU no ha realizado la fiscalización de los subsidios.	Modificación	Incrementar la dotación de personal para fiscalización. Mejorar el sistema de reclamos.	Fiscalización y Recursos
Seremi de Vivienda y Urbanismo	-	-	Falta de herramientas de gestión financiera. Presupuesto no alcanza, lo que ha generado que se consuman recursos del año siguiente, disminuyendo el presupuesto disponible en dicho año. Poca dotación de personal fiscalizador.	-	-	Fiscalización y Recursos

Servicio	Medida	Art.	Obstáculo/brecha	Tipo prop.	Propuesta	Temática
	Sistema de calefacción distinto a leña en viviendas nuevas	N/A	Propietarios nuevos no están obligados a utilizar el sistema de calefacción, por lo que podrían cambiarlo y se desperdiciarían recursos. Aumenta exigencias a personal de construcción, limitando las opciones y haciendo más elitista la instalación.	-	-	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Subsidio para acondicionamiento térmico de viviendas existentes	16	-	Modificación	Agregar como requisito para postular al programa el que la vivienda debe tener un sistema de calefacción distinto a leña.	Calefacción y Aislamiento Térmico
GORE	Programa de recambio de artefactos a leña	13	Muchos beneficiarios vuelven a la leña por costos e inestabilidad del sistema eléctrico. Desconocimiento del beneficiario sobre el uso de calefactores nuevos instalados.	Modificación	Incorporar campaña educacional al programa de recambio de calefactores, para enseñar a los consumidores sobre su uso y mantenimiento, y beneficios del recambio.	Educación
	Bono de Calefacción	N/A	El bono es insuficiente debido al aumento del precio de la leña; cubre solo una pequeña fracción del costo actual	Modificación	Aumentar el monto del bono para reflejar los costos actuales del combustible o subsidios alternativos	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Fiscalización del uso de leña en episodios críticos	43	Falta de fiscalización efectiva y cumplimiento de las restricciones de uso de leña durante episodios críticos.	Modificación	Aumentar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante episodios críticos	Fiscalización y Recursos
	Mejorar administrativamente la línea de financiamiento para recambio	13	Dificultad en la ejecución de recursos, proceso administrativo extenso	Modificación	Mejorar la línea de financiamiento a una administrativa más eficiente	Fiscalización y Recursos
Seremi MMA	Continuidad al proyecto de Calefacción distrital	15	Falta de recursos económicos para continuar con ejecución del proyecto.	-	-	Calefacción y Aislamiento Térmico

Servicio	Medida	Art.	Obstáculo/brecha	Tipo prop.	Propuesta	Temática
SEC	-	-	Escasez de personal para la fiscalización efectiva de la Ley de Biocombustibles Sólidos, y dificultades operativas especialmente en el transporte de leña.	-	-	Fiscalización y Recursos
	-	-	Dependencia de transporte vulnerable (barcazas y camiones) para el suministro de combustibles en invierno	-	-	Calidad y Comercio Leña
CONAF	Prohibición de quema rastrojos	43. b	Falta de recursos y brigadas limitadas en ciertos periodos clave de episodios críticos. Componente cultural y desconocimiento sobre quemas.	-	-	Fiscalización y Recursos
	Prohibición de quema rastrojos	43. b	Uso de fuego en zonas aledañas al polígono, contribuyendo a la contaminación de Coyhaique	Modificación	Considerar una zona buffer que prohíba el uso de fuego en áreas cercanas al polígono. Evaluar posibilidad de extender la prohibición en toda la región.	Otros
Seremi de Transporte	Prohibición de la emisión continua de humos visibles en vehículos motorizados	36	Impacto bajo por el reducido porcentaje de vehículos controlados con respecto al total del parque vehicular.	Modificación	Aumentar el número de controles para que sea más representativo y significativo en el parque vehicular.	Transporte
Seremi de Salud	Programa de recambio de artefactos a leña	13	Despriorización de viviendas con problemas de regulación o condiciones precarias	Modificación	Flexibilizar criterios de selección de subsidios recambios de calefactores.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Subsidio para acondicionamiento térmico de viviendas existentes	16	Viviendas precarias despriorizadas, beneficiarios en viviendas no regularizadas	Modificación	Flexibilizar criterios de selección de subsidios aislación térmica.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Prohibición de humos visibles de artefactos de leña en GEC	43	Falta de recursos financieros para fiscalizar durante episodios críticos	Modificación	Incorporar recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria y mejorar la fiscalización	Fiscalización y Recursos

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-28 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Reuniones con servicios – Nuevas Medidas**

Servicio	Medida	Obstáculo/brecha	Propuesta	Temática
<b>Superintendencia del Medio Ambiente</b>	Plataforma para reportar medidas	El reporte se realiza por Oficios complicados de leer	Incorporar una plataforma en que los servicios reporten el avance de las medidas	Otros
	Fomento al comercio formal de leña seca	La informalidad en el comercio de leña y la dificultad para medir la humedad hacen compleja la fiscalización.	Establecer puntos de venta formales con Ordenanza Municipal y seguir el uso de los galpones para el secado de leña entregados por Seremi de Energía.	Calidad y Comercio Leña
	Subsidio de calefacción para combustibles alternativos	El consumo de leña es una decisión principalmente económica, dado que es menos costosa que otros combustibles.	Mecanismo para tener combustibles alternativos a precios económicos, como la entregar subsidios para combustibles que se usen gas y parafina	Calefacción y Aislamiento Térmico
<b>Seremi de Energía</b>	Programa Techo Solar	-	Volver a implementar programas regionales como Techo Solar, financiado por GORE, que promuevan el uso de energía solar en viviendas y edificaciones	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Educación al público sobre uso de leña seca	Falta de educación pública sobre los beneficios del uso de leña seca y la reducción de la contaminación.	Desarrollar campañas de educación sobre el uso de leña seca, alineadas con la Ley de Biocombustibles Sólidos, para informar a los consumidores.	Educación
	Incentivo económico para combustibles alternativos a la leña	El bajo costo de la leña es un obstáculo, y no hay suficientes incentivos para usar combustibles alternativos más accesibles.	Promover la sustitución de leña con incentivos que permitan que las alternativas sean más económicas. Considerar combustibles de biomasa como briqueta o pellet, electricidad.	Calefacción y Aislamiento Térmico
<b>SERVIU</b>	Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas	-	Fiscalizar y multar a las viviendas construidas a partir de una fecha determinada que utilicen calefactores a leña. Aplicable a viviendas públicas como privadas.	Fiscalización y Recursos
<b>Seremi de Vivienda y Urbanismo</b>	Estudio de evaluación del Programa de Acondicionamiento Térmico	Se desconoce si la calidad de la construcción llevada a cabo a través del subsidio es buena, ya que el único indicativo son los reclamos y son escasos	Desarrollar estudio para evaluar el desempeño de la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Proyecto de sistema energético comunitario	Respecto a paneles solares, una dificultad es la poca radiación solar que hay en inviernos.	Instalar paneles solares u otro sistema en base a energías renovables en un recinto comunitario, para suplir la demanda energética de viviendas.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción	Se desconoce la utilización del bono	Desarrollar estudio para evaluar la implementación del Bono de Calefacción, a quién beneficia y en qué se utiliza el dinero	Calefacción y Aislamiento Térmico
<b>Seremi Obras Públicas</b>	Incorporación de Calefacción Distrital en Edificaciones	Desconocimiento de su viabilidad en viviendas sociales.	Evaluar implementación de calefacción distrital en proyectos habitacionales y grandes equipamientos públicos	Calefacción y Aislamiento Térmico

Servicio	Medida	Obstáculo/brecha	Propuesta	Temática
	Implementación de sistemas de calefacción a pellet en edificaciones públicas	Falta de información sobre el almacenamiento y distribución de pellet. Dificultades en lugar de acopio del combustible	Evaluar la alternativa de incorporar sistemas de calefacción a pellet en edificaciones públicas. Generar alianzas con proveedores de pellet y realizar charlas técnicas sobre su instalación y manejo.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Implementar paneles fotovoltaicos en edif. públicos	Baja radiación solar en invierno, problemas con baterías y carga	Considerar paneles solares como respaldo en edificaciones públicas, en localidades aisladas	Calefacción y Aislamiento Térmico
GORE	GORE con mayor rol en PDA	GORE no es responsable de medidas, sino es fuente financiera	Incluir al GORE como responsable de medidas o cohesión con otros para su inclusión, no solo como organismo financiero	Otros
	Campañas educativas para desincentivar el uso de leña	Falta de conciencia sobre los efectos de la leña en la salud y en la contaminación	Implementar campañas educativas agresivas, similar a las campañas contra el tabaco, desincentivar uso leña	Educación
	Mejora de eficiencia energética en viviendas	Normas de eficiencia energética insuficientes, con un largo proceso para elevar los estándares en nuevas viviendas	Acelerar la implementación de normas más estrictas de eficiencia energética en nuevas construcciones	Calefacción y Aislamiento Térmico
SEC	Empalmes independientes para viviendas antiguas	Muchas viviendas antiguas no cumplen con las normativas eléctricas actuales para soportar tecnologías modernas	Incluir un empalme independiente en viviendas que no cumplen normativas eléctricas, porque se puede optar a tarifas más económicas y es más seguro	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Campaña de educación para el uso de leña certificada	La leña certificada es más cara, lo que impulsa a las personas a comprar leña no certificada.	Desarrollar campañas educativas dirigidas a los consumidores sobre los beneficios del uso de leña certificada.	Educación
CONAF	Infraestructura para el Secado y Almacenamiento de Leña	Dificultad para mantener estándares de humedad en la leña debido a la exposición a las lluvias en algunos sectores	Mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad	Calidad y Comercio Leña
Municipalidad de Coyhaique	Difusión de información y concientización de la población respecto a contaminación ambiental	No existe un sistema para educar a la población en tiempo real sobre la calidad del aire	Semáforos ambientales en sectores de Coyhaique para mostrar la calidad del aire y educar a la población.	Educación
	Tecnologías de mitigación de emisiones para calderas		Evaluar y promover implementación de tecnologías de mitigación como electrofiltros o filtros en calderas.	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Monitoreo en línea y en tiempo real de la calidad del aire en episodios críticos	Retraso en la recepción de información de episodios críticos	Aplicación del SINCA que permita monitoreo en línea y en tiempo real de la calidad del aire, similar a "IQAir AirVisual"	Educación

Servicio	Medida	Obstáculo/brecha	Propuesta	Temática
Seremi de Transporte	Fomentar medios de transporte sustentable	En Coyhaique actualmente no existe transporte público mayor y no hay ciclovías.	Promover el uso de transporte sustentable, facilitando la transición del uso de vehículos particulares hacia opciones sustentable, durante la ejecución de los proyectos que actualmente se están desarrollando.	Transporte
	Restricciones a vehículos de Zona Franca	No existe restricción sobre norma de emisión que deben cumplir vehículos que adquiridos por Zona Franca. Poca factibilidad de eliminar Zona Franca por su popularidad.	Implementar restricciones respecto a la norma de emisión de vehículos que ingresan por Zona Franca. Prohibir ingreso de vehículos que no cumplan norma Euro VI.	Transporte
Seremi de Salud	Educación sobre efectos a la salud de la contaminación ambiental	Planes comunicacionales limitados a episodios críticos y falta de segmentación por grupo poblacional	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad	Educación
	Incorporación de contenidos de contaminación ambiental en malla curricular	Contenidos no incorporados en mallas curriculares de educación básica, media y universitaria	Incorporar permanentemente en mallas curriculares educacionales los efectos de la contaminación del aire en la salud.	Educación
	Tesis de grado con temáticas de impactos en la salud de contaminación ambiental	-	Se propone que la Universidad de Aysén incorpore en sus tesis de grado la investigación de los efectos en la salud de la contaminación, al menos, en carreras de Obstetricia y Enfermería.	Educación
	Subsidios de calefacción y para mantención de equipos de calefacción	Equipos recambiados no son mantenidos en óptimas condiciones debido a falta de recursos.	Mantener subsidios de combustibles y mantención de equipos para familias vulnerables, especialmente en meses críticos	Calefacción y Aislamiento Térmico
	Restricción absoluta de uso de leña	Precio de la leña regulada aumentará y su uso sigue siendo común	Evaluar medidas de restricción absoluta de uso de leña por polígonos en la ciudad o durante episodios críticos	Calidad y Comercio Leña
	Implementación de tercera estación de monitoreo de la calidad del aire	Proceso para establecer representatividad y formalización de la estación de monitoreo es largo.	Instalar una tercera estación de monitoreo portátil en el sector alto de Coyhaique para tener mejor representatividad en episodios críticos.	Otros
	Capacitación a docentes y directivos de Educación	-	Capacitar a docentes y directivos de Educación respecto de los efectos en la salud que tiene la contaminación del aire.	Educación
	Fortalecimiento de la fiscalización preventiva durante episodios críticos	Falta de recursos para implementar fiscalización efectiva y preventiva.	Destinar recursos financieros específicos para aumentar fiscalización durante episodios críticos. Se propone designar equipo de fiscalización permanente y especializado.	Fiscalización y Recursos

Fuente: Elaboración propia



## **5. Propuesta de nuevas medidas de reducción de emisiones para MP10 y MP2,5 para la actualización del Plan**

### **5.1 Mapa de actores relevantes en el marco del PDA**

Para el levantamiento del mapa de actores relevantes en el marco del PDA, se consideró la inclusión de actores de múltiples sectores, incluidos el sector privado, la industria con representantes de las actividades económicas principales de la zona, la ciudadanía y organizaciones sociales, la academia, entre otros. Se consideró como punto de partida a los organismos que tienen medidas comprometidas en el PDA vigente, e instituciones participantes del Comité Operativo Ampliado en el contexto de la elaboración de dicho PDA. Además, se identifican posibles nuevos actores a través de las reuniones sectoriales.

En la Tabla 5-1 se presentan los actores relevantes identificados. Entre los miembros del Comité Operativo del PDA vigente se excluye la SEREMI de Economía y la SEREMI de Agricultura de los actores relevantes para la actualización del PDA, debido a que sus obligaciones se traspasan a la SEREMI de Energía por la Ley de Biocombustibles Sólidos.

Tabla 5-1 Actores relevante en marco del PDA

Sector	Ministerio	SEREMI	Actores Relevantes	Relevancia
Público	Ministerio de Agricultura (MINAGRI)	SEREMI de Agricultura	Corporación Nacional Forestal (CONAF)	Servicio con medidas en PDA
			Instituto Forestal (INFOR)	Conocimiento científico
			Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP)	Comité operativo PDA 2019
			Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)	Servicio con medidas en PDA
	Ministerio de Bienes Nacionales	SEREMI de Bienes Nacionales	SEREMI de Bienes Nacionales	Comité operativo PDA 2019
	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCI)	-	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCI)	Conocimiento científico
	Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO)	SEREMI de Desarrollo Social	Instituto Nacional de la Juventud (INJUV)	Fomenta la participación juvenil
	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo	SEREMI de Economía, Fomento y Turismo	<b>Corporación de Fomento (CORFO)</b>	<b>Servicio con medidas en PDA</b>
			- Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC)	Promover sustentabilidad
			Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC)	Comité operativo PDA 2019
	Ministerio de Turismo	SEREMI de Turismo	Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR)	Impulsar turismo sostenible
	Ministerio de Educación (MINEDUC)	SEREMI de Educación	SEREMI de Educación	Comité operativo PDA 2019
	Ministerio de Energía	SEREMI de Energía	Ministerio de Energía	Servicio con medidas en PDA
			SEREMI de Energía	Servicio con medidas en PDA
			Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)	Comité operativo PDA 2019
	Ministerio de Salud (MINSAL)	SEREMI de Salud	SEREMI de Salud	Servicio con medidas en PDA
	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT)	SEREMI de Transporte	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT)	Servicio con medidas en PDA
			SEREMI de Transporte	Servicio con medidas en PDA
	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	SEREMI MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	Servicio con medidas en PDA
			SEREMI MINVU	Servicio con medidas en PDA
			Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU)	Servicio con medidas en PDA
	Ministerio del Interior y Seguridad Pública	-	Carabineros de Chile	Servicio con medidas en PDA
Delegación Presidencial (DPR) de Aysén			Servicio con medidas en PDA	
Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED)			Conocimiento científico	
Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	SEREMI del Medio Ambiente	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Servicio con medidas en PDA	
		SEREMI del Medio Ambiente	Servicio con medidas en PDA	
		Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	Servicio con medidas en PDA	
		Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)	Servicio con medidas en PDA	

Sector	Ministerio	SEREMI	Actores Relevantes	Relevancia
	-	-	<b>Municipalidad de Coyhaique</b> - Departamento del Tránsito - Dirección de Obras Municipales (DOM)	Servicios con medidas en PDA
	-	-	<b>Gobierno Regional (GORE)</b> - Consejo Regional (CORE)	<b>Comité operativo PDA 2019</b> Sugerencia GORE, aprueba financiamiento
Civil	-	-	Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Agrupación Reserva de Vida Aysén y CODEFF	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Aumen	Promueve el desarrollo social y ambiental, fomenta la participación comunitaria en la gestión de recursos
			Aysén reserva de vida	Promueve desarrollo sustentable
			Cicleayque	Promueve la movilidad activa en bicicleta
			Colegio de Arquitectos, delegación zonal de Aysén	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Colegio Médico de Chile (COLMED)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Corporación Privada para el Desarrollo de Aysén (CODESA)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Fundación Ayciencia	Investigación y transferencia científica
			Fundación Superación de la Pobreza	Aborda la pobreza con programas de inclusión social y desarrollo sostenible
			Integra	Educación parvularia de calidad a los niños y niñas en Chile
			Pulso Austral	Facilita el desarrollo económico sostenible y la promoción de prácticas responsables en comunidades locales
			Red de Pobreza Energética (RedPE)	Promueve el acceso equitativo a la energía y la reducción de la pobreza energética
			Respira Coyhaique	Promueve la mejora de la calidad del aire y la salud pública, aborda problemáticas ambientales locales
Unión Comunal de Juntas de Vecinos Pampa del Corral	Comité operativo ampliado PDA 2019			
Privado	-	-	Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE)	Promover el uso eficiente y sostenible de la energía
			Aguas Patagonia	Empresa agua región, promueve la gestión sostenible del agua
			Appel - venta cocinas a leña	Punto de vista de comercio leña

Sector	Ministerio	SEREMI	Actores Relevantes	Relevancia
			Asociación Gremial Leñeros de Aysén y Cooperativa de Leñeros COLECO	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Cámara Chilena de la Construcción Aysén (CChC)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Corporación Ciudades	Fomenta el desarrollo urbano sostenible, estudio Coyhaique
			ECOMAS - venta pellet y estufas eficientes	Facilita el acceso a la calefacción sostenible
			Edelaysén de Grupo Saesa	Empresa electricidad región, promueve energía sostenible
			Lanarq	Facilita reducción consumo energético
			Refugio verde	Contribuye a energía sostenible
Academia	-	-	Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) UC	Conocimiento científico
			Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Centro Universitario Coyhaique de la Universidad de Magallanes (UMAG)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Explora Aysén del MinCiencia	Conocimiento científico
			INACAP Coyhaique	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Universidad Austral de Chile (UACH)	Comité operativo ampliado PDA 2019
			Universidad de Aysén (Uaysén)	Comité operativo ampliado PDA 2019

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Medidas de descontaminación atmosférica implementadas en Coyhaique, no incluidas en PDA

Se realizó una búsqueda y revisión de acciones que se hayan implementado o se estén implementando en Coyhaique y que tengan relación con la descontaminación atmosférica, pero que no se encuentren establecidas en el PDA vigente. Además, se solicita a la contraparte técnica información sobre planes, programas, estrategias u otros documentos de interés que posean medidas de descontaminación implementadas en Coyhaique para su revisión, y se complementan con medidas obtenidas de las reuniones sectoriales. El detalle de las medidas de descontaminación atmosférica implementadas en Coyhaique no incluidas en PDA se encuentra disponible en el Anexo Digital “PDACOY-Medidas\_Identificadas\_No\_PDA”.

En la Tabla 5-2 se presentan las medidas identificadas para Coyhaique, con énfasis en medidas no establecidas en el PDA vigente. Se observan medidas de distintos tipos que van desde campañas informativas hasta la fabricación de productos que contribuyen a la reducción de emisiones. Se evidencia el estado de la medida desde implementadas a medidas por implementar, junto a una descripción general esta.

**Tabla 5-2 Medidas identificadas no establecidas en PDA**

Tipo	Medida	Descripción	Estado	Fuente
Educación	Educación para Descontaminar el Aire de Coyhaique - FPA en Calidad del aire	Fondo de Protección Ambiental (FPA) concursables nacionales, para calidad del aire se adjudica fondo educativo	En implementación	FPA - MMA
Educación	Experimento de Campo Calidad del Aire - EXCAMP 2022	Experimento para medir la calidad aire y concientizar a población	Implementada	AysenMet
Educación	Respira Coyhaique - Campaña	Campaña informativa sobre contaminación por MP	En implementación	Respira Coyhaique
Producto	Lanarq - Aislante de lana de oveja	Aislante de lana de oveja	En implementación	Lanarq
Producto	ECOMAS - Venta de pellet y estufas eficientes	Fabricación y venta de pellet en Coyhaique, venta de estufas eficientes	En implementación	ECOMAS
Proyecto	Precipitadores electrostáticos como filtros	Implementa y evalúa 45 filtros PE en viviendas	Implementada	CIEP
Proyecto	Monitoreo Ciudadano - FIC Descontamina	Fondo de Innovación para la Competitividad realiza monitoreo con sensores para medir calidad del aire en viviendas y en Jardín	En implementación	FIC Descontamina
Subsidio	Subsidio a la calefacción	Entrega \$100 mil para gastos de calefacción en invierno	En implementación	Ministerio de Desarrollo Social y Familia
Transporte	Cicleayque - Organización	Organización para promover la transición a movilidad sustentable	En implementación	Cicleayque
Transporte	Buses eléctricos	Buses eléctricos para el transporte público	Por implementar	Transporte
Subsidio	Tarifa ECOAYRE	Tarifa residencial para 2do servicio en hogar. Sirve para climatización, calefacción eléctrica,	En implementación	Reunión SMA

Tipo	Medida	Descripción	Estado	Fuente
		agua residencial, agua caliente residencial y/o electromovilidad		
Subsidio	Programa Leña Más Seca	Aumenta la oferta de leña seca en regiones, capacita y financia proyectos de infraestructuras, maquinarias y equipamientos	En implementación	Reunión Seremi de Energía
Subsidio	Centros Integral de Biomasa (CIB)	Financiar proyectos de implementación y puesta en operación de CIB para fomenta la producción de biocombustibles sólidos de madera de uso residencial	En implementación	Reunión Seremi de Energía
Energía	Gestiona Energía	Promover el uso eficiente de las fuentes energéticas en sector público y privado. Sector vivienda tiene proyectos de mejora energética en vivienda por ubicación	En implementación	Reunión Seremi de Energía
Subsidio	Fondo de Acceso a la Energía (FAE)	Fondo concursable, para acceder a proyectos energéticos en energías renovables no convencionales (ERNC). En 2019 ganan concurso, se opta a solución fotovoltaica.	En implementación	Reunión Seremi de Energía
Estudio	Innovación Integral de Evaluación/Exposición a Contaminantes	Evaluar el impacto de la contaminación por humo de leña en hogares de Coyhaique	En implementación	Reunión GORE
Proyecto	Aires Nuevos para la Primera Infancia	Generar conciencia ambiental para resguardar a menores de cuatro años, se instalan cinco monitores y con app Air Visual se puede seguir la calidad del aire	Implementada	Reunión Municipalidad
Transporte	Renueva tu Colectivo	Entrega dinero para contribuir en el cambio de colectivos a vehículos eléctricos	En implementación	Reunión Seremi de Transporte
Transporte	Renueva tu Micro	Entrega dinero para contribuir en el cambio de micros a vehículos eléctricos	En implementación	Reunión Seremi de Transporte
Transporte	Implementación de sistema de transporte público eléctrico	Implementación de sistema de transporte público eléctrico, integrando recorridos que alimentan sectores desprovistos de locomoción colectiva	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades
Transporte	Red de Ciclovías	Construir infraestructura para consolidar una red de ciclovías, diseñadas según recomendación MINVU, extender las ciclovías para conectar la ciudad longitudinal y transversalmente. Incluye un Programa Integral de Fomento y Activación del Uso de la Bicicleta para promover uso	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades
Transporte	Creación de estaciones de conexión intermodal entre los diferentes sistemas de transporte	Identificación de puntos de conexión intermodal entre transportes (público, privado, ciclovías y colectivos) e implementar infraestructura de apoyo	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades
Proyecto	Diseño e implementación de un plan de manejo ambiental	Plan aborda problemas como la gestión de residuos, perros vagos, cuidado de la naturaleza y descontaminación ambiental. Considera otros planes y proyectos comunales para definir acciones que consoliden un entorno sostenible	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades

Tipo	Medida	Descripción	Estado	Fuente
Energía	Implementación del programa de energía limpia "Techo Solar"	Instalar de sistemas solares fotovoltaicos en techos de edificios o casas, conectados a la red pública eléctrica. La electricidad producida puede ser utilizada durante las horas de sol y los excedentes se inyectan a la red, recibiendo un pago o descuento en la boleta de electricidad por ello	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades
Vivienda	Implementación de sistemas de calefacción distrital en conjuntos de edificaciones, conectadas a una red desde una central térmica	Corresponde a la distribución de energía térmica, a través de redes de distribución soterradas, obtenidas por una o varias plantas de generación de energía térmica conectada a la misma red	Por implementar	Estudio Corporación Ciudades
Estudio	Evaluar el programa de recambio para cuantificar el efecto rebote y ajustar la meta	Realizar un estudio de evaluación del PDA y sus instrumentos, considerando la de la pobreza energética y su rol en la consolidación de procesos de transición energética residencial para cuantificar el efecto rebote y ajustar la meta	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC
Estudio	Ampliar las capacidades institucionales para consolidar un sistema de seguimiento que integre el fenómeno de la pobreza energética	Fortalecer el equipo de la SEREMI MMA e instalar sistemas informáticos de soporte a las actividades del programa para el establecimiento y formalizar un sistema de seguimiento post recambio sustentado en la instauración de indicadores de pobreza energética.	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC
Estudio	Realizar actividades para promover el pellet y mejorar la popularidad de la política	Desplegar una campaña comunicacional de promoción del consumo de pellet a nivel local con el Ministerio de Energía. Además, abordar de manera articulada los problemas de continuidad de suministro eléctrico que afectan la popularidad del PRC	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC
Estudio	Fortalecer el acompañamiento a través de análisis de prefactibilidad durante la etapa de postulación	Desplegar personal técnico en terreno para realizar análisis de prefactibilidad, considerando la oferta vigente del PRC, las características de las viviendas y las preferencias de los miembros del hogar, brindando asesoramiento a los hogares para que puedan aspirar a la alternativa más conveniente	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC
Estudio	Proveer pellet certificado a hogares vulnerables	Reconocer la condición de pobreza energética de los hogares beneficiarios mediante cruce con información del Registro Social de Hogares y provisionar pellet a un grupo vulnerable cuyas viviendas se encuentren aisladas térmicamente, por una única ocasión al momento del recambio, para facilitar la adopción de la nueva tecnología y la proyección del gasto por uso	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC

Tipo	Medida	Descripción	Estado	Fuente
Estudio	Realizar análisis de factibilidad para acordar la ubicación del nuevo calefactor en conjunto con los miembros de los hogares	Efectuar un análisis de factibilidad en la fase de verificación de antecedentes tendiente a ubicar el aparato en la mejor posición posible, contemplando las características de las viviendas, las preferencias de calefacción de los miembros del hogar y los sistemas de calefacción preexistentes	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC
Estudio	Diversificar las actividades educativas y medir la satisfacción de las mismas	Ampliar las actividades educativas del PRC, difundiendo los recursos educativos dispuestos por los propios fabricantes y fortaleciendo las actividades presenciales, incorporando indicadores de componente tendientes a medir el número de actividades efectuadas y el grado de satisfacción generado.	Por implementar	Tesis Ibacache 2024, Pobreza energética PRC

Fuente: Elaboración propia

Para complementar las medidas, en las subsecciones del Anexo 8.5 se describen brevemente algunas de las medidas identificadas no presentes en el PDA.

## 5.3 Propuesta de nuevas medidas de reducción de emisiones

### 5.3.1 Metodología para la identificación y selección de medidas

Se llevó a cabo una sistematización en Excel de las distintas medidas identificadas a lo largo del estudio. El detalle de las medidas sistematizadas se encuentra disponible en el Anexo Digital “PDACOY-Sistematización\_Medidas.xlsx”.

La sistematización incluye medidas obtenidas a partir de las reuniones sectoriales, presentadas en la Sección 4.2. Específicamente, la Tabla 4-27 detalla las modificaciones sugeridas a las medidas existentes, mientras que la Tabla 4-28 incluye las nuevas medidas propuestas sugeridas.

Adicionalmente, se sistematizaron las medidas de descontaminación atmosférica en Coyhaique que no están incluidas en el PDA actual, descritas en la Sección 5.2. Las medidas se presentan en la Tabla 5-2 y corresponden a medidas sugeridas por la contraparte técnica, así como a medidas identificadas mediante una revisión bibliográfica. Adicionalmente, se realizó una entrevista a Manuela López del CIEP con el fin de recopilar más información sobre medidas existentes en Coyhaique. También se incluyeron propuestas provenientes del estudio “Coyhaique: La ciudad que queremos” (Corporación Ciudades, 2021), de la tesis “Propuestas para la incorporación de la pobreza energética en el programa de recambio de calefactores de Coyhaique” (Ibacache, 2024) y de la “Política Energética de Aysén 2050” (Ministerio de Energía, 2018), según lo solicitado por la contraparte técnica.



Por último, la sistematización incluyó también la recopilación de medidas nuevas o alcances distintos de otros Planes de Descontaminación Atmosférica del sur de Chile. Entre los planes revisados se encuentran los de Temuco y Padre Las Casas (D.S. N° 8/2015), Osorno (D.S. N° 47/2015), Valdivia (D.S. N° 25/2017), Los Ángeles (D.S. N° 4/2017), Talca y Maule (D.S. N° 49/2016) y el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para Chillán y Chillán viejo (D.S. N° 48/2016).

Tras la sistematización, las medidas identificadas se filtraron considerando únicamente aquellas con potencial de reducción de emisiones. Estas se organizaron por temáticas, agrupando propuestas similares en una única medida, lo que resultó en un total de 36 medidas. Dichas medidas se evalúan en el taller con actores claves de la región, cuyo desarrollo se detalla en el Anexo 8.6. Posteriormente, las medidas se analizaron considerando los comentarios, sugerencias, factibilidad y potencial de reducción de emisiones de cada una discutidos en el taller (ver Tabla 8-9). Por último, mediante una evaluación experta y la revisión realizada con la contraparte técnica, se presentan las propuestas de medidas definitivas en la Sección 5.3.2.

### 5.3.2 Propuesta definitiva de medidas de reducción de emisiones

El Anexo Digital “PDACOY-Sistematizacion\_Taller.xlsx”, además de incluir información del taller, considera una columna “Razón para proponer” con la justificación de la propuesta o descarte para las medidas evaluadas del taller. A continuación, en la Tabla 5-3 se presentan únicamente las medidas propuestas para la reducción de emisiones, obtenidas mediante la metodología descrita en la Sección 5.3.1.

**Tabla 5-3 Medidas propuestas definitivas**

ID	Medida	Descripción	Razón propuesta
M1	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	Realizar un estudio para evaluar la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial. Considerar ampliar los subsidios, actualmente son 7.000 en 10 años, otros PDAs consideran entre 15.000 y 40.000	Buenos comentarios en taller y por contraparte
M2	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción	Realizar un estudio para evaluar la implementación y el uso del Bono de Calefacción, identificando a beneficiarios y uso recurso	Medida de interés para contraparte
M3	Campaña comunicacional: GEC	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad. Incluir trabajadores de construcción o de parquímetros, se exponen diariamente a alta contaminación	Medida factible, requiere apoyo de Salud y fue ese organismo sugirió la medida en las reuniones sectoriales
M4	Pack Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar	Bien evaluada en taller, con costos medibles
M5	Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas	Prohibir el uso de calefactores a leña en viviendas nuevas, sociales y privadas. Para la vivienda social se debe proveer de un sistema de calefacción distinto a leña y para vivienda privada se fiscaliza por la SMA según año de construcción	Medida de interés, no tiene costos por ser normativo

ID	Medida	Descripción	Razón propuesta
M6	Fomento de leña seca	Aumentar los recursos humanos y económicos del Programa Leña Más Seca para abarcar más beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad	Medida de interés, pese a fomentar el uso de leña y Taller indica no debieran gastarse recursos en eso
M7	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética	Implementar tecnologías de calefacción de baja emisión y alta eficiencia, tecnologías alternativas de bajo costo y uso eficiente de energía en viviendas	En taller, Dendroenergía evaluó como factible y Educación con alto impacto
M8	Restricción absoluta de uso de leña GEC y fiscalización	Paralizar las calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la GEC, escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de contaminación. Además, se Incrementar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante los episodios críticos, destinar recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria. Incluye el financiamiento de equipos de fiscalización permanentes y especializados	Medida de interés para contraparte, costos dependen de fiscalización
M9	Zona Buffer para Quema de Rastrojos	Implementar una zona buffer en la que se prohíba el uso de fuego alrededor del polígono saturado. Por ejemplo, PDA de Talca considera una prohibición del uso de fuego en un radio de 5 km. Evaluar la posibilidad de extender prohibición a la región	Medida factible, costos relacionados a fiscalización
M10	Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada	Establecer la obligatoriedad para que los titulares de calderas se registren en el Sistema de Información para la Supervisión Ambiental (SISAT) de la SMA, para su inclusión en el catastro de calderas. Incluir calderas de potencia menor a 75 kWt en el Art. 27 y 28 del PDA vigente, con la opción de cumplir requisitos de monitoreo con una verificación simplificada con alternativas como estimaciones de emisiones o requisitos de mitigación	Medida de interés, no tiene costos al existir plataforma
M11	Ampliación y mejora de redes de ciclovías	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías, alcanzando primero la cobertura de Puerto Aysén y luego estándares internacionales. Construir una infraestructura accesible y de calidad, que conecte la ciudad longitudinal y transversalmente	Fomentar ciclovías para implementar un transporte sustentable
M12	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca	Implementar restricciones para el cumplimiento de la norma de emisión Euro VI en los vehículos que ingresan por Zona Franca, prohibiendo el ingreso de aquellos que no cumplan normativa	Medida de interés, no tiene costos al ser normativa

Fuente: Elaboración propia

## 5.4 Costo-efectividad de cada medida y del conjunto de medidas propuestas, con un horizonte de 15 años

En la presente sección se detallan los costos asociados a cada medida propuesta, el detalle del programa de fiscalización y la estimación del potencial de reducción de emisiones de las medidas, en un horizonte de evaluación de 15 años.

### 5.4.1 Costos de medidas propuestas

Se evalúa el costo de cada medida, considerando el costo de inversión, operación, mantenimiento, fiscalización y otras variables de costos importantes dependiendo de las medidas. De esta forma, del set completo de medidas propuestas (ver Tabla 5-3), se evalúan las medidas que en la práctica

implicarían incurrir en un costo, las cuales se presentan en la Tabla 5-4. Se debe tener en cuenta que las medidas no evaluadas no poseen un costo por ser normativas, mientras que a las medidas evaluadas se les calcula el Valor Presente Neto (VPN) al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%, por lo tanto, el VPN incluye los costos en el periodo 2023 – 2038. El detalle del cálculo se encuentra disponible en el anexo digital “PDACOY-Costos\_Propuestas.xlsx”.

**Tabla 5-4 Medidas propuestas que poseen costos asociados**

ID	Medida	Descripción
M1	<b>Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico</b>	Realizar un estudio para evaluar la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial. Considerar ampliar los subsidios, actualmente son 7.000 en 10 años, otros PDAs consideran entre 15.000 y 40.000
M2	<b>Estudio de evaluación del Bono de Calefacción</b>	Realizar un estudio para evaluar la implementación y el uso del Bono de Calefacción, identificando a beneficiarios y uso recurso
M3	<b>Campaña comunicacional: GEC</b>	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad. Incluir trabajadores de construcción o de parquímetros, se exponen diariamente a alta contaminación
M4	<b>Pack Integral de Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento</b>	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar, optimizando recursos y asegurando resultados sostenibles
M6	<b>Fomento de leña seca</b>	Aumentar los recursos humanos y económicos del Programa Leña Más Seca para abarcar más beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad
M8	<b>Restricción absoluta de uso de leña GEC y fiscalización</b>	Paralizar las calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la GEC, escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de contaminación. Además, se Incrementar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante los episodios críticos, destinar recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria. Incluye el financiamiento de equipos de fiscalización permanentes y especializados
M9	<b>Zona Buffer para Quema de Rastrojos</b>	Implementar una zona buffer en la que se prohíba el uso de fuego alrededor del polígono saturado. Por ejemplo, PDA de Talca considera una prohibición del uso de fuego en un radio de 5 km. Evaluar la posibilidad de extender prohibición a la región
M10	<b>Ampliación y mejora de redes de ciclovías</b>	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías, alcanzando primero la cobertura de Puerto Aysén y luego estándares internacionales. Construir una infraestructura accesible y de calidad, que conecte la ciudad longitudinal y transversalmente

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.1 M1 y M2: Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico y Estudio de evaluación del Bono de Calefacción

Para estas medidas se establece un presupuesto único al inicio de la vigencia del PDA actualizado, que se asume en un escenario optimista para el año 2026. Este presupuesto contempla la realización de una licitación destinada a desarrollar los estudios indicados.

Para determinar los costos, se revisaron licitaciones históricas publicadas en la plataforma Mercado Público, filtrando licitaciones adjudicadas que incluyen presupuestos específicos. En el caso del estudio de evaluación del acondicionamiento térmico (M1), se utiliza como referencia la licitación 584105-18-LP11, correspondiente a la “Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico” realizada en 2011. Dicha licitación consideró la evaluación del

reacondicionamiento térmico en viviendas de cuatro regiones, con un presupuesto de \$85.000.000. A partir de esta información, se establece una relación proporcional con la cantidad de regiones consideradas y se ajusta el monto por un Factor UF que relaciona el precio de la UF entre 2011 y 2024, obteniéndose un costo de inversión de \$37.993.500.

En el caso del estudio de evaluación del bono de calefacción (M2), se utilizaron como referencias las licitaciones 1618-9-LP11 y 1618-6-LE12, correspondientes a la evaluación del Bono AUGÉ de Fonasa (2011) y el Bono Trabajador Activo (2012), respectivamente. La licitación del Bono AUGÉ incluyó tres regiones de análisis, lo que permitió establecer una relación proporcional con la cantidad de regiones consideradas. Posteriormente, se calculó un valor promedio entre ambas licitaciones y se ajustó por un Factor UF que relaciona los precios de la UF entre 2012 y 2024, obteniéndose un costo de inversión de \$50.183.428. En la Tabla 5-5 se presentan los objetivos, resultados esperados y el costo de inversión fijo de los estudios.

**Tabla 5-5 Objetivos, resultados esperados y costo inversión estudios (M1 y M2)**

Ítem	M1: Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	M2: Estudio de evaluación del Bono de Calefacción
<b>Objetivo General</b>	Evaluar la implementación, alcance y efectividad de los subsidios de acondicionamiento térmico en Coyhaique para identificar oportunidades de mejora y proponer su ampliación	Evaluar la implementación, efectividad y uso del Bono de Calefacción en Coyhaique para asegurar que los recursos asignados contribuyan de manera eficiente a reducir la exposición de los hogares a la contaminación atmosférica
<b>Objetivos Específicos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizar el impacto de los subsidios actuales en la eficiencia térmica de las viviendas beneficiadas, su contribución a la reducción de emisiones y su impacto en el bienestar de los habitantes.</li> <li>2. Identificar barreras y limitaciones en la implementación del programa, incluyendo aspectos técnicos, económicos y administrativos</li> <li>3. Determinar la viabilidad técnica, económica y social de ampliar el alcance de los subsidios en términos de cobertura, monto y criterios de asignación</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizar el perfil de los beneficiarios del Bono de Calefacción, incluyendo características socioeconómicas, ubicación geográfica y condiciones de vulnerabilidad</li> <li>2. Identificar el uso real de los recursos otorgados mediante el bono, evaluando si son utilizados para calefacción eficiente, compra de leña certificada u otros fines</li> <li>3. Detectar barreras y recomendaciones en la implementación del programa, para mejorar la focalización, distribución y monitoreo del Bono de Calefacción</li> </ol>
<b>Resultados Esperados</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Informe técnico con diagnóstico detallado del estado actual de implementación de los subsidios en Coyhaique, incluyendo datos sobre viviendas beneficiadas, impactos logrados y desafíos identificados.</li> <li>2. Recomendaciones claras y fundamentadas para aumentar el número de subsidios en un plazo razonable, considerando alternativas de financiamiento sectorial</li> <li>3. Identificación de mejoras en el diseño y la implementación del programa, como ajustes en los criterios de priorización, simplificación de trámites y fortalecimiento de capacidades institucionales.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Informe técnico que caracterice a los beneficiarios actuales del bono y su impacto en el contexto socioeconómico de Coyhaique</li> <li>2. Propuestas para fortalecer la vinculación entre el Bono de Calefacción y la adquisición de combustibles limpios, como leña seca certificada o sistemas más eficientes de calefacción</li> <li>3. Recomendaciones para optimizar la asignación y focalización del bono, asegurando que alcance a los sectores más vulnerables y que tenga un impacto significativo en la reducción de emisiones y exposición</li> </ol>
<b>Costo Inversión [ \$ ]</b>	<b>37.993.500</b>	<b>50.183.428</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 5-6 muestra la proyección de costos para un horizonte de 15 años tomando como año base el 2023. Se observa que el Valor Presente Neto (VPN) al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%, de la **M1 es de VPN \$30.094.410 CLP** y **M2 es VPN \$39.749.975 CLP**.

**Tabla 5-6 Costos totales de las medidas M1 y M2, periodo 2023 – 2038**

Año	Costo M1 [\$]	Costo M2 [\$]
2023	-	-
2024	-	-
2025	-	-
2026	37.993.500	50.183.428
2027	-	-
2028	-	-
2029	-	-
2030	-	-
2031	-	-
2032	-	-
2033	-	-
2034	-	-
2035	-	-
2036	-	-
2037	-	-
2038	-	-
<b>VPN [\$]</b>	<b>30.094.410</b>	<b>39.749.975</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.2 M3: Campaña comunicacional: GEC

Para esta medida, se establece un presupuesto único al inicio de la vigencia del PDA actualizado, prevista para 2026, que incluye una campaña integral de comunicación. En la Tabla 5-7 se presentan los objetivos, los resultados esperados y el costo de inversión asociado a la campaña.

Para determinar este costo, se utilizan como referencias las licitaciones "611136-2-LE22" y "613419-22-LE22", correspondientes a la "Difusión Pronóstico GEC 2022", con un presupuesto de \$4.500.000, y a la "Campaña de difusión de las medidas de PDA de Los Ángeles, en especial para GEC 2022", con un presupuesto de \$6.000.000, respectivamente. A partir de estas referencias, se calculó un costo promedio y se ajustó por un Factor UF para actualizar los precios entre 2022 y 2024, resultando en un costo de inversión estimado de \$6.497.520.

**Tabla 5-7 Objetivos, resultados esperados y costo inversión Campaña GEC (M3)**

Ítem	M3: Campaña comunicacional: GEC
<b>Objetivo General</b>	Generar una campaña sobre los efectos de la contaminación atmosférica, para fomentar prácticas que reduzcan la exposición a contaminantes y contribuyan a la disminución de emisiones.
<b>Objetivos Específicos</b>	1. Diseñar e implementar campañas comunicacionales que aborden la contaminación atmosférica, sus impactos en la salud y el medio ambiente, adaptadas a Coyhaique.
	2. Educar a grupos poblacionales vulnerables y expuestos, como trabajadores de construcción y de parquímetros, sobre medidas de protección personal y mitigación de riesgos relacionados con la contaminación.
	3. Establecer un sistema de monitoreo y evaluación de la efectividad de las campañas, analizando indicadores como cambios de percepción, comportamientos y reducción de exposición en los grupos objetivos.
<b>Resultados Esperados</b>	1. Mayor nivel de conocimiento en la población general y en grupos específicos sobre la problemática de la contaminación y sus soluciones prácticas.
	2. Incremento en el uso de medidas de protección personal (como mascarillas o cambios de rutas laborales) entre los trabajadores expuestos a alta contaminación.
	3. Reducción de conductas que contribuyen a la contaminación atmosférica, como el uso ineficiente de la leña para calefacción.
<b>Costo Inversión [ \$ ]</b>	<b>6.497.520</b>

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, tras la implementación inicial, la medida considera un costo anual de mantención de la campaña, así como un costo de renovación del material a la mitad del periodo de vigencia. El costo de mantención fue enviado por la Contraparte Técnica, el monto es \$4.150.000 e incluye un banner en el diario digital todos los días, la difusión de cápsulas radiales y un suplemento. Mientras que el costo de renovación corresponde a un porcentaje del presupuesto inicial, en la Tabla 5-8 se detalla el costo considerado en la renovación del material a la mitad del periodo.

**Tabla 5-8 Costo Anual Mantención y Renovación Campaña GEC (M3)**

Costo	Porcentaje	Costo [ \$ ]
Renovación Mitad Periodo	20%	1.299.504

Fuente: Elaboración propia

Por último, la Tabla 5-9 muestra la proyección de costos para un horizonte de 15 años, considerando el año base 2023. Se observa el costo de inversión inicial, los costos anuales de mantención y el costo de renovación de material, junto con el costo total de la medida y un **VPN de \$33.431.558 CLP** al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%.

**Tabla 5-9 Costos total de la medida M3, periodo 2023 – 2038**

Año	Inversión [\$]	Mantenimiento [\$]	Renovación [\$]	Total M3 [\$]
2023	-	-	-	-
2024	-	-	-	-
2025	-	-	-	-
2026	6.497.520	4.150.000	-	6.497.520
2027	-	4.150.000	-	4.150.000
2028	-	4.150.000	-	4.150.000
2029	-	4.150.000	-	4.150.000
2030	-	4.150.000	-	4.150.000
2031	-	4.150.000	-	4.150.000
2032	-	4.150.000	1.299.504	5.449.504
2033	-	4.150.000	-	4.150.000
2034	-	4.150.000	-	4.150.000
2035	-	4.150.000	-	4.150.000
2036	-	4.150.000	-	4.150.000
2037	-	4.150.000	-	4.150.000
2038	-	4.150.000	-	4.150.000
<b>VPN [\$]</b>	-	-	-	<b>33.431.558</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.3 M4: Pack Integral Vivienda: Recambio más Acondicionamiento térmico

Esta medida contempla la implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores, con el objetivo de maximizar la eficiencia energética de los hogares. El costo de inversión se determinó utilizando información proporcionada por la Contraparte Técnica respecto a los precios de estas medidas. Para el acondicionamiento térmico, se considera un costo promedio de 500 UF por unidad, mientras que para el recambio de calefactores, se estima un costo de 50 UF para el Split Inverter. Ambos valores consideran incorporado el costo de regularización de la vivienda, tanto de obra como de los trámites necesarios, además, incluye un costo de asistencia por garantía en caso de falla del equipo con los años. Con el valor de la UF de \$38.364,73 el 10 de diciembre de 2024, se obtuvieron los costos de inversión presentados en la Tabla 5-10.

**Tabla 5-10 Costo inversión por vivienda (M4)**

Medida	Costo [UF/vivienda]	Costo Inversión [\$/vivienda]
Acondicionamiento	500	19.182.365
Recambio	50	1.918.237
<b>Total</b>	-	<b>21.100.602</b>

Fuente: Elaboración propia

Los costos operacionales corresponden a un costo del usuario que se asocia al consumo de combustible y se calculan considerando el valor de estos combustibles, tanto electricidad como

leña, actualizada para Coyhaique en noviembre 2024, según la información entregada por la Contraparte Técnica (Tabla 5-11).

**Tabla 5-11 Costo combustibles (M4)**

Combustible	Poder calorífico [kWh/m <sup>3</sup> ]	Eficiencia [%]	Costo [\$/kWh]
Leña Húmeda	1.491	60%	44,71
Electricidad Split	-	350%	191

Fuente: Elaboración propia

El costo asociado al consumo de combustibles se evalúa bajo dos escenarios: uno en viviendas sin acondicionar que utilizan artefacto a leña (escenario sin medida) y otro en viviendas acondicionadas que utilizan un aire acondicionado Split Inverter para calefacción (escenario con medida). Según datos proporcionados por la Contraparte Técnica, el consumo promedio de leña en una vivienda sin acondicionar es de 17 m<sup>3</sup>/viv-año, mientras que la demanda de electricidad de un hogar acondicionado es de 6.516 kWh-año. En la Tabla 5-12 y Tabla 5-13 se presentan los valores obtenidos para el consumo de leña y electricidad, respectivamente.

**Tabla 5-12 Consumo leña vivienda sin acondicionar (M4) – Escenario sin medida**

Combustible	Consumo leña [m <sup>3</sup> /año-viv]	Poder calorífico [kWh/m <sup>3</sup> ]	Consumo Leña [kWh/año-viv]
Leña Húmeda	17	1.491	25.347

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-13 Consumo electricidad vivienda acondicionada (M4) – Escenario con medida**

Combustible	Demanda calefacción [kWh-año]	Eficiencia [%]	Consumo Electricidad [kWh/año-viv]
Electricidad Split	6.516	350%	1.862

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el costo operacional asociado a la implementación de la medida se estima como la diferencia entre los costos por consumo de combustible de ambos escenarios, tal como se detalla en la Tabla 5-14.

**Tabla 5-14 Costo Operación por vivienda (M4)**

Medida	Combustible	Consumo Comb. [kWh/año-viv]	Costo Comb. [\$/kWh]	Operación [\$/año-viv]
Sin Acond.	Leña Húmeda	25.347	44,71	1.133.264
Acond.	Electricidad Split	1.862	191	355.578
<b>Total</b>	-	-	-	<b>777.686</b>

Fuente: Elaboración propia

La medida considera dos escenarios, uno conservador en que el subsidio alcanza el mismo número de viviendas mejoradas por el PDA vigente y otro escenario en que se analiza el Censo del 2017 para identificar el número de viviendas potenciales a ser beneficiadas.

En el escenario conservador, la medida alcanza una meta de 7.000 subsidios que combina el recambio de calefactor y acondicionamiento térmico en un periodo de 13 años (2026 – 2038).



Como supuesto, se asume que el número de viviendas beneficiadas se distribuye equitativamente por año, comenzando desde la entrada de vigencia del PDA actualizado en 2026. De este modo, cada año se beneficiarían 538 viviendas.

Finalmente, la Tabla 5-15 muestra la proyección de costos del escenario conservador para un horizonte de 15 años, considerando el año base 2023. Se detalla el número de viviendas beneficiadas, los costos de inversión y los costos anuales de operación, junto con el **VPN de \$87.488.893 M CLP** al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%, que considera el costo del usuario y del Estado. Mientras que si se consideran únicamente los costos del Estado el **VPN es \$84.379.010 M CLP**.

**Tabla 5-15 Costos total de la medida M4 – Escenario 1, periodo 2023 – 2038**

Año	Viv. Beneficiadas	Inversión [\$]	Operación [\$]	Total M4 [\$]
2023	-	-	-	-
2024	-	-	-	-
2025	-	-	-	-
2026	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2027	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2028	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2029	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2030	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2031	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2032	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2033	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2034	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2035	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2036	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2037	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
2038	538	11.352.123.607	418.395.172	11.770.518.779
<b>VPN [\$]</b>	-	<b>84.379.010.228</b>	-	<b>87.488.892.725</b>

Fuente: Elaboración propia

Mientras que el escenario que analiza el Censo del 2017 permite identificar el número de viviendas potenciales a ser beneficiadas. Según el Censo, en Coyhaique existen 23.000 viviendas de las cuales el 9% está desocupada, por lo tanto, las viviendas habitadas son 20.930. De las viviendas habitadas se asume que el PDA vigente ya ha reacondicionado 7.000, quedando 13.930 viviendas. Además, existe un 83% de las viviendas con un Índice de Materialidad (IM) aceptable para muro, techo y piso, dando 11.562 viviendas que pueden postular a la medida.

Por lo tanto, la medida alcanza una meta de 11.562 subsidios que combina el recambio de calefactor y acondicionamiento térmico en un periodo de 13 años (2026 – 2038). Como supuesto, se asume que el número de viviendas beneficiadas se distribuye equitativamente por año, comenzando desde la entrada de vigencia del PDA actualizado en 2026. De este modo, cada año se beneficiarían 889 viviendas.

Finalmente, la Tabla 5-15 muestra la proyección de costos del escenario, considerando el año base 2023. Se detalla el número de viviendas beneficiadas y los costos, junto con el **VPN de \$144.568.077 M CLP** al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%, que considera el costo del usuario y del Estado. Mientras que los costos del Estado por inversión poseen un **VPN de \$139.429.256 M CLP**.

**Tabla 5-16 Costos total de la medida M4 – Escenario 2, periodo 2023 – 2038**

Año	Viv. Beneficiadas	Inversión [\$]	Operación [\$]	Total M4 [\$]
2023	-	-	-	-
2024	-	-	-	-
2025	-	-	-	-
2026	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2027	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2028	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2029	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2030	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2031	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2032	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2033	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2034	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2035	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2036	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2037	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
2038	889	18.758.434.734	691.363.026	19.449.797.760
<b>VPN [\$]</b>	<b>-</b>	<b>139.429.256.677</b>	<b>-</b>	<b>144.568.077.383</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.4 M6: Fomento de leña seca

La medida contempla aumentar los recursos humanos y económicos asignados a los programas de leña seca, con el objetivo de ampliar la cantidad de beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento. Esto permitirá garantizar que la leña entregada cumpla con los estándares de humedad requeridos. En este contexto, se considera un costo asociado a actividades de fiscalización, se utiliza como referencia el valor unitario del programa de fiscalización del PDA correspondiente al año 2024 (SMA, 2024). La Tabla 5-17 presenta el costo unitario por actividad de fiscalización para cada entidad fiscalizadora.

**Tabla 5-17 Costo unitario por fiscalización según entidad [\$/act]**

Entidad Fiscalizadora	Presupuesto 2024 [CLP]	N° Actividades	Costo Unitario [\$/act]
<b>SMA</b>	569.080.622	468	1.215.984
<b>Salud</b>	135.800.000	380	357.368
<b>SAG</b>	135.223	1	135.223

Fuente: Elaboración propia

Para estimar el costo por fiscalización, se asume que esta actividad será realizada por la SMA, con un total de 15 fiscalizaciones anuales. Además, se incluye un ajuste presupuestario del 3%, tal como se presenta en la Tabla 5-18.

**Tabla 5-18 Costo de fiscalización M6 [\$/act]**

Entidad Fiscalizadora	Costo Unitario [\$/act]	Fiscalización [act/año]	Costo Fiscalización [\$/año]	Aumento Costo Fiscalización [\$/año]
SMA	1.215.984	15	18.239.764	547.193

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se considera el costo de incorporar nuevos galpones para el almacenamiento de leña seca. Según la información proporcionada por la Contraparte Técnica, la construcción de un galpón con capacidad para 500 m<sup>3</sup> tiene un costo de \$42.000.000. La necesidad de galpones adicionales se calcula con base en el consumo adicional de leña seca derivado de la implementación de esta medida (ver Sección 5.4.3.3), considerando su capacidad de almacenamiento, por lo tanto, la cantidad de galpones requeridos por año se presenta en la Tabla 5-19.

**Tabla 5-19 Número de galpones a construir para M6, periodo 2023 – 2038**

Año	Dif. Consumo [m <sup>3</sup> ]	N° Galpones necesarios de 500 m <sup>3</sup>	N° Galpones a construir de 500 m <sup>3</sup>
2023	-	-	-
2024	-	-	-
2025	-	-	-
2026	2.083	4	4
2027	4.174	8	4
2028	6.270	13	5
2029	8.371	17	4
2030	10.475	21	4
2031	12.578	25	4
2032	14.677	29	4
2033	16.780	34	5
2034	18.873	38	4
2035	20.962	42	4
2036	23.061	46	4
2037	25.160	50	4
2038	27.260	55	5

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 5-20 presenta la proyección de costos para un horizonte de 15 años, desde el año base 2023. Esta proyección incluye los costos de inversión derivados del incremento anual en el presupuesto de fiscalización y la construcción de galpones con capacidad de 500 m<sup>3</sup>. Además, se muestra el costo total de la medida y el **VPN de \$1.473.681 M CLP** al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%.

**Tabla 5-20 Costos total de la medida M6, periodo 2023 – 2038**

Año	Fiscalización [\$]	Galpones [\$]	Total M6 [\$]
2023	-	-	-
2024	-	-	-
2025	-	-	-
2026	18.239.764	168.000.000	186.239.764
2027	18.786.956	168.000.000	186.786.956
2028	19.334.149	210.000.000	229.334.149
2029	19.881.342	168.000.000	187.881.342
2030	20.428.535	168.000.000	188.428.535
2031	20.975.728	168.000.000	188.975.728
2032	21.522.921	168.000.000	189.522.921
2033	22.070.114	210.000.000	232.070.114
2034	22.617.307	168.000.000	190.617.307
2035	23.164.500	168.000.000	191.164.500
2036	23.711.693	168.000.000	191.711.693
2037	24.258.885	168.000.000	192.258.885
2038	24.806.078	210.000.000	234.806.078
<b>VPN [\$]</b>	-	-	<b>1.473.681.914</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.5 M8 y M9: Costo fiscalización GEC y Zona Buffer

Las medidas “Restricción absoluta de uso de leña GEC y fiscalización” (M8) y la “Zona Buffer para Quema de Rastrojos” (M9) requieren únicamente costo de fiscalización. Para esta estimación, se utiliza como referencia el valor unitario asociado al programa de fiscalización del PDA del año 2024 (SMA, 2024). La Tabla 5-21 presenta el costo unitario por actividad de fiscalización para cada entidad fiscalizadora.

**Tabla 5-21 Costo unitario por fiscalización según entidad [\$/act]**

Entidad Fiscalizadora	Presupuesto 2024 [CLP]	N° Actividades	Costo Unitario [\$/act]
<b>SMA</b>	569.080.622	468	1.215.984
<b>Salud</b>	135.800.000	380	357.368
<b>SAG/CONAF</b>	135.223	1	135.223

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el costo por fiscalización de cada medida se asume que la medida M8 es fiscalizada por Salud y la M9 por CONAF. Además, se considera un total de 15 fiscalizaciones al año y un ajuste del presupuesto del 7%, tal como se presenta en la Tabla 5-22.

**Tabla 5-22 Costo de fiscalización medidas [\$/act]**

ID	Entidad Fiscalizadora	Costo Unitario [\$/act]	Fiscalización [act/año]	Costo Fiscalización [\$/año]	Aumento Costo Fiscalización [\$/año]
M8	Salud	357.368	15	5.360.526	375.237
M9	CONAF	135.223	15	2.028.345	141.984

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la Tabla 5-23 muestra la proyección de costos para cada medida para un horizonte de 15 años desde el año base 2023. Se observa que el VPN al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%, de la “Restricción absoluta de uso de leña GEC y fiscalización” (M8) es de **\$54.325.067 CLP** y para la “Zona Buffer para Quema de Rastrojos” (M9) es **\$20.555.813 CLP**.

**Tabla 5-23 Costos totales de las medidas M8 y M9, periodo 2023 – 2038**

Año	Total M8 [\$]	Total M9 [\$]
2023	-	-
2024	-	-
2025	-	-
2026	5.360.526	2.028.345
2027	5.735.763	2.170.329
2028	6.111.000	2.312.313
2029	6.486.237	2.454.297
2030	6.861.474	2.596.282
2031	7.236.711	2.738.266
2032	7.611.947	2.880.250
2033	7.987.184	3.022.234
2034	8.362.421	3.164.218
2035	8.737.658	3.306.202
2036	9.112.895	3.448.187
2037	9.488.132	3.590.171
2038	9.863.368	3.732.155
<b>VPN [\$]</b>	<b>54.325.067</b>	<b>20.555.813</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1.6 M11: Ampliación y mejora de redes de ciclovías

Esta medida contempla el desarrollo y la expansión gradual de la red de ciclovías, comenzando con la cobertura de Puerto Aysén y avanzando hacia el cumplimiento de estándares internacionales, tal como se propone en la “Carta para inversión en ciclo-infraestructura e inclusividad para Coyhaique” (Cicleayque, 2024). De esta forma, se definen las etapas de implementación de la red de ciclovías detalladas en la Tabla 5-24.

**Tabla 5-24 Longitud etapas Red Ciclovías [km]**

Etapa	Ciclovía	Longitud Acumulada [km]	Referencia Indicador	Longitud [km]
Inicial	Ejecutada	4,1	Concepción	-
Primera	Corto Plazo	9,74	Rancagua	5,64
Segunda	Extensión	14,07	Puerto Aysén	4,33
Tercera	Proyección	31,38	Bremen, Alemania	17,31
Cuarta	Periurbanas	53,34	Gent, Bélgica	21,96

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, según el “Plan de inversiones en infraestructura de movilidad y espacio público (PIIMED)” (Municipalidad de Ñuñoa, 2023), la construcción de una ciclovía de 5,1 km de longitud tiene una duración estimada de 18 meses (1,5 años). A partir de esta referencia, se estableció una relación proporcional entre los kilómetros a construir por etapa y el tiempo requerido, determinando así los años de inicio y finalización de cada etapa de construcción, considerando la entrada en vigencia del PDA en 2026 (Tabla 5-25).

**Tabla 5-25 Año inicio y final construcción etapas M11**

Etapa	Longitud [km]	Tiempo Construcción [año]	Inicio Const.	Fin Const.
Primera	5,64	1,7	2026	2028
Segunda	4,33	1,3	2028	2029
Tercera	17,31	5	2029	2034
Cuarta	21,96	6,5	2034	2041

Fuente: Elaboración propia

El costo de inversión de esta medida utiliza como referencia información proporcionada por la Contraparte Técnica, que estima un valor de \$MM120/km de ciclovía en 2022. Este monto fue se ajustado por un Factor UF que actualiza los precios a 2024, resultando en un costo de inversión unitario de \$148.514.737/km, el cual se realiza al inicio del año de construcción.

En cuanto al costo de mantención, se considera una mantención al tercer año de finalizar la construcción de cada etapa. Para estimar este valor, el estudio “Revisión y actualización del Plan Maestro de Ciclovías y Plan de Obras” (GORE, 2012) presenta costos de mantención para Santiago en 2012, este valor se ajusta por la UF y se obtiene un costo unitario de mantención de \$MM38,9/km para Coyhaique. La Tabla 5-26 muestra el costo de inversión y de mantención por etapa.

**Tabla 5-26 Costo inversión y mantención por etapas M11**

Etapa	Longitud [km]	Inicio Construcción	Fin Construcción	Inicio Mantención	Inversión [\$]	Mantención [\$]
Primera	5,64	2026	2028	2031	837.623.116	219.311.331
Segunda	4,33	2028	2029	2032	643.068.811	168.371.997
Tercera	17,31	2029	2034	2037	2.570.790.095	673.099.139
Cuarta	21,96	2034	2041	2044	3.261.383.622	853.914.332

Fuente: Elaboración propia

Por último, la Tabla 5-27 presenta la proyección de costos para un horizonte de 15 años, desde el año base 2023. Se presentan los costos de inversión, mantención y el costo total de la medida, junto con el **VPN de \$ 4.952.033 M CLP** al año 2023, estimado con una tasa de descuento del 6%. Se debe tener en consideración que la cuarta etapa está en construcción hasta 2041 y comienza su mantención en 2044, por lo que estos valores no se incluyen en el periodo evaluado.

**Tabla 5-27 Costos total de la medida M11, periodo 2023 – 2038**

Año	Inversión [\$]	Mantención [\$]	Total M11 [\$]
2023	-	-	-
2024	-	-	-
2025	-	-	-
2026	837.623.116	-	837.623.116
2027	-	-	-
2028	643.068.811	-	643.068.811
2029	2.570.790.095	-	2.570.790.095
2030	-	-	-
2031	-	219.311.331	219.311.331
2032	-	168.371.997	168.371.997
2033	-	-	-
2034	3.261.383.622	-	3.261.383.622
2035	-	-	-
2036	-	-	-
2037	-	673.099.139	673.099.139
2038	-	-	-
<b>VPN [\$]</b>	-	-	<b>4.952.032.919</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2 Programa de fiscalización para evaluación de costos

Se desarrolla un programa de fiscalización que sirve como base para la evaluación de costos asociados a la implementación de las medidas propuestas.

Los costos de fiscalización dependen de las medidas a incluir en el Plan, debido a que influye su tipo, características específicas y la cantidad de medidas en el costo. Por ejemplo, medidas que implican el monitoreo de equipos tecnológicos o fiscalizaciones en terreno requieren mayores recursos en comparación con aquellas de educación ambiental u otro. Por lo tanto, una estimación detallada de los costos no resulta útil en esta etapa, porque no están definidas las medidas que efectivamente actualizarán el PDA de Coyhaique. Sin embargo, es útil conocer la magnitud de los costos para proporcionar un marco de referencia inicial, se presenta una estimación preliminar basada en información disponible.

Para esta estimación, se utiliza como referencia el valor unitario asociado al programa de fiscalización del PDA del año 2024 (SMA, 2024). Dicho valor corresponde al costo unitario de las

actividades de fiscalización en planes de prevención y/o descontaminación, siendo la información más actualizada disponible. Este valor considera los gastos asociados a la capacitación del personal, equipamiento técnico y actividades de seguimiento en terreno, lo cual refleja un panorama integral de los recursos necesarios para la implementación efectiva.

La Tabla 5-28 presenta un resumen del presupuesto correspondiente al año 2024, detallando el número de actividades de fiscalización planificadas para cada entidad fiscalizadora, así como el costo unitario por actividad de fiscalización.

**Tabla 5-28 Costo unitario por actividad de fiscalización [CLP/act]**

Entidad Fiscalizadora	Presupuesto 2024 [CLP]	N° Actividades	Costo Unitario [CLP/act]
SMA	569.080.622	468	1.215.984
Salud	135.800.000	380	357.368
SAG	135.223	1	135.223

Fuente: Elaboración propia

En el caso específico de Coyhaique para el año 2024, la SMA ejecutará un total de 76 fiscalizaciones. Por su parte, Salud llevará a cabo 25 fiscalizaciones, de las cuales 20 están orientadas al “Control de emisiones para fuentes fijas” de los artículos 25-29, y las 5 restantes corresponderán a fiscalizaciones relacionadas con el Art. 43a, que establece la “Prohibición de uso de calefactores a leña en establecimientos comerciales y en dependencias de OAE y municipales” (SMA, 2024).

### 5.4.3 Estimación de la reducción de emisiones de las medidas propuestas

A continuación, se presenta el detalle de la estimación de la reducción de emisiones que generaría la implementación de las medidas propuestas. Cabe destacar que se evalúan únicamente las medidas que poseen una reducción de emisiones directamente cuantificable. La estimación de las emisiones reducidas se desarrolla en una base de datos disponible en el anexo digital “PDACOY-Estimación\_Reducción\_Propuestas.xlsx”.

#### 5.4.3.1 M4: Pack Integral Vivienda: Recambio más Acondicionamiento

Tal como se explica en la Sección 5.4.1.3, se analiza la medida mediante dos escenarios: uno conservador en que el subsidio alcanza el mismo número de viviendas mejoradas por el PDA vigente con 7.000 en 13 años y otro escenario en que se analiza el Censo del 2017 para identificar el número de viviendas potenciales a ser beneficiadas, siendo 11.562 las viviendas en un periodo de 13 años (2026-2038).

Se asume que el número de viviendas beneficiadas se distribuye equitativamente por año, comenzando desde la entrada de vigencia del PDA actualizado en 2026, cada año se beneficiarían 538 y 889 viviendas en cada uno de los escenarios anteriores. La reducción de emisiones que



generaría la implementación de la medida está dada por la diferencia entre las emisiones generadas por los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: Vivienda utiliza artefacto doble cámara, que consume leña seca y no está acondicionada térmicamente.
- Escenario con medida: Se recambia artefacto a leña por aire acondicionado Split Inverter, y se reacondiciona térmicamente. Se asume que dicho consumo eléctrico no genera emisiones directas.

Dado que el escenario con medida no genera emisiones atmosféricas directas, la reducción de emisiones que lograría la medida corresponde a las emisiones generadas por el escenario sin medida. Considerando un consumo promedio de leña de 17 m<sup>3</sup>/año por vivienda, y utilizando el factor de emisión de un artefacto a doble cámara que utiliza leña seca y opera con tiraje abierto (ver Tabla 3-18), se estima que la medida para el escenario conservador de 7.000 viviendas en 13 años reduciría anualmente las emisiones presentadas en la Tabla 5-29. En la fila “Total [ton]” se presenta el potencial de reducción de la medida para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-29 Reducción de emisiones generada por M4 – Escenario Conservador [ton/año]**

Año	Viv. acumuladas	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
2023	-	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-	-
2026	539	53,7	53,7	50,0	14,3	0,6	2.080,5	5,0
2027	1.077	107,4	107,4	100,0	28,7	1,3	4.160,9	10,0
2028	1.616	161,2	161,2	150,0	43,0	1,9	6.241,4	15,0
2029	2.154	214,9	214,9	200,0	57,4	2,6	8.321,8	20,0
2030	2.693	268,6	268,6	250,1	71,7	3,2	10.402,3	25,0
2031	3.231	322,3	322,3	300,1	86,1	3,9	12.482,8	30,0
2032	3.770	376,0	376,0	350,1	100,4	4,5	14.563,2	35,0
2033	4.308	429,7	429,7	400,1	114,8	5,2	16.643,7	40,0
2034	4.847	483,5	483,5	450,1	129,1	5,8	18.724,2	45,0
2035	5.385	537,2	537,2	500,1	143,5	6,4	20.804,6	50,0
2036	5.924	590,9	590,9	550,1	157,8	7,1	22.885,1	55,0
2037	6.462	644,6	644,6	600,1	172,2	7,7	24.965,5	60,0
2038	7.000	698,3	698,3	650,1	186,5	8,4	27.046,0	65,0
<b>Total [ton]</b>	-	<b>4.888,2</b>	<b>4.888,2</b>	<b>4.550,9</b>	<b>1.305,8</b>	<b>58,6</b>	<b>189.322,0</b>	<b>455,1</b>

Fuente: Elaboración propia

Mientras que el escenario que analiza el Censo del 2017 permite identificar el número de viviendas potenciales a ser beneficiadas. Según el Censo, en Coyhaique existen 23.000 viviendas de las cuales el 9% está desocupada, por lo tanto, las viviendas habitadas son 20.930. De las viviendas habitadas se asume que el PDA vigente ya ha reacondicionado 7.000, quedando 13.930 viviendas. Además, existe un 83% de las viviendas con un Índice de Materialidad (IM) aceptable para muro, techo y piso, dando 11.562 viviendas que pueden postular a la medida.

Mientras que al estimar la medida para el segundo escenario de 11.562 viviendas en 13 años, se obtiene una reducción anual de las emisiones presentadas en la Tabla 5-30, siendo la fila “Total [ton]” el potencial de reducción de la medida para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-30 Reducción de emisiones generada por M4 – Escenario Filtro Censo [ton/año]**

Año	Viv. acumuladas	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
2023	-	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-	-
2026	889	88,7	88,7	82,6	23,7	1,1	3.436,1	8,3
2027	1.779	177,4	177,4	165,2	47,4	2,1	6.872,3	16,5
2028	2.668	266,2	266,2	247,8	71,1	3,2	10.308,4	24,8
2029	3.558	354,9	354,9	330,4	94,8	4,3	13.744,6	33,0
2030	4.447	443,6	443,6	413,0	118,5	5,3	17.180,7	41,3
2031	5.336	532,3	532,3	495,6	142,2	6,4	20.616,9	49,6
2032	6.226	621,0	621,0	578,2	165,9	7,4	24.053,0	57,8
2033	7.115	709,8	709,8	660,8	189,6	8,5	27.489,1	66,1
2034	8.005	798,5	798,5	743,4	213,3	9,6	30.925,3	74,3
2035	8.894	887,2	887,2	826,0	237,0	10,6	34.361,4	82,6
2036	9.783	975,9	975,9	908,6	260,7	11,7	37.797,6	90,9
2037	10.673	1.064,6	1.064,6	991,2	284,4	12,8	41.233,7	99,1
2038	11.562	1.153,4	1.153,4	1.073,8	308,1	13,8	44.669,8	107,4
<b>Total [ton]</b>	-	<b>8.073,5</b>	<b>8.073,5</b>	<b>7.516,5</b>	<b>2.156,6</b>	<b>96,8</b>	<b>312.688,9</b>	<b>751,6</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3.2 M5: Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas

La medida M5 corresponde a la prohibición del uso de calefactores a leña en viviendas nuevas. La reducción de emisiones que generaría la implementación de la medida está dada por la diferencia entre las emisiones generadas por los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: Las nuevas viviendas que ingresan al año utilizarían artefacto doble cámara que consume leña seca y operan con tiraje abierto.
- Escenario con medida: Las nuevas viviendas que ingresan al año utilizarían aire acondicionado Split Inverter. Se asume que dicho consumo eléctrico no genera emisiones directas.

Dado que el escenario con medida no genera emisiones atmosféricas directas, la reducción de emisiones que lograría la medida corresponde a las emisiones generadas por el escenario sin medida. Dicho escenario considera un consumo promedio de leña de 17 m<sup>3</sup>/año por vivienda. Además, para estimar la cantidad de viviendas nuevas al año, se utiliza la proyección viviendas, estimada a partir de proyección de población de Coyhaique (INE, 2018). En la Tabla 5-31 se presenta la cantidad de viviendas nuevas por año en Coyhaique, junto al consumo total de leña asociado a viviendas nuevas, en un escenario sin la medida M5.

**Tabla 5-31 Viviendas nuevas por año en Coyhaique y su consumo de leña – Escenario sin medida (M5)**

Año	Cantidad viviendas	Viviendas Nuevas por Año	Consumo Leña [m3/año]
2023	19.674	-	-
2024	19.730	56	952
2025	19.779	49	833
2026	19.824	45	765
2027	19.864	40	680
2028	19.893	29	493
2029	19.919	26	442
2030	19.941	22	374
2031	19.953	12	204
2032	19.957	4	68
2033	19.964	7	119
2034	19.960	-	-
2035	19.952	-	-
2036	19.954	2	34
2037	19.956	2	34
2038	19.959	3	51

Fuente: Elaboración propia

Utilizando el factor de emisión de un artefacto a doble cámara que utiliza leña húmeda y opera con tiraje abierto (ver Tabla 3-18), y considerando como año de inicio de la medida en 2026, se estima que la medida reduciría anualmente las emisiones presentadas en la Tabla 5-32. En la fila “Total [ton]” se presenta el potencial de reducción de la medida para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-32 Reducción de emisiones generada por M5 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
2023	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-
2026	1,58	1,58	1,47	0,56	0,03	35,05	0,15
2027	1,41	1,41	1,31	0,50	0,02	31,15	0,13
2028	1,02	1,02	0,95	0,36	0,02	22,59	0,10
2029	0,91	0,91	0,85	0,33	0,01	20,25	0,09
2030	0,77	0,77	0,72	0,28	0,01	17,13	0,07
2031	0,42	0,42	0,39	0,15	0,01	9,35	0,04
2032	0,14	0,14	0,13	0,05	0,00	3,12	0,01
2033	0,25	0,25	0,23	0,09	0,00	5,45	0,02
2034	-	-	-	-	-	-	-
2035	-	-	-	-	-	-	-
2036	0,07	0,07	0,07	0,03	0,00	1,56	0,01
2037	0,07	0,07	0,07	0,03	0,00	1,56	0,01
2038	0,11	0,11	0,10	0,04	0,00	2,34	0,01
<b>Total [ton]</b>	<b>6,76</b>	<b>6,76</b>	<b>6,29</b>	<b>2,41</b>	<b>0,11</b>	<b>149,54</b>	<b>0,63</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3.3 M6: Fomento de leña seca

Para estimar la reducción de emisiones que lograría la medida M6, se asume que su implementación provocaría un cambio anual de la distribución del consumo de leña según su calidad (leña seca y húmeda). De esta forma, la reducción de emisiones que generaría la implementación de la medida está dada por la diferencia entre las emisiones generadas por los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: La distribución entre leña seca y leña húmeda se mantiene constante (ver Tabla 3-13). Se utiliza la proyección de emisiones por calefacción a leña estimada en la Sección 3.4.
- Escenario con medida: Considerando como año de inicio de implementación de la medida el 2026, se asume un aumento lineal del consumo de leña hasta llegar a un 100% en 2038, tal como se presenta en la Tabla 5-33.

**Tabla 5-33 Proyección de la distribución por tipo de leña – Escenario con medida (M6)**

Año	Leña Seca	Leña Húmeda
2023	12,1%	87,9%
2024	12,1%	87,9%
2025	12,1%	87,9%
2026	18,8%	81,2%
2027	25,6%	74,4%
2028	32,4%	67,6%
2029	39,1%	60,9%
2030	45,9%	54,1%
2031	52,7%	47,3%
2032	59,4%	40,6%
2033	66,2%	33,8%
2034	72,9%	27,1%
2035	79,7%	20,3%
2036	86,5%	13,5%
2037	93,2%	6,8%
2038	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

Considerando los factores de emisión de los artefactos a leña presentados en la Tabla 3-18, se estima que la medida reduciría anualmente las emisiones presentadas en la Tabla 5-34. En la fila “Total [ton]” se presenta el potencial de reducción de la medida para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-34 Reducción de emisiones generada por M6 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
2023	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-
2026	146	146	140	11	1	3.924	14
2027	292	292	281	23	2	7.864	28
2028	438	438	423	34	2	11.814	42
2029	585	585	564	46	3	15.772	56
2030	732	732	706	57	4	19.737	71
2031	879	879	848	69	5	23.698	85
2032	1.026	1.026	990	80	5	27.654	99
2033	1.173	1.173	1.131	92	6	31.615	113
2034	1.319	1.319	1.273	103	7	35.560	127
2035	1.465	1.465	1.413	114	8	39.495	141
2036	1.612	1.612	1.555	126	8	43.450	155
2037	1.758	1.758	1.696	137	9	47.405	170
2038	1.905	1.905	1.838	149	10	51.361	184
<b>Total [ton]</b>	<b>13.329</b>	<b>13.329</b>	<b>12.859</b>	<b>1.041</b>	<b>70</b>	<b>359.350</b>	<b>1.286</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3.4 M8: Restricción absoluta de uso de leña GEC

La medida establece una restricción absoluta al uso de leña durante el periodo GEC, que comprende del 1 de abril al 30 de septiembre. La reducción de emisiones esperada por la implementación de esta medida se calcula como la diferencia entre las emisiones generadas en los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: Basado en el inventario de emisión de leña proyectado, distribuido según los Heating Degree Days (HDD) diario de 2023.
- Escenario con medida: Considera un porcentaje de cumplimiento progresivo lineal, que inicia en 2026 y alcanza un 100% en 2036 (a 10 años del inicio de la implementación). Este porcentaje se aplica exclusivamente durante el periodo GEC.

El cálculo de las emisiones de leña se realiza distribuyendo los datos del inventario de 2023 de leña en función del HDD diario, estimado de la siguiente forma:

#### Ecuación 5-1 Estimación de Heating Degree Days (HDD)

$$HDD_d = \sum_h \max \{0; T^{\circ} \text{ comfort} - T^{\circ}_{h,d}\}$$

Donde:

- $HDD_d$ : Heating Degree Days para cada día.
- $T^{\circ} \text{ comfort}$ : Temperatura de confort. Se asume 18°C.
- $T^{\circ}_{h,d}$ : Temperatura horaria por día en Coyhaique, obtenidas del SINCA para el año 2023.

Luego, para cada día se estima la distribución del  $HDD_d$  respecto al total anual. Este porcentaje se utiliza para distribuir las emisiones anuales generadas por la calefacción a leña, a nivel diario y, de forma agregada, a nivel mensual. Aplicando el porcentaje de cumplimiento progresivo a las emisiones generadas en el periodo GEC, se estima que la medida reduciría anualmente las emisiones presentadas en la Tabla 5-38. La fila "Total [ton]" se presenta el potencial de reducción de emisiones proyectado para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-35 Reducción de emisiones generada por M8 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO	CN
2023	-	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-	-
2026	150	150	144	13,7	0,9	3.766	14,4
2027	301	301	289	27,5	1,9	7.547	28,9
2028	452	452	434	41,3	2,8	11.337	43,4
2029	604	604	580	55,2	3,7	15.136	58,0
2030	755	755	726	69,1	4,6	18.941	72,6
2031	907	907	871	82,9	5,6	22.742	87,1
2032	1.058	1.058	1.017	96,8	6,5	26.538	101,7
2033	1.210	1.210	1.162	110,6	7,4	30.340	116,2
2034	1.361	1.361	1.307	124,4	8,4	34.126	130,7
2035	1.511	1.511	1.452	138,2	9,3	37.902	145,2
2036	1.663	1.663	1.597	152,0	10,2	41.697	159,7
2037	1.663	1.663	1.597	152,1	10,2	41.702	159,7
2038	1.663	1.663	1.598	152,1	10,2	41.706	159,8
<b>Total [ton]</b>	<b>13.297</b>	<b>13.297</b>	<b>12.775</b>	<b>1.216</b>	<b>82</b>	<b>333.479</b>	<b>1.277</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3.5 M11: Ampliación y mejora de red de ciclovía

La medida M11 considera la ampliación y mejora de la red de ciclovía, alcanzando gradualmente la cobertura de Puerto Aysén y estándares internacionales. La reducción de emisiones que generaría la implementación de la medida está dada por la diferencia entre las emisiones de los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: Se utiliza la proyección de emisiones por fuente móviles estimada en la Sección 3.4, únicamente considerando los vehículos particulares.
- Escenario con medida: Considerando el inicio de implementación de la medida en 2026, se asume que un porcentaje de los vehículos particulares disminuyen cada año por cambiarse a bicicletas.

Se asume que la medida posee un cambio modal de vehículos particulares a bicicletas de un 2% anual desde el año de finalización de la primera etapa de la ciclovía en 2028 (Tabla 5-25). Esto reduciría las emisiones presentadas en la Tabla 5-36. En la fila "Total [ton]" se presenta el potencial de reducción de la medida para todo el periodo de evaluación.

**Tabla 5-36 Reducción de emisiones generada por M11 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOX	SOX	CO
2023	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-
2026	-	-	-	-	-	-
2027	-	-	-	-	-	-
2028	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2029	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2030	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2031	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2032	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2033	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2034	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2035	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2036	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2037	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
2038	1,94	1,29	0,51	2,83	0,01	13,1
<b>Total [ton]</b>	<b>21,3</b>	<b>14,2</b>	<b>5,6</b>	<b>31,1</b>	<b>0,1</b>	<b>144</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3.6 M12: Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca

La medida establece una restricción en la norma Euro que deben cumplir los vehículos que ingresan a Zona Franca. La reducción de emisiones esperada por la implementación de esta medida se calcula como la diferencia entre las emisiones generadas en los siguientes escenarios:

- Escenario sin medida: Vehículos livianos o medianos que ingresan por zona franca cumplen la norma Euro 4.
- Escenario con medida: Vehículos livianos o medianos que ingresan por zona franca cumplen la norma Euro 6.

A partir de la información de la cantidad de vehículos que ingresan por Zona Franca entregada en entrevista con profesional de la SEREMI de Transporte (ver Tabla 3-32), y la proyección de la población urbana en Coyhaique (INE, 2018), se proyecta la cantidad de vehículos de tipo automóvil, Station Wagon y camionetas que ingresa por Zona Franca. Luego, utilizando los valores de la Tabla 3-29 se estiman los kilómetros anuales recorridos por tipo de vehículo ingresado por Zona Franca. La reducción de emisiones está dada por el cambio en la norma que tendrán los vehículos ingresados a partir de 2026, considerado como año de inicio de la medida, lo que implica un cambio en el CCF8 asignado y, por consiguiente, en el factor de emisión. De esta forma, la medida reduciría anualmente las emisiones presentadas en la Tabla 5-37. La fila "Total [ton]" se presenta el potencial de reducción de emisiones proyectado para todo el periodo de evaluación.



**Tabla 5-37 Reducción de emisiones generada por M12 [ton/año]**

Año	MP	MP10	MP2.5	NOx	SO2	CO
2023	-	-	-	-	-	-
2024	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-
2026	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2027	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2028	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2029	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2030	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2031	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2032	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2033	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2034	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2035	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2036	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2037	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
2038	0,03	0,03	0,03	0,29	0,00	3,39
<b>Total [ton]</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>3,80</b>	<b>0,05</b>	<b>44,06</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.4 Costo-efectividad de cada medida propuesta

A partir de la estimación de los costos de implementación de las medidas propuestas y los potenciales de reducción de emisiones, se estima la costo-eficiencia de cada una de ellas. El resumen de los resultados se presenta en la Tabla 5-38, en donde se detalla la costo-eficiencia de las medidas para los contaminantes MP10 y MP2,5. Es posible observar que las medidas M6 y M8 poseen el menor costo por tonelada reducida de material particulado, lo que deja en evidencia que estas medidas deberían ser priorizadas al momento de analizar la inclusión de nuevas medidas en la actualización del PDA de Coyhaique. Adicionalmente, se puede observar que la medida M4, si bien posee un alto potencial de reducción de emisiones, sus costos de implementación también son altos, debido a la gran inversión que el Estado tendría que hacer en la compra e instalación de aires acondicionados y acondicionar térmicamente las viviendas.

Además, se puede notar que la mayor parte de las medidas propuestas no poseen un resultado de costo-eficiencia, ya sea porque no tiene costos asociados, o porque no genera una reducción de emisiones directamente cuantificable.

**Tabla 5-38 Estimación de costo-efectividad por medida, periodo 2023-2038**

ID	Nombre de la medida	VPN [MM CLP]	Potencial Reducción MP10 [ton]	Potencial Reducción MP2,5 [ton]	Costo – Efectividad MP10 [MM CLP/ton]	Costo – Efectividad MP2,5 [MM CLP/ton]
M1	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	30	-	-	-	-

ID	Nombre de la medida	VPN [MM CLP]	Potencial Reducción MP10 [ton]	Potencial Reducción MP2,5 [ton]	Costo – Efectividad MP10 [MM CLP/ton]	Costo – Efectividad MP2,5 [MM CLP/ton]
M2	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción	40	-	-	-	-
M3	Campaña comunicacional: GEC	33	-	-	-	-
M4	Pack Integral de Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	84.379 139.429	4.888 8.074	4.551 7.516	<b>17,3</b>	<b>18,5</b>
M5	Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas	0	6,8	6,3	-	-
M6	Fomento de leña seca	1.474	13.329	12.859	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
M7	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética	-	-	-	-	-
M8	Restricción absoluta de uso de leña GEC	54	13.297	12.775	<b>4,1E-03</b>	<b>4,3E-03</b>
M9	Zona Buffer para Quema de Rastrojos	21	-	-	-	-
M10	Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada	0	-	-	-	-
M11	Ampliación y mejora de redes de ciclovías	4.952	14,2	5,6	<b>349</b>	<b>886</b>
M12	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca	0	0,37	0,37	-	-

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 Ficha por cada medida evaluada

A continuación, se presenta una ficha informativa por cada medida propuesta, la cual contiene los siguientes elementos:

- Nombre de la medida
- Descripción general de la medida
- Año de inicio implementación
- Organismo responsable
- Costo [€]
- Potencial de reducción de emisiones
- Costo – Efectividad
- Posibles dificultades en la implementación

### 5.5.1 M1: Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico

**Tabla 5-39 Ficha técnica M1**

<b>ID</b>	M1
<b>Nombre de la medida</b>	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico
<b>Descripción general</b>	Realizar un estudio para evaluar la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial. Considerar ampliar los subsidios, actualmente son 7.000 en 10 años, otros PDAs consideran entre 15.000 y 40.000
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
<b>VPN [\$]</b>	\$30.094.410
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Limitaciones presupuestarias para ampliar los subsidios y realizar un estudio exhaustivo. Postergación estudio por priorizar otros aspectos.

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2 M2: Estudio de evaluación del Bono de Calefacción

**Tabla 5-40 Ficha técnica M2**

<b>ID</b>	M2
<b>Nombre de la medida</b>	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción
<b>Descripción general</b>	Realizar un estudio para evaluar la implementación y el uso del Bono de Calefacción, identificando a beneficiarios y uso recurso
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Desarrollo Social y Familia
<b>VPN [\$]</b>	\$39.749.975
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Dificultad para identificar beneficiarios y garantizar el uso adecuado de los recursos asignados

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3 M3: Campaña comunicacional – GEC

**Tabla 5-41 Ficha técnica M3**

<b>ID</b>	M3
<b>Nombre de la medida</b>	Campaña comunicacional – GEC
<b>Descripción general</b>	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad. Incluir trabajadores de construcción o de parquímetros, se exponen diariamente a alta contaminación
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
<b>VPN [\$]</b>	\$33.431.558
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Baja coordinación con Salud para implementar campaña. Baja participación ciudadana en campañas y dificultad para medir efectividad a largo plazo

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.4 M4: Pack Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento

**Tabla 5-42 Ficha técnica M4**

<b>ID</b>	M4	
<b>Nombre de la medida</b>	Pack Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	
<b>Descripción general</b>	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar, optimizando recursos y asegurando resultados sostenibles	
<b>Año de inicio implementación</b>	2026	
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Energía y Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	
<b>VPN [\$]</b>	Escenario 1*	\$84.379.010.228
	Escenario 2**	\$139.429.256.677
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	Escenario 1*	4.888 ton MP10 4.551 ton MP2,5
	Escenario 2**	8.074 ton MP10 7.517 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	Escenario 1*	17,3 MM CLP/ton MP10 18,5 MM CLP/ton MP2,5
	Escenario 2**	17,3 MM CLP/ton MP10 18,5 MM CLP/ton MP2,5
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Altos costos iniciales de implementación y necesidad de coordinación intersectorial	

\*Escenario 1 – Conservador: Meta de 7.000 viviendas en 13 años

\*\*Escenario 2 – Filtro Censo 2017: Meta de 11.562 viviendas en 13 años

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.5 M5: Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas

**Tabla 5-43 Ficha técnica M5**

<b>ID</b>	M5
<b>Nombre de la medida</b>	Prohibición de calefactores a leña en viviendas nuevas
<b>Descripción general</b>	Prohibir el uso de calefactores a leña en viviendas nuevas, sociales y privadas. Para la vivienda social se debe proveer de un sistema de calefacción distinto a leña y para vivienda privada se fiscaliza por la SMA según año de construcción
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)
<b>VPN [\$]</b>	\$0, por ser normativa
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	6,8 ton MP10 6,3 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Resistencia de constructores y compradores de viviendas privadas ante restricciones en sistemas de calefacción

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.6 M6: Fomento de leña seca

**Tabla 5-44 Ficha técnica M6**

<b>ID</b>	M6
<b>Nombre de la medida</b>	Fomento de leña seca
<b>Descripción general</b>	Aumentar los recursos humanos y económicos del Programa Leña Más Seca para abarcar más beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Energía y Gobiernos Regionales
<b>VPN [\$]</b>	\$1.473.681.914
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	13.329 ton MP10 12.859 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	0,1 MM CLP/ton
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Falta de recursos para aumentar la infraestructura adecuada para secado y almacenamiento de leña en cantidad suficiente

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.7 M7: Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética

**Tabla 5-45 Ficha técnica M7**

<b>ID</b>	M7
<b>Nombre de la medida</b>	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética
<b>Descripción general</b>	Implementar tecnologías de calefacción de baja emisión y alta eficiencia, tecnologías alternativas de bajo costo y uso eficiente de energía en viviendas
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
<b>VPN [\$]</b>	-
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Falta de aceptación de tecnologías alternativas por parte de la población y costos elevados de implementación. Vuelta a la leña en momentos de crisis de tecnologías como escases de pellet, costos de electricidad u otros

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.8 M8: Restricción absoluta de uso de leña GEC

**Tabla 5-46 Ficha técnica M8**

<b>ID</b>	M8
<b>Nombre de la medida</b>	Restricción absoluta de uso de leña GEC
<b>Descripción general</b>	Paralizar las calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la GEC, escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de contaminación. Además, incrementar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante los episodios críticos, destinar recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria. Incluye el financiamiento de equipos de fiscalización permanentes y especializados.
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Gobiernos Regionales
<b>VPN [\$]</b>	\$54.325.067
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	6.390 ton MP10 6.110 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	4,1E-03 MM CLP/ton MP10 4,3E-03 MM CLP/ton MP2,5
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Resistencia social y económica ante restricciones estrictas y prohibiciones absolutas de uso de leña, recursos insuficientes para aumentar fiscalización y formar equipos especializados

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.9 M9: Zona Buffer para Quema de Rastrojos

**Tabla 5-47 Ficha técnica M9**

<b>ID</b>	M9
<b>Nombre de la medida</b>	Zona Buffer para Quema de Rastrojos
<b>Descripción general</b>	Implementar una zona buffer en la que se prohíba el uso de fuego alrededor del polígono saturado. Por ejemplo, PDA de Talca considera una prohibición del uso de fuego en un radio de 5 km. Evaluar la posibilidad de extender prohibición a la región
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Corporación Nacional Forestal (CONAF)
<b>VPN [\$]</b>	\$20.555.813
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Escases de recursos humanos para asegurar cumplimiento en áreas rurales

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.10 M10: Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada

**Tabla 5-48 Ficha técnica M10**

<b>ID</b>	<b>M10</b>
<b>Nombre de la medida</b>	Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada
<b>Descripción general</b>	Establecer la obligatoriedad para que los titulares de calderas se registren en el Sistema de Información para la Supervisión Ambiental (SISAT) de la SMA, para su inclusión en el catastro de calderas. Incluir calderas de potencia menor a 75 kWt en el Art. 27 y 28 del PDA vigente, con la opción de cumplir requisitos de monitoreo con una verificación simplificada con alternativas como estimaciones de emisiones o requisitos de mitigación
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)
<b>VPN [\$]</b>	\$0, por ser normativa
<b>Potencial de reducción de emisiones [\$]</b>	-
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Resistencia de titulares de calderas al cumplimiento del registro obligatorio y costos asociados a verificaciones

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.11 M11: Ampliación y mejora de redes de ciclovías

**Tabla 5-49 Ficha técnica M11**

<b>ID</b>	M11
<b>Nombre de la medida</b>	Ampliación y mejora de redes de ciclovías
<b>Descripción general</b>	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías, alcanzando primero la cobertura de Puerto Aysén y luego estándares internacionales. Construir una infraestructura accesible y de calidad, que conecte la ciudad longitudinal y transversalmente
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Seremi de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
<b>VPN [\$]</b>	\$4.952.032.919
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	14,2 ton MP10 5,6 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	349 MM CLP/ton MP10 886 MM CLP/ton MP2,5
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Falta de financiamiento y dificultades técnicas para construir una red de ciclovías eficiente y segura

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.12 M12: Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca

**Tabla 5-50 Ficha técnica M12**

<b>ID</b>	M12
<b>Nombre de la medida</b>	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca
<b>Descripción general</b>	Implementar restricciones para el cumplimiento de la norma de emisión Euro VI en los vehículos que ingresan por Zona Franca, prohibiendo el ingreso de aquellos que no cumplan normativa
<b>Año de inicio implementación</b>	2026
<b>Organismo responsable</b>	Economía, MMT, MMA y Hacienda
<b>VPN [\$]</b>	\$0, por ser normativa
<b>Potencial de reducción de emisiones [ton]</b>	0,37 ton MP10 0,37 ton MP2,5
<b>Costo – Efectividad [MM CLP/ton]</b>	-
<b>Posibles dificultades en la implementación</b>	Resistencia de importadores de vehículos a adoptar normas más estrictas

Fuente: Elaboración propia



## 5.6 Evaluación del impacto en la calidad del aire de las medidas propuestas

Para estimar el impacto de las emisiones en la calidad del aire de Coyhaique, primero se distribuye el inventario de emisiones con año base 2023 a nivel mensual, dado que las emisiones en Coyhaique tienen una marcada variación estacional. En particular, para distribuir las emisiones generadas por la calefacción residencial a leña y pellet se utiliza el Heating Degree Days (HDD) diario, estimado mediante la Ecuación 5-1. A partir de estos valores, para cada día se estima la distribución del  $HDD_d$  respecto al total anual. Este porcentaje se utiliza para distribuir las emisiones anuales generadas por la calefacción a nivel diario y, de forma agregada, a nivel mensual. Para los sectores restantes (fuentes fijas, fuentes móviles, incendios y quemas) las emisiones se distribuyen equitativamente a nivel mensual.

A partir de las concentraciones diarias registradas en 2023 en las estaciones Coyhaique I y Coyhaique II obtenidas del SINCA, se estima un factor emisión-concentración (FEC) a nivel mensual mediante la siguiente ecuación:

$$FEC_{k,e} = \frac{Emisiones_k}{Concentración_{k,e}}$$

Donde:

- $FEC_{k,e}$ : Factor emisión-concentración para el contaminante “k” en la estación “e”.
- $Emisiones_k$ : Emisiones del contaminante “k”
- $Concentración_{k,e}$ : Concentración del contaminante “k” registrada en la estación “e”.

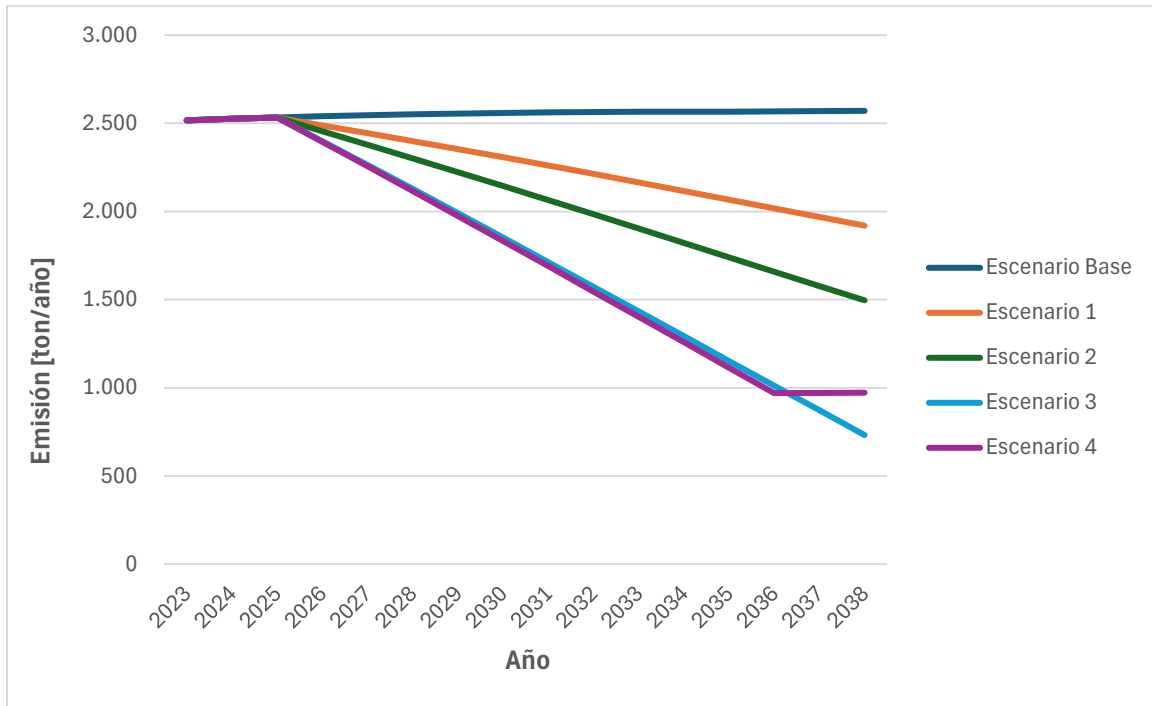
La decisión de estimar un FEC mensual se debe a la estacionalidad existente en las emisiones generadas por la calefacción residencial, principal fuente emisora de Coyhaique, tal como se mencionó anteriormente. Esto implica que las emisiones generadas en los meses de invierno se traducen en mayores concentraciones ambientales, en comparación con meses menos contaminantes. En la Tabla 8-10 se presentan los FEC estimados para MP2,5 en Coyhaique.

Para evaluar el impacto de las medidas, al inventario de emisiones proyectado (ver Sección 3.4.2) se le aplica la reducción anual de emisiones estimada para cada medida propuesta en la Sección 5.4.2. Dado que la implementación de algunas de las medidas que inciden en las emisiones de calefacción residencial a leña no es factible en conjunto, se establecen los siguientes escenarios de evaluación:

- Escenario base: No considera la implementación de las medidas propuestas
- Escenario 1: Considera la implementación de la M4 (escenario 1), M5, M11 y M12
- Escenario 2: Considera la implementación de la M4 (escenario 2), M5, M11 y M12
- Escenario 3: Considera la implementación de la M6, M11 y M12
- Escenario 4: Considera la implementación de la M8, M11 y M12

De esta forma, la Figura 5-1 muestra las emisiones de MP2,5 proyectadas para cada escenario anteriormente descrito. Se puede observar que los escenarios 3 y 4 son los que poseen menores

emisiones asociadas, en donde las reducciones se atribuyen principalmente a la M6-Fomento de leña seca y a la M8-Restricción absoluta de uso de leña en GEC, respectivamente.



**Figura 5-1 Proyección de emisiones de MP2,5 por escenario de evaluación de medidas propuestas**

Fuente: Elaboración propia

A las emisiones proyectadas y distribuidas a nivel mensual para cada escenario se le aplican los FEC (ver Tabla 8-10), lo que permite para estimar la concentración mensual de MP2,5 en cada año del periodo de evaluación. En la Tabla 5-51 y la Tabla 5-52 se presenta la concentración promedio anual de MP2,5 estimada para la estación Coyhaique y Coyhaique II, respectivamente, desagregada en los distintos escenarios de evaluación de las medidas propuestas.

**Tabla 5-51 Concentración promedio anual de MP2,5 estimada para estación Coyhaique**

Año	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2023	35,34	35,34	35,34	35,34	35,34
2024	35,45	35,45	35,45	35,45	35,45
2025	35,56	35,56	35,56	35,56	35,56
2026	35,65	34,92	34,46	33,66	33,61
2027	35,74	34,30	33,38	31,75	31,64
2028	35,80	33,66	32,27	29,81	29,64
2029	35,86	33,01	31,16	27,86	27,64
2030	35,92	32,36	30,05	25,90	25,63
2031	35,95	31,69	28,92	23,93	23,60
2032	35,98	31,01	27,77	21,94	21,56
2033	36,00	30,32	26,63	19,96	19,52
2034	36,01	29,62	25,46	17,96	17,47
2035	36,01	28,91	24,29	15,97	15,42
2036	36,02	28,22	23,14	13,98	13,38
2037	36,04	27,53	21,98	11,99	13,39
2038	36,06	26,83	20,83	10,00	13,40

Fuente: Elaboración propia

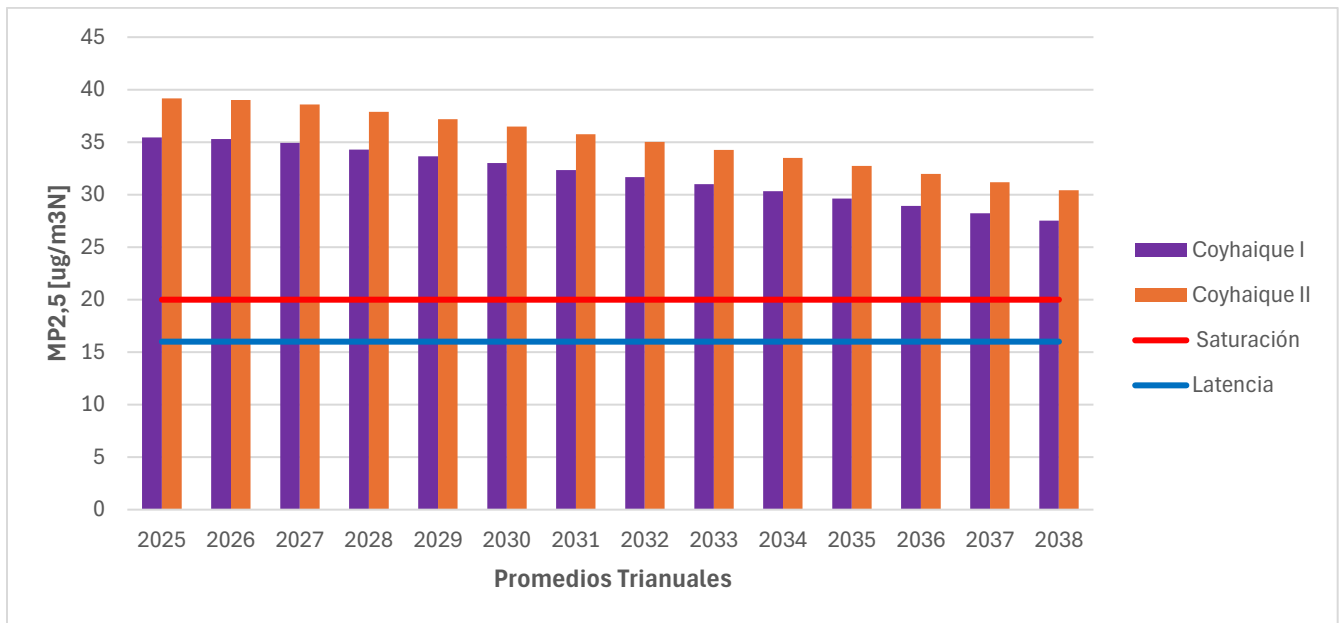
**Tabla 5-52 Concentración promedio anual de MP2,5 estimada para estación Coyhaique II**

Año	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2023	39,05	39,05	39,05	39,05	39,05
2024	39,18	39,18	39,18	39,18	39,18
2025	39,30	39,30	39,30	39,30	39,30
2026	39,40	38,59	38,08	37,20	37,14
2027	39,49	37,91	36,89	35,09	34,97
2028	39,57	37,20	35,67	32,94	32,76
2029	39,63	36,48	34,44	30,79	30,55
2030	39,69	35,76	33,21	28,63	28,33
2031	39,73	35,02	31,96	26,45	26,09
2032	39,76	34,27	30,70	24,26	23,84
2033	39,79	33,51	29,43	22,07	21,58
2034	39,79	32,74	28,15	19,87	19,32
2035	39,79	31,96	26,86	17,66	17,06
2036	39,81	31,19	25,58	15,46	14,80
2037	39,83	30,43	24,30	13,27	14,82
2038	39,85	29,66	23,03	11,07	14,83

Fuente: Elaboración propia

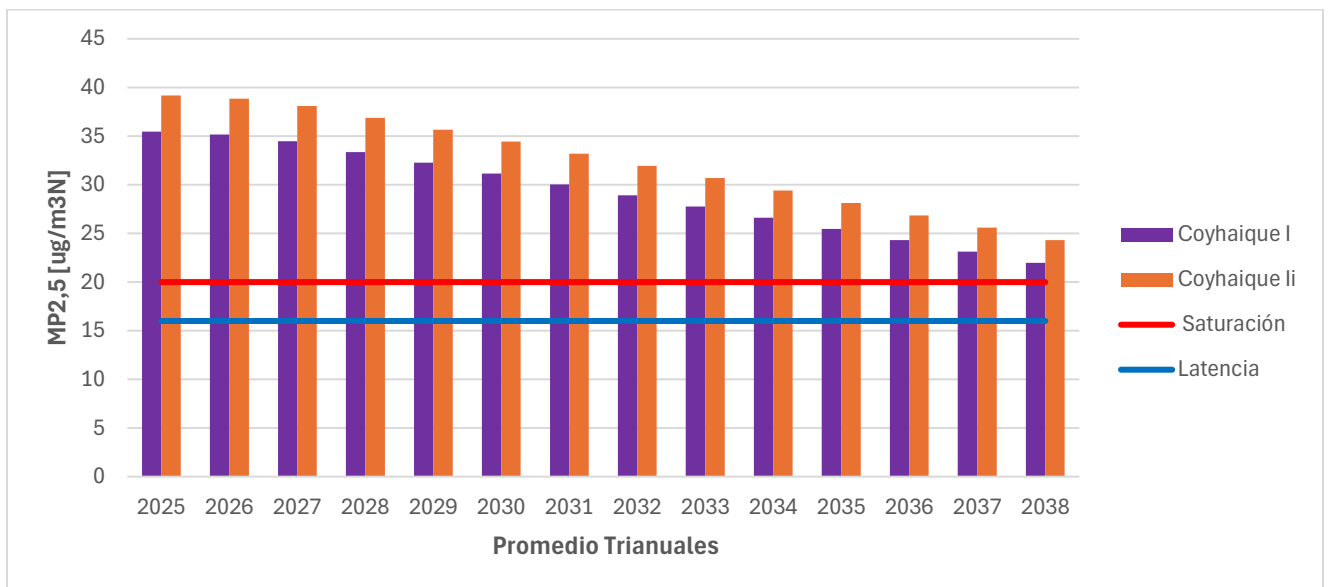
Con el propósito de evaluar si las medidas propuestas permitirían que las concentraciones ambientales en Coyhaique estén por debajo de la saturación, en la Figura 5-2, Figura 5-3, Figura 5-4 y Figura 5-5 se muestra la evaluación de la norma anual de MP2,5 a partir de las concentraciones estimadas en el Escenario 1, Escenario 2, Escenario 3 y Escenario 4, respectivamente. Se puede observar que únicamente los Escenarios 3 y 4 permitirían alcanzar concentraciones por debajo de la saturación, principalmente debido a la reducción de emisiones que generaría la utilización de exclusiva de leña seca para calefacción (M6) en el Escenario 3 y la

restricción absoluta del uso de artefactos a leña durante el periodo GEC (M8) en el Escenario 4. Sin embargo, cabe destacar que en ambos escenarios las concentraciones comienzan a estar por debajo del límite de saturación a partir del año 2035.



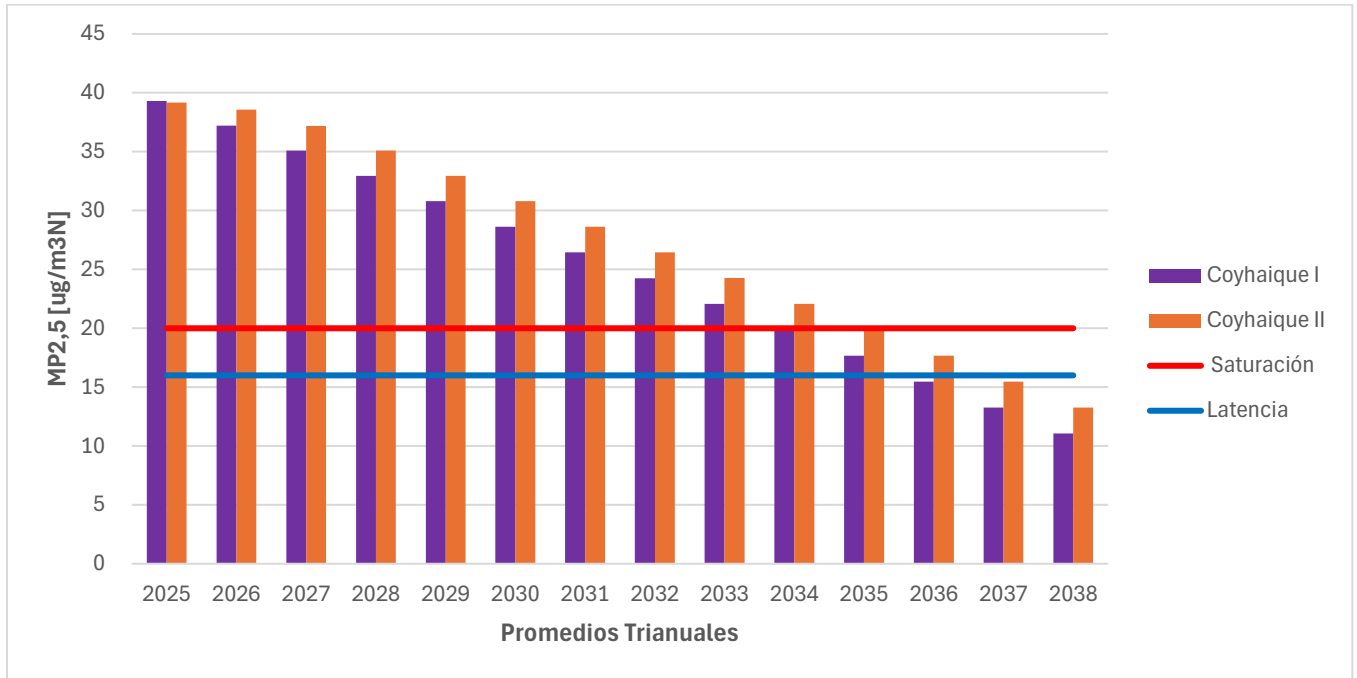
**Figura 5-2 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 1, periodo 2023-2038**

Fuente: Elaboración propia



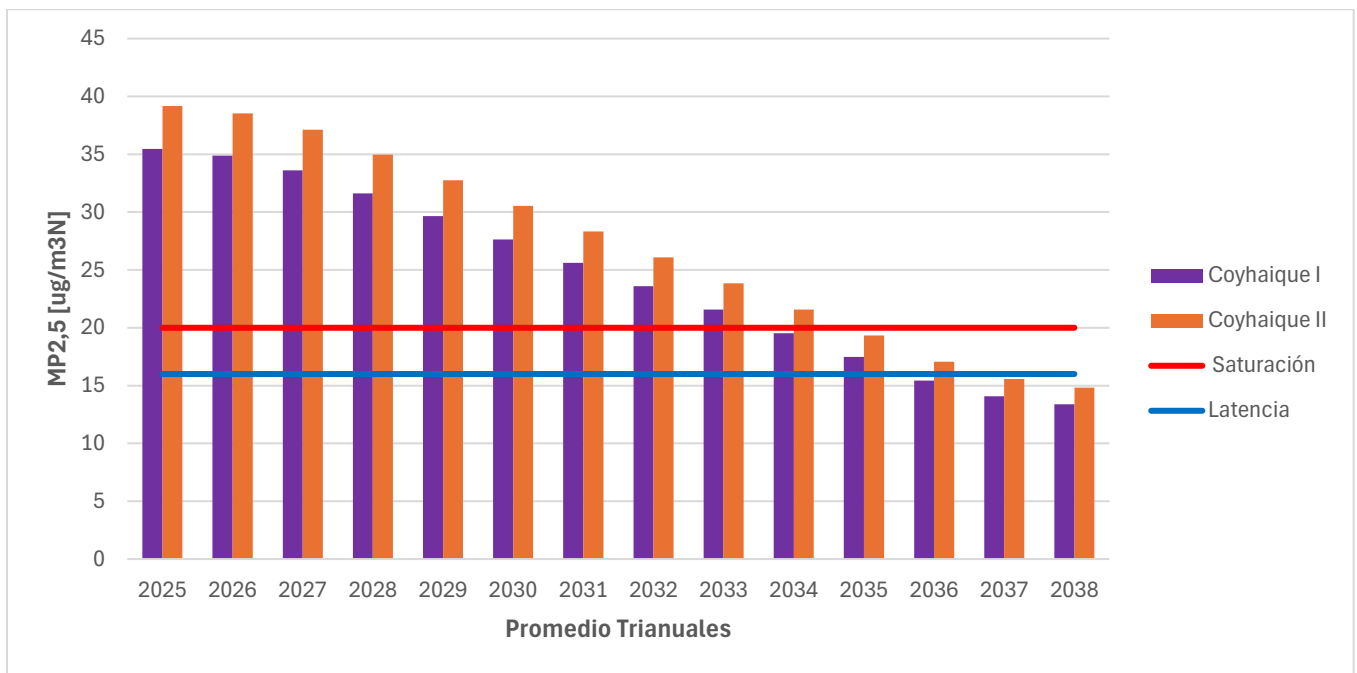
**Figura 5-3 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 2, periodo 2023-2038**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5-4 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 3, periodo 2023-2038**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5-5 Evaluación norma anual para MP2,5 para Escenario 4, periodo 2023-2038**

Fuente: Elaboración propia

## 6. Conclusiones

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de revisar y analizar el PDA de Coyhaique y su zona circundante y generar insumos para su actualización. Para ello, se actualiza el inventario de emisiones con año base 2023, se proyectan las emisiones a 15 años y se evalúa la costo-efectividad de medidas propuestas. Estos insumos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones fundamentadas y la priorización de medidas que maximicen el impacto en la reducción de emisiones.

En la Tabla 3-39 se presenta el inventario de emisiones actualizado para el año 2023 en la zona saturada de Coyhaique, desagregadas por sector emisor, en donde se observa que la combustión residencial de leña y pellet corresponde a la mayor fuente de emisiones, especialmente para material particulado, CO y CN. Esto evidencia que el uso de leña como combustible en los hogares predomina en la zona, con un impacto significativo en la calidad del aire, por lo que sugiere que las medidas de reducción de emisiones deberían enfocarse en dicho sector.

Si bien al comparar el inventario actualizado con el inventario utilizado en el AGIES del PDA vigente con año base 2015 (Ver Tabla 3-40) se observa una disminución en las emisiones totales, especialmente de calefacción a leña, las concentraciones ambientales registradas en Coyhaique evidencian que los niveles de contaminación continúan siendo elevados y perjudiciales para la salud de la población. A pesar de ello, existe una tendencia a la disminución de las concentraciones ambientales registradas a partir de 2018, especialmente al analizar la norma anual de MP10 y MP2,5, lo que sugiere que la implementación del PDA ha generado una disminución de las emisiones, a pesar de que aún no se haya cumplido la meta de salir de la saturación.

Por otro lado, los aportes recibidos en las reuniones llevadas a cabo con los servicios que poseen medidas comprometidas en el PDA vigente, junto con otros servicios relevantes en el proceso de actualización del PDA, reflejaron la necesidad de mejorar la fiscalización para que la implementación de las medidas actuales sea efectiva. Además, de estas reuniones surgieron nuevas medidas a evaluar para ser incluidas en la actualización del PDA, las cuales, en conjunto con otras medidas identificadas a partir de una revisión de antecedentes por parte del equipo consultor, fueron evaluadas por los servicios en un taller. Esto último permitió seleccionar y proponer un set de medidas nuevas a evaluar, tanto ambiental como económicamente.

El fomento del uso de leña seca, que implicaría alcanzar un 100% de uso de leña seca, se posiciona como una medida prioritaria dada su costo-efectividad. En la misma línea, la medida que prohíbe el uso de leña durante periodo GEC también posee un bajo costo por tonelada reducida de material particulado. Por lo anterior, se recomienda priorizar dichas medidas al momento de evaluar la inclusión de nuevas medidas en el proceso de actualización del Plan.

Otra medida de alta relevancia, que surgió de forma frecuente entre los distintos servicios, es el pack de recambio de calefactores en conjunto con el acondicionamiento térmico de las viviendas. Esta medida no solo reduce el consumo de leña, sino que también mejora la calidad de vida de los habitantes y contribuye al bienestar general. Además, el análisis de su costo-efectividad evidencia que posee un alto potencial de reducción de emisiones, aunque el costo de implementación también es elevado al implicar una gran inversión del Estado.

Por último, se recomienda destinar recursos prioritarios a la dotación de personal fiscalizador y a la educación de la población. Si bien las medidas propuestas poseen un alto potencial de reducción de emisiones, este asume que las medidas serán cumplidas, lo cual depende principalmente de la capacidad fiscalizadora y de la concientización de la población respecto a la contaminación.

## 7. Bibliografía

- Banco Central de Chile. (n.d.). *Set de Gráficos*. <https://si3.bcentral.cl/setgraficos/>
- CDT. (2015). *Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera. Para El Ministerio de Energía*.
- Centro de Sistemas Públicos. (2019). *Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente*.
- Corporación Ciudades. (2021). *Diagnóstico Urbano Integrado*.
- EMEP-EEA. (2013). *Air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories*.
- EMEP/EEA. (2019a). 1.A.3.b Road Transport. In *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2019* (Vol. 53, Issue 9).
- EMEP/EEA. (2019b). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.4 Small Combustion*. 1–189.
- EMEP/EEA. (2019c). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 5.E Other Waste*. 1–10.
- GreenLab Dictuc. (2022). *ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DIFUSAS PARA LA GENERACIÓN DEL DÉCIMO SEXTO INFORME CONSOLIDADO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIAS DE CONTAMINANTES DEL RETC*.
- GreenLabUC. (2016). *Elaboración de Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas* (Estudio pr). Estudio preparado para la Subsecretaría del Medio Ambiente.
- Ibacache, S. (2024). *Propuestas para la Incorporación de la Pobreza Energética en el Programa de Recambio de Calefactores de Coyhaique*.
- INE. (2018). *Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 1992-2050. Total país. Metodología y principales resultados*.
- Ministerio de Energía. (2018). *Política Energética, Energía 2050. Región de Aysén*.
- MMA. (2017a). *Actualización Inventario de Emisiones para la zona saturada de Coyhaique*.
- MMA. (2017b). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- MMA. (2017c). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- MMA. (2019a). *Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales*.
- MMA. (2019b). *Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales, RETC*.
- Molina, C., Toro A, R., Morales S, R. G. E., Manzano, C., & Leiva-Guzmán, M. A. (2017). Particulate matter in urban areas of south-central Chile exceeds air quality standards. *Air Quality, Atmosphere & Health, 10*(5), 653–667. <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0459-y>
- MORI. (2015). *Caracterización De Artefactos De Calefacción Residencial*.
- 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, R., Sanhueza, R., Schueftan, A., & González, E. (2021, December). Consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén: adopción acelerada del pellet en la ciudad de Coyhaique, y predominio de la leña en el resto de la región. *Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 7. N° 14*. <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/20.500.12978/26291>
- SICAM. (2018). *Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017. 18(C)*.
- SICAM. (2020). *Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2020*.
- SMA. (2024). *FIJA PROGRAMA Y SUBPROGRAMAS DE FISCALIZACIÓN AMBIENTAL DE PLANES DE PREVENCIÓN Y/O DESCONTAMINACIÓN PARA EL AÑO 2024*.
- Solís, R., Toro A., R., Gomez, L., Vélez-Pereira, A. M., López, M., Fleming, Z. L., Fierro, N., & Leiva G., M. (2022). Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile. *Urban Climate, 43*, 101144. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101144>
- STAPPA-ALAPCO-EPA. (2001). *EIIP: Chapter 18: Structure Fires: Vol. III*. STAPPA-ALAPCO-EPA.

## 8. Anexos

### 8.1 Propiedades de los combustibles

A continuación, se presentan las propiedades de combustibles utilizadas para la normalización tanto del consumo de combustible como los factores de emisión.

**Tabla 8-1 Propiedades de los combustibles**

Combustible	Poder Calorífico (kcal/kg)	Poder Calorífico (MWh/ton)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Aserrín	3.500	4,07	370,00
Bencina	11.200	13,03	730,00
Biogás	7.378	8,58	0,76
Biomasa Combustible	3.500	4,07	280,00
Butano	12.100	14,07	579,00
Carbón	7.000	8,14	1.720,00
Coke de Petróleo (Petcoke)	8.100	9,42	1.110,00
Combustible Sólido Alternativo	9.000	10,47	1.200,00
Gas de Alto Horno	949	1,10	0,76
Gas de Cañería	12.100	14,07	0,76
Gas de Coque	5.995	6,97	0,76
Gas de Refinería	5.613	6,53	0,76
Gas Licuado de Petróleo	12.100	14,07	550,00
Gas Natural	12.307	14,31	0,76
Kerosene	11.100	12,91	810,00
Leña	3.500	4,07	370,00
Petróleo Crudo	10.963	12,75	825,00
Petróleo N 2 (Diesel)	10.900	12,68	840,00
Petróleo N 5	10.500	12,21	927,00
Petróleo N 6	10.500	12,21	945,00
Propano	12.100	14,07	507,00

Fuente: Elaboración propia

### 8.2 Homologación de categorías vehiculares de INE con CCF6

**Tabla 8-2 Homologación de categorías INE a CCF6**

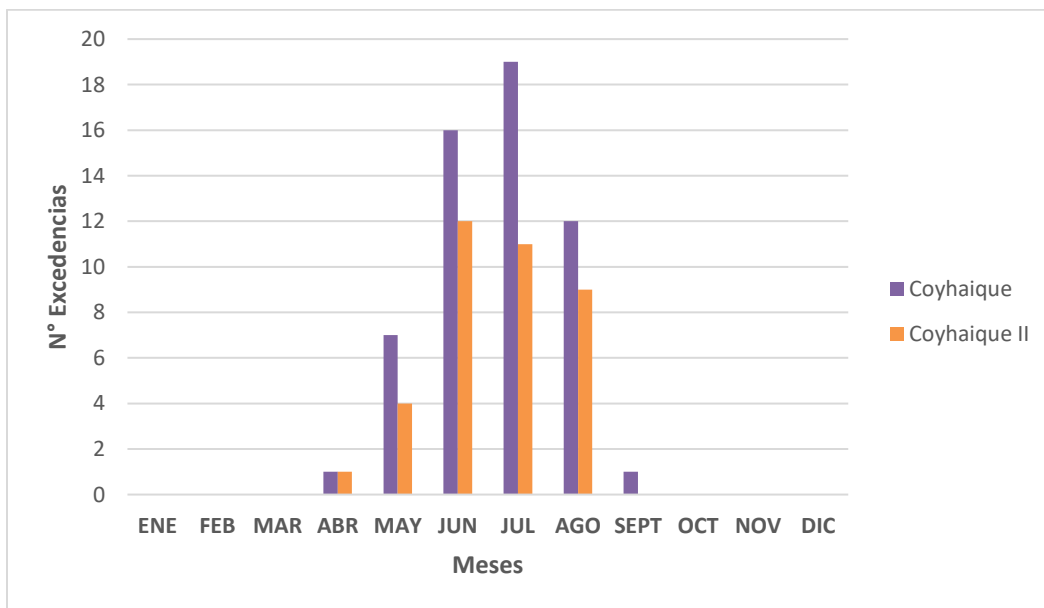
Tipo	Subtipo	Clasificación CCF6
Transporte Particular y Otros	Automóvil, Station Wagon <sup>1</sup> y Todo Terreno <sup>2</sup>	Particular
	Furgón <sup>3</sup>	Vehículo Comercial
	Minibús	Vehículo Comercial
	Camioneta	Vehículo Comercial
	Motocicleta y Similares	Motocicletas

Tipo	Subtipo	Clasificación CCF6
	Otros con Motor <sup>4</sup>	
	Otros sin Motor <sup>5</sup>	
Transporte Colectivo	Taxi Básico	Vehículo de alquiler
	Taxi Colectivo	Taxis Colectivos
	Taxi Turismo	Vehículo de alquiler
	Minibús, Transporte Colectivo <sup>6</sup>	Vehículo Comercial
	Bus Transporte Colectivo <sup>7</sup>	Buses Urbanos
Transporte de Carga	Camión Simple	Camiones Livianos
	Tractocamión	Camiones Pesados
	Tractor Agrícola	
	Otros con Motor <sup>8</sup>	
	Remolque y Semirremolque	Camiones Livianos

1. Incluye carrozas fúnebres
2. Incluye vehículos todo terreno tipo jeep
3. Incluye carrozas fúnebres y ambulancias
4. Incluye casa rodante automotriz y otros
5. Incluye casa rodante (hasta 1.750 kg), carro de arrastre (hasta 1.750 kg) y otros.
6. Incluye minibús privado remunerado, turismo, escolar, trabajadores y otros.
7. Incluye taxibús, bus escolar, bus de trabajadores y otros.
8. Incluye otros camiones y maquinarias automotrices especializadas.

Fuente: (GreenLab Dictuc, 2022)

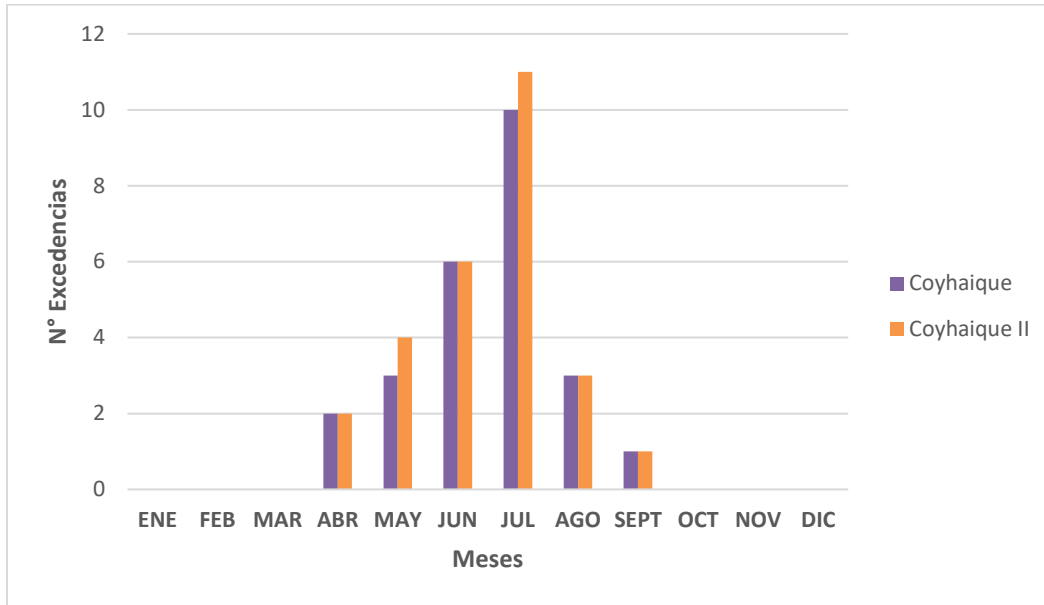
### 8.3 Excedencias a la norma 24 horas de MP10



Nota: Se registra un total de 56 excedencias en la estación Coyhaique y 37 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-1 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2018**

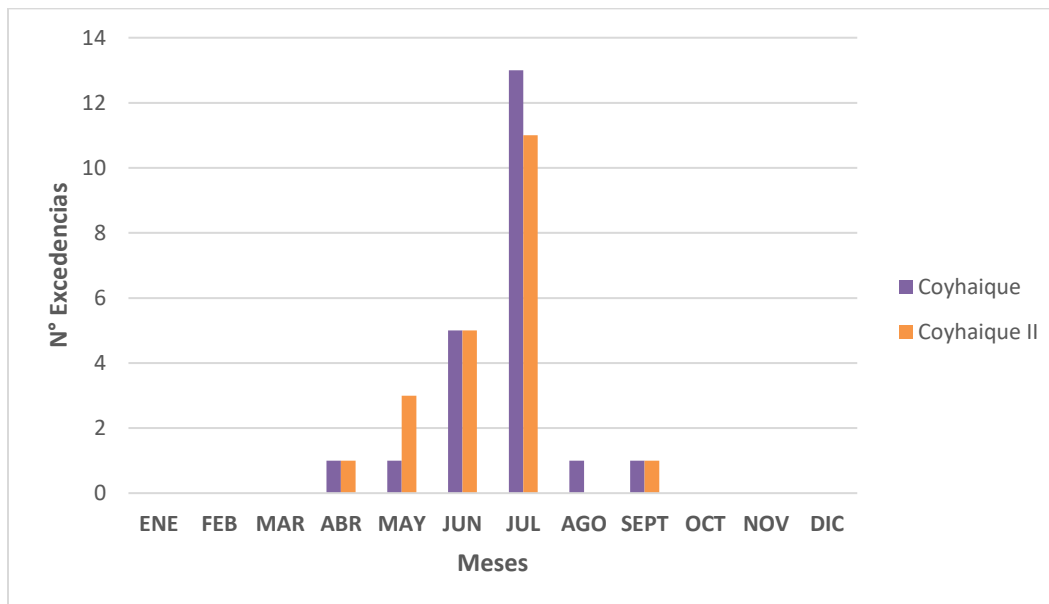
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 25 excedencias en la estación Coyhaique y 27 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-2 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2019**

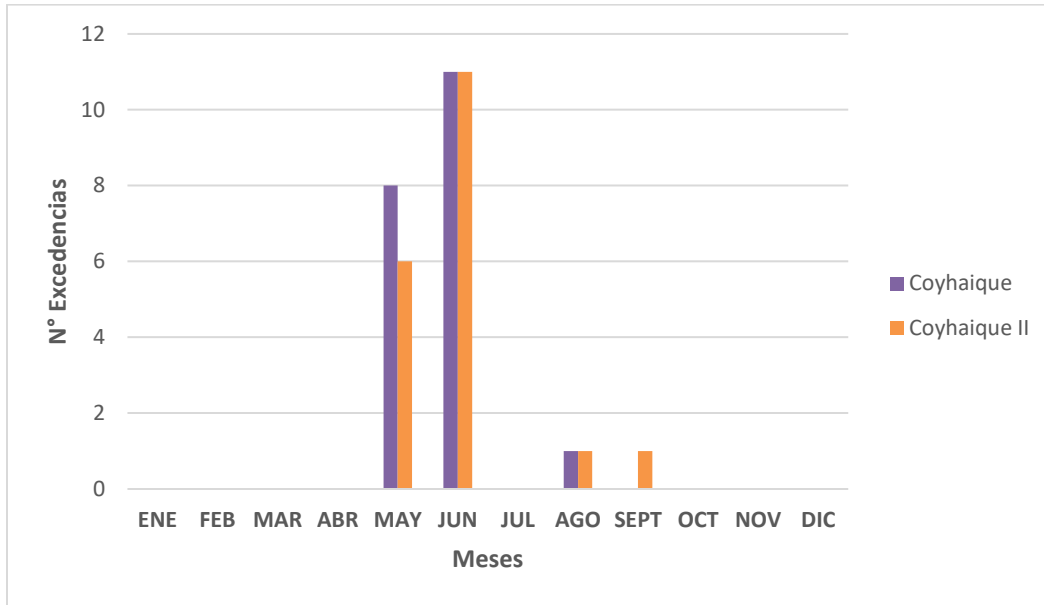
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 22 excedencias en la estación Coyhaique y 21 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-3 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2020**

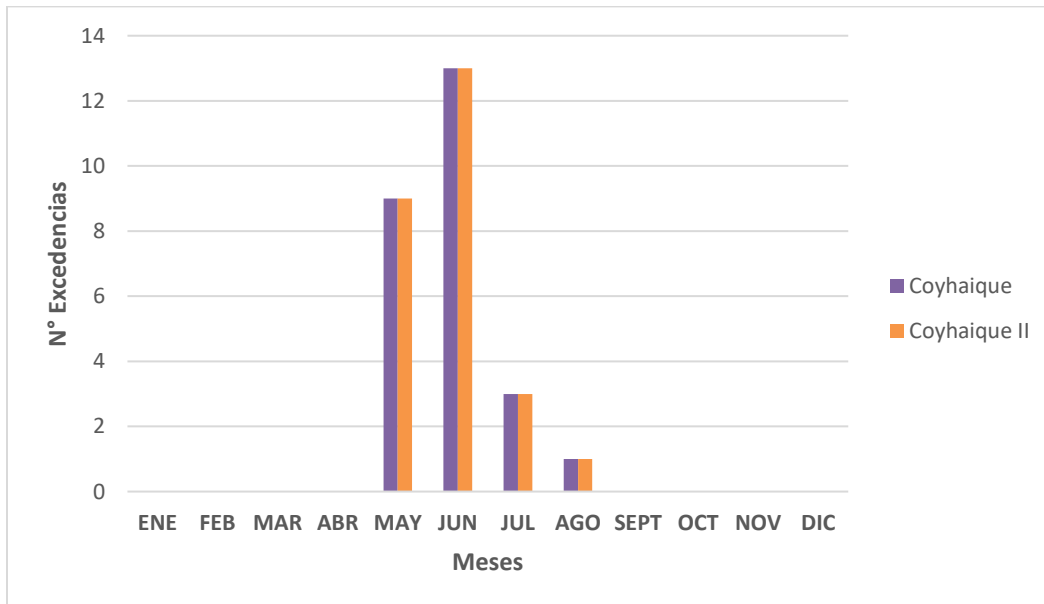
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 20 excedencias en la estación Coyhaique y 19 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-4 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2021**

Fuente: Elaboración propia

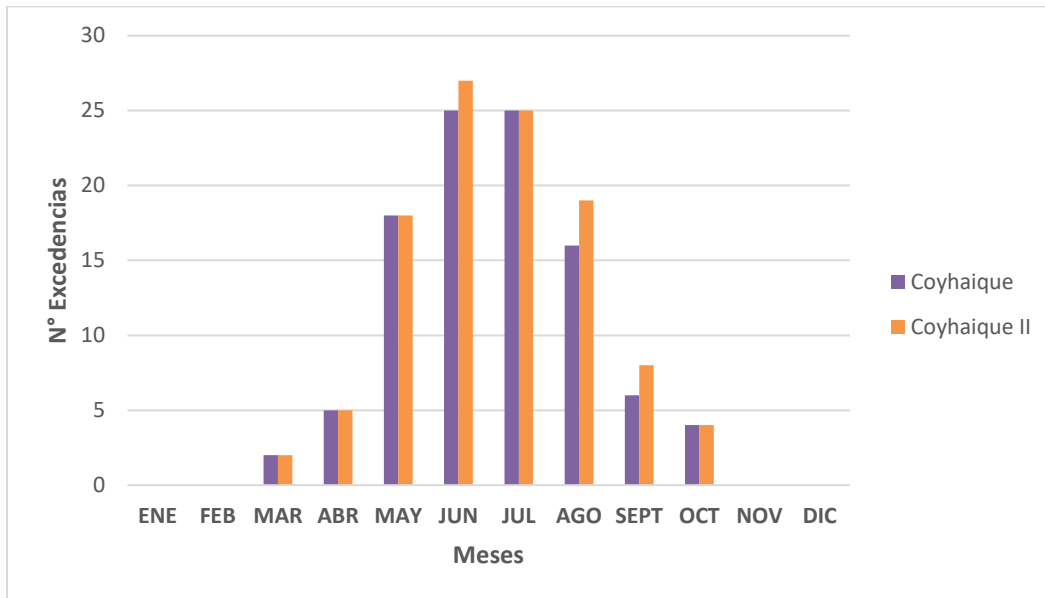


Nota: Se registra un total de 26 excedencias en la estación Coyhaique y 26 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-5 Excedencias a la norma de 24 horas de MP10, 2022**

Fuente: Elaboración propia

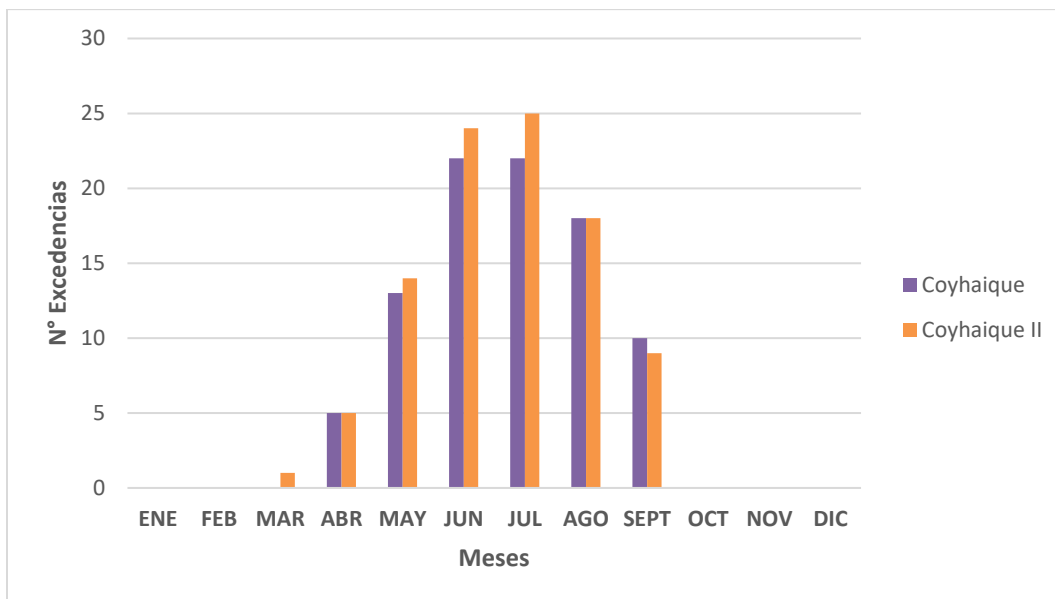
### 8.4 Excedencias a la norma 24 horas de MP2,5



Nota: Se registra un total de 101 excedencias en la estación Coyhaique y 108 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-6 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2018**

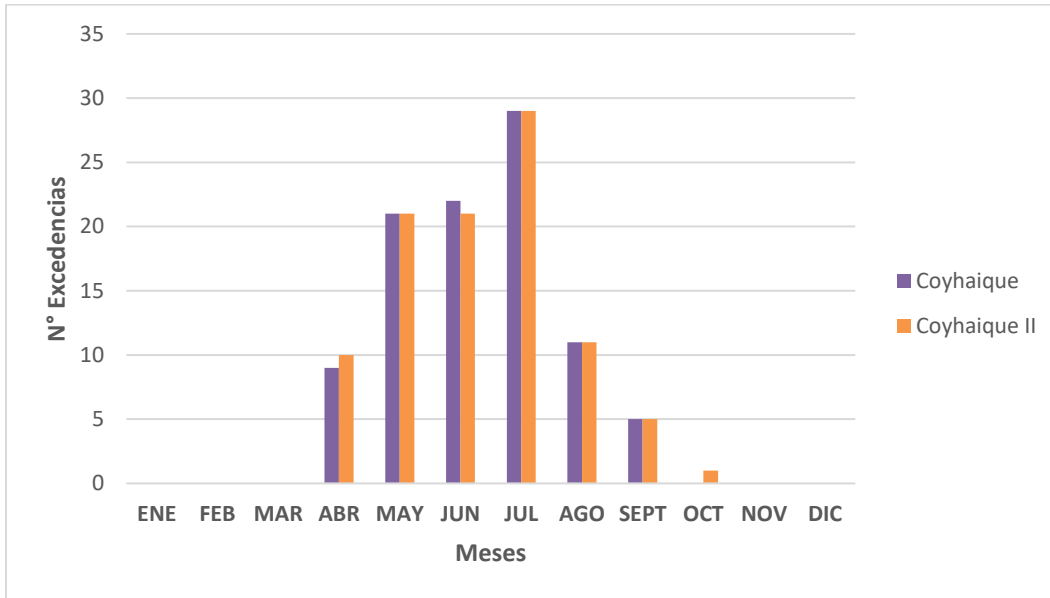
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 90 excedencias en la estación Coyhaique y 96 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-7 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2019**

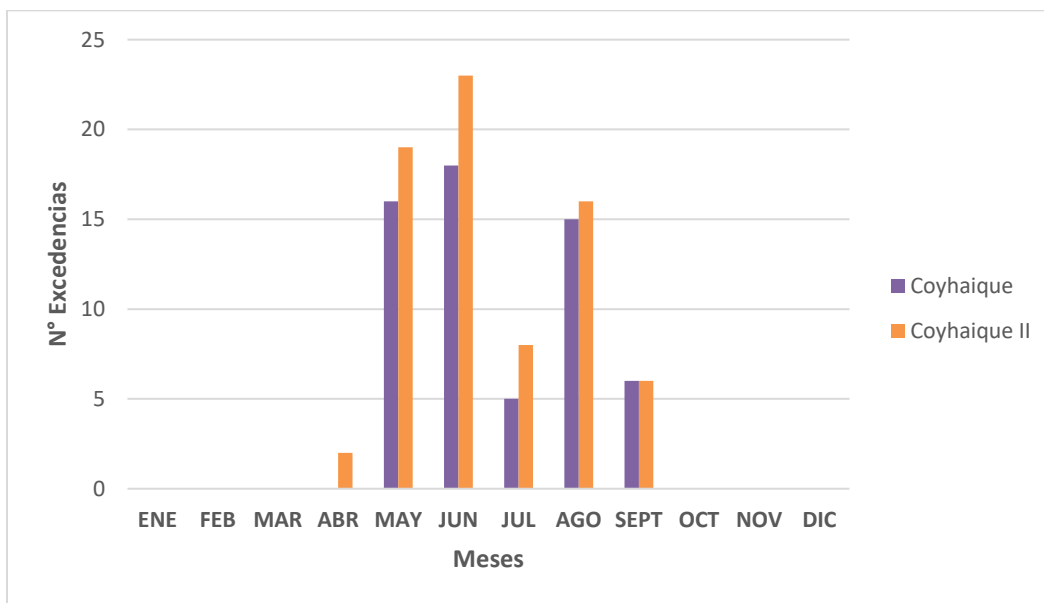
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 97 excedencias en la estación Coyhaique y 98 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-8 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2020**

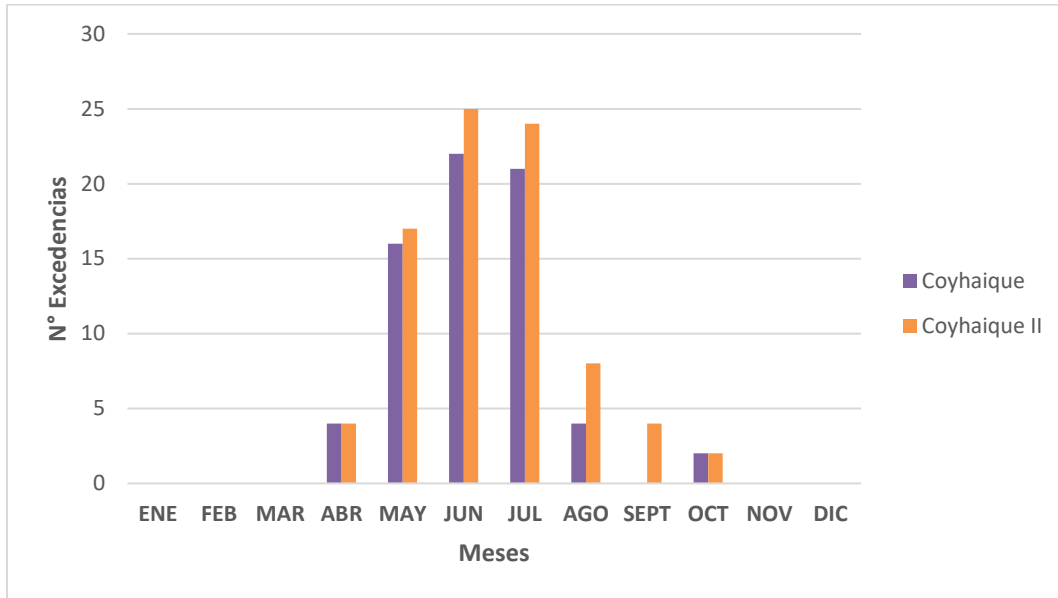
Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 60 excedencias en la estación Coyhaique y 74 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-9 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2021**

Fuente: Elaboración propia



Nota: Se registra un total de 69 excedencias en la estación Coyhaique y 84 en la estación Coyhaique II

**Figura 8-10 Excedencias a la norma de 24 horas de MP2,5, 2022**

Fuente: Elaboración propia

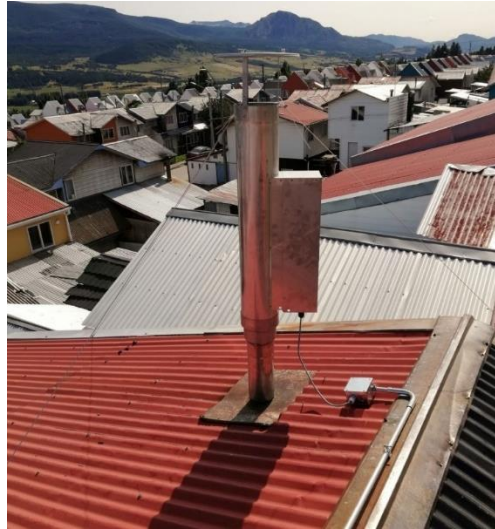
## 8.5 Medidas identificadas

### 8.5.1 Precipitadores electrostáticos como filtros - CIEP

El proyecto corresponde al estudio “Investigación análisis ambiental de abatimiento de material particulado”, una iniciativa ejecutada por el Laboratorio Eco Climático del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) y financiada por el GORE de Aysén. Mediante una entrevista realizada con Manuela López, Ingeniera Química encargada del CIEP, es posible profundizar en la información del proyecto. Su objetivo principal es implementar y evaluar el desempeño técnico, ambiental y social de precipitadores electrostáticos para mitigar las emisiones en cocinas residenciales de la ciudad de Coyhaique, en un plazo de dos años. Para ello, se instalan 45 filtros electrostáticos, incluyendo 40 filtros OekoTube de la empresa suiza OekoSolve AG y 5 filtros MpZero de tecnología nacional.

Los filtros corresponden precipitadores electrostáticos de micro-polvo, que permite separar el material particulado de los humos, reteniéndolo en la chimenea y reduciendo así las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por el uso de leña como fuente de calefacción y cocción de alimentos. El sistema opera mediante la atracción electrostática de partículas contaminantes, las cuales se adhieren a las paredes del ducto. Estos precipitadores son adecuados para sistemas de combustión de madera con una capacidad inferior a 40 kW y se instalan en la salida de los ductos de humo de cocinas y estufas de combustión a leña. En la Figura 8-11 se muestra un precipitador electrónico instalado en el ducto de una chimenea.





**Figura 8-11 Precipitador electrostático instalado en vivienda**

Fuente: CIEP, 2020

El proyecto también busca evaluar el funcionamiento de los filtros y estimar el impacto de su masificación en Coyhaique, a través de mediciones de emisiones de MP, velocidad de los gases en el ducto, la temperatura y la humedad de la leña utilizada. Estas mediciones se realizan tanto a la salida del ducto de humo dentro de la vivienda como en su exterior, para determinar la cantidad de partículas emitidas con el precipitador apagado y con el precipitador funcionando, y así estimar la reducción de las concentraciones. Además, se incluye un análisis social mediante encuestas, entrevistas y visitas a los hogares participantes, con el fin de evaluar la integración de la tecnología y el comportamiento en el uso de la leña.

Después de dos años de mediciones se obtuvo que los filtros con precipitadores electrostático disminuyen las emisiones de contaminación atmosférica hasta un 70%, con una eficiencia que varía entre un 40% y un 70%. Sin embargo, la eficiencia se reduce cuando se utiliza leña húmeda como combustible, y es necesario realizar una limpieza adecuada y periódica del sistema cada 15 días para mantener una correcta reducción de emisiones.

Desde el punto de vista social, las mediciones reflejan una percepción positiva de la inserción de los filtros en los hogares, ya que su funcionamiento automático no genera dificultades en el uso de la cocina a leña. Sin embargo, surge una preocupación respecto a la limpieza periódica del ducto, especialmente considerando que los adultos mayores deben hacerse cargo personalmente de la tarea o contratar a alguien, lo que implica un costo adicional. Además, el dispositivo requiere energía eléctrica, por lo que es necesario evaluar el impacto económico de su utilización.

## 8.5.2 Iniciativas

### 8.5.2.1 Experimento de Campo Calidad del Aire – EXCAMP2022

El Experimento de Campo sobre Calidad del Aire Material Particulado (EXCAMP), realizado por primera vez en 2019, vuelve en 2022 a la ciudad de Coyhaique. Esta iniciativa se llevó a cabo con la colaboración del Centro de Investigación en Tecnologías para la Sociedad (C+) de la Universidad del Desarrollo, el Laboratorio Eco-Climático del CIEP, el MMA, la Universidad Austral de Chile (UACH), la Universidad de Aysén, entre otros.

El objetivo del EXCAMP 2022 fue medir la calidad del aire durante el mes de julio en Coyhaique, utilizando instrumentos especializados y sensores. Además, se trata de una campaña multidisciplinaria que busca conocer la respuesta social frente a episodios críticos de contaminación en la zona. La iniciativa pretende generar conciencia en la población mediante la visualización en tiempo real los índices de contaminación, y contribuir al desarrollo de políticas públicas que promuevan la mejora de la salud y la calidad de vida, al comprender los beneficios de las medidas implementadas.

La metodología empleada incluye tanto actividades de medición de calidad del aire como de participación ciudadana. Una de las actividades consistió en una caminata de medición móvil con instrumentos de bajo costo, realizada todo un día, en la que participaron vecinos voluntarios de Coyhaique. Además, se llevaron a cabo mediciones fijas mediante la instalación de sensores en la Escuela Nieves del Sur, la UACH, el CIEP y en las viviendas de voluntarios. Estos sensores registraron contaminantes como MP2,5, MP10, carbono negro, metano, CO<sub>2</sub> y COV y mercurio. Otra parte del estudio incluye el análisis de las respuestas sociales a episodios de contaminación, mediante el monitoreo con sensores fijos y móviles, la realización de encuestas, entrevistas y estudios de percepción de la contaminación, evaluando su impacto en el bienestar psicosocial, complementados por conversatorios con la comunidad.

### 8.5.2.2 Respira Coyhaique

Respira Coyhaique es una campaña informativa creada en 2018 por Cecilia Moura y Macarena Díaz, con el objetivo de comunicar de manera sencilla y atractiva a la población sobre la contaminación por MP, sus efectos en la salud, y las estrategias y propuestas de mitigación tanto públicas como privadas. La campaña utiliza infografías, videos y animaciones didáctica para informar a la comunidad, difundiendo estos contenidos a través de programas de radio y redes sociales. Los temas abordados incluyen salud, energías renovables, cuidado del medio ambiente y calefacción eficiente.

### 8.5.2.3 Aires Nuevos para la Primera Infancia

El programa "Aires Nuevos para la Primera Infancia" es una con el objetivo de reducir la exposición de los niños a la contaminación del aire durante el invierno. Fue desarrollado por la Fundación Horizonte Ciudadano y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). El

instala monitores de calidad de aire en centros infantiles para analizar la contaminación por MP. La información se presenta en la aplicación IQAir, permitiendo verificar en tiempo real la calidad del aire que rodea a los menores.

### **8.5.3 Aislante de lana de oveja - Lanarq**

Lanarq es una empresa fundada en 2015 en Coyhaique, dedicada al diseño, fabricación y certificación de un aislante sustentable térmico, acústico e ignífugo, elaborado con fibra natural de lana de oveja. Esta lana, que suele ser un material de descarte por parte de pequeños productores ovinos locales, se utiliza para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, creando espacios sostenibles y confortables que contribuyen al bienestar de la población. Al mismo tiempo, el aislante reduce el uso de leña al disminuir el consumo energético en calefacción.

La lana como aislante es transpirable sin comprometer su eficiencia, tiene capacidad termorreguladora según la temperatura exterior, previene la condensación en cámaras de aislamiento, es el material natural de mayor durabilidad y es sencillo de instalar debido a su adaptabilidad. En cuanto a sus ventajas ambientales, se trata de un material natural, renovable, reciclable y biodegradable, no genera residuos sólidos. Además, su fabricación es sostenible, ya que requiere un bajo consumo de energía y produce menos emisiones en comparación con otros aislantes. Su uso no presenta riesgos para la salud, ya que los tratamientos para mejorar sus propiedades ignífugas y repelentes de plagas son de baja toxicidad.

### **8.5.4 Cicleayque**

Cicleayque es una organización de Coyhaique cuyo objetivo es promover la movilidad sustentable, al apoyar la transición hacia una movilidad más activa, saludable, inclusiva y responsable en la ciudad. La organización contribuye a través de la educación, promoción, participación y creación de espacio y condiciones que permitan a la comunidad optar por el transporte activo de manera segura, consciente y acompañada.

Coyhaique presenta condiciones climáticas y geográficas únicas, además de una falta de infraestructura adecuada tanto peatonal como cicloinclusiva, lo que dificulta la participación de más personas, especialmente niños y personas mayores. Por ello, las áreas de acción de Cicleayque abarcan el medio ambiente y el entorno construido, la educación, investigación y cultura, la salud, turismo y bienestar, así como la promoción y el comercio. A través de diversas actividades, como la promoción del uso de la bicicleta, talleres para aprender todo lo necesario sobre su uso, manifestaciones en bicicleta y mesas de trabajo para debatir el tema, la organización impulsa la participación ciudadana en la movilidad sustentable.

## 8.5.5 Fondos

### 8.5.5.1 Fondo de Protección Ambiental (FPA)

El Fondo de Protección Ambiental (FPA), es un fondo concursable de carácter nacional, gestionado por el MMA. Fue creado por la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, con el objetivo de financiar proyectos o actividades orientadas a la protección o reparación del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Los proyectos se seleccionan a través de concursos públicos, de acuerdo con las bases generales y específicas que cada convocatoria establece.

Los FPA son fondos disponibles a nivel nacional. En Coyhaique, se han desarrollado varios proyectos a lo largo de los años, abarcando diversas temáticas, desde la inclusión de energías sostenibles hasta la implementación de composteras y huertos en establecimientos educacionales. Con respecto a proyectos orientados a la reducción de emisiones, en 2022 la Junta de Vecinos “El Mirador” se adjudicó fondos para el proyecto “Educar para Descontaminar el Aire de Coyhaique”. Además, el MMA invita a organizaciones sociales y establecimientos educacionales a postular proyectos sustentables para los FPA 2025, con convocatorias específicas para pueblos indígenas y la ciudadanía en general.

### 8.5.5.2 Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC)

El Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) es un fondo del Gobierno Regional destinado a financiar diversos tipos de proyectos. En Coyhaique, la Universidad de Aysén postuló a este fondo con el proyecto denominado “Proyecto FIC: Ciencia y Ciudadanía para enfrentar la contaminación atmosférica de Coyhaique y Puerto Aysén”. Este proyecto tiene como objetivo principal contribuir a mejorar el diseño, la implementación y la evaluación de las medidas de descontaminación atmosférica aplicadas en Coyhaique y Puerto Aysén. Para ello, se promueve la innovación pública, la generación de evidencia científica basada en la realidad local y la participación ciudadana. El enfoque del proyecto se organiza en cuatro componentes: innovación pública, investigación científica, innovación social y comunicación, y divulgación social.

El proyecto pretende complementar los esfuerzos realizados en la región de Aysén mediante los Planes de Descontaminación, basándose en un diagnóstico del desempeño de este instrumento de gestión ambiental y la identificación de debilidades y brechas. En Coyhaique, se están llevando a cabo diversas actividades, por ejemplo, en julio de 2024 comenzó la ejecución del componente de Monitoreo Ciudadano, durante el cual se realizó una reunión con las vecinas de Villa Los Glaciares y se instalaron sensores para medir la calidad del aire, tanto en el interior como en el exterior de viviendas, así como en el Jardín Infantil Mi Pequeña Estancia.

### 8.5.5.3 Fondo de Acceso a la Energía (FAE)

Los Fondos de Acceso a la Energía (FAE) son un fondo concursable del Ministerio de Energía, que promueve el acceso a la energía a proyectos energéticos por medio de soluciones a pequeña escala basadas en energías renovables no convencionales (ERNC).

Los FAE permiten mejorar la calidad de vida de las personas mediante el financiamiento de proyectos que les permitan acceder a energías renovables y sustentables, como la energía solar fotovoltaica, almacenamiento de energía, sistemas de calefacción y mejoras en eficiencia energética. Específicamente, en Coyhaique el año 2019 se gana el concurso de FAE, se opta a solución fotovoltaica para generación eléctrica y un sistema solar térmico para el calentamiento de agua en las organizaciones sociales Los Cooperadores de la Obra Don Guanella y la Junta de Vecinos N° 12 de la Población Ampliación Víctor Domingo Silva, respectivamente.

### 8.5.6 Estudio Corporación Ciudades

Este estudio, realizado en 2021, se enfoca en lograr un acuerdo de desarrollo para la ciudad de Coyhaique mediante un proceso participativo que integre a sus habitantes en la definición de un escenario futuro deseable. El objetivo fue promover un diálogo entre actores públicos, privados, la academia y la sociedad civil, con el fin de acordar una visión de ciudad a largo plazo que mejore el bienestar de los habitantes, priorice proyectos urbanos que permitan alcanzar dicho objetivo y establezca un modelo de gestión para su desarrollo e implementación en plazos definidos.

Se realizó una consulta en redes sociales, obteniendo un total de 497 respuestas, de las cuales un 42,2% indicó que se debe mejorar la calidad del aire, y un 50,6% expresa su deseo de que Coyhaique sea reconocida en 10 años como una ciudad protectora del medio ambiente.

Además, se efectuó una consulta ciudadana en Coyhaique, en la que obtuvieron 2103 respuestas, en que se identifican medidas a priorizar según la comunidad. Con respecto a la reducción de emisiones, para Movilidad, se observa una preferencia por las ciclovías (50,5 %) y el transporte público eléctrico (42,7%). En el Medio Ambiente, se priorizaron el Techo Solar (39,8%) y la calefacción distrital conectada a una red desde una central térmica (34,9%). Por último, en el área de Desarrollo Urbano Integrado, se destacó la ejecución de programas de mejoramiento de eficiencia térmica en viviendas (32,9 %).

Finalmente, se recopilaron iniciativas presentes en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, a las que se sumaron propuestas de la Mesa de Ciudad por Coyhaique y otras sugerencias de la Corporación Ciudades. De las propuestas incluidas en el estudio, se seleccionaron diez iniciativas para cada temática: Movilidad y accesibilidad; Medio ambiente; Desarrollo urbano integrado; y Cultura, arte y patrimonio. En relación con la reducción de emisiones, se identificaron medidas relacionadas con el uso de transporte eléctrico y ciclovías, así como con la incorporación de nuevas fuentes de energía, tales como paneles fotovoltaicos a

través del programa “Techo Solar” y la Calefacción distrital para un conjunto de edificaciones, entre otras.

### 8.5.1 Tesis: Propuestas pobreza energética PRC (Ibacache, 2024)

La tesis llamada “Propuestas para la incorporación de la pobreza energética en el Programa de Recambio de Calefactores de Coyhaique” (Ibacache, 2024), diseña una serie de recomendaciones para incorporar el fenómeno de la pobreza energética en el Programa de Recambio de Calefactores (PRC), considerando tanto la perspectiva de beneficiarios como la de expertos mediante el análisis de documentos, entrevistas y encuestas. Estos instrumentos permiten analizar la pobreza energética desde cinco dimensiones: acceso a la energía, calidad, asequibilidad, habitabilidad y educación.

Se identifican efectos del PRC sobre la condición de pobreza energética de los hogares beneficiarios, los cuales impactan la transición hacia el uso de los nuevos calefactores. Entre estos efectos destacan: la escasez de biocombustibles en invierno, evaluaciones negativas sobre el confort térmico proporcionado por los aparatos recambiados, un aumento del gasto energético, cortes en el suministro eléctrico durante el invierno, la falta de mecanismos de seguimiento posterior al recambio y la realización poco frecuente y de baja calidad de actividades educativas.

Se presenta una propuesta integrada compuesta por siete recomendaciones orientadas a mejorar la situación de pobreza energética de los hogares beneficiarios: evaluar el PRC para cuantificar el efecto rebote y ajustar las metas; consolidar un sistema de seguimiento basado en indicadores de pobreza energética; realizar campañas para promover el uso de pellet; efectuar análisis de prefactibilidad y factibilidad para la ubicación de los nuevos aparatos; proporcionar pellet certificado a hogares vulnerables; y diversificar las actividades educativas, midiendo la satisfacción de los participantes.

## 8.6 Realización de taller virtual con actores claves de la región

### 8.6.1 Metodología del taller

El día 19 de noviembre de 2024 se realizó un taller virtual vía Microsoft Teams, con la participación de 20 personas. Los grupos y sus participantes se presentan en la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3 Participantes del taller**

Grupo Temático	Participante	Organización
Dentroenergía y Calefacción	Pamela Molina	CChC
	Fernando Bascuñán	CONAF
	Iván Moya	Instituto Forestal
	Marcela Aracena	Seremi de Energía
Vivienda y Ciudad	Marco Fierro	Arquitectura Social
	Rosamel Vera	Asociación Gremial Entidades Patrocinantes Aysén
	Pilar Pantaleon	CChC

Grupo Temático	Participante	Organización
	Carolina Palma	GORE Aysén
	Mario Pérez	INACAP
	Karen Carrasco	Seremi MINVU
	Pedro Chávez	Seremi MINVU
	Roberto Constanzo	Térmica Austral
	Nicol	Térmica Austral
	Héctor	Térmica Austral
Fiscalización	Claudia Bravo	SMA
Educación	Alejandra Cortés	Facultad de Arquitectura y Urbanismo, U. de Chile
	Laura Sánchez	MINEDUC
	Claudio Herranz	Universidad Austral de Chile
	Sebastián Ibarra	Universidad de Aysén
	Isabel	-

Fuente: Elaboración propia

El objetivo fue revisar los avances en la implementación de las medidas del PDA vigente y generar una discusión sobre las nuevas medidas de reducción de emisiones propuestas, para recopilar observaciones y recomendaciones. En la Tabla 8-4 se presenta la estructura general del taller.

**Tabla 8-4 Estructura general del taller**

Actividad	Descripción	Duración [min]
<b>Introducción PDA</b>	Equipo consultor realiza una presentación para contextualizar el PDA vigente. Se presentan los principales avances de las medidas.	15
<b>Discusión grupal</b>	- Los participantes se dividen en grupos según temáticas, para discutir sobre las medidas propuestas. - Grupos: Dendroenergía y calefacción; Vivienda y ciudad; Fiscalización; Educación. - Actividad: Cada grupo tiene un set de medidas a analizar por temática. Análisis según: 1) Factibilidad y 2) Aporte a la reducción de emisiones	30
<b>Presentación grupos</b>	Cada grupo expone un resumen de la discusión, mencionando las principales medidas evaluadas.	15
<b>Cierre</b>	Equipo consultor resume las ideas presentadas por los grupos y conclusiones.	15

Fuente: Elaboración propia

Las actividades grupales permitieron recopilar información sobre la factibilidad técnica, económica y normativa de las propuestas, además de evaluar su potencial impacto en la reducción de emisiones de Coyhaique. Estas actividades se llevaron a cabo utilizando la plataforma Canva y consistieron en dos evaluaciones: una Tabla de Factibilidad y un Gráfico de aporte a la reducción de emisiones.

La primera actividad se presenta a modo de ejemplo en la Figura 8-12. En ella, cada participante evalúa numéricamente, de menor a mayor factibilidad (0-3), los aspectos técnico, económico y normativo de cada medida propuesta. Además, se incluye una columna de comentarios destinada a justificar las evaluaciones, identificar obstáculos, sugerir mejoras o aportar información adicional. Se añaden filas en blanco al final de la tabla que permiten proponer nuevas medidas. Al finalizar esta actividad, para cada medida se calcula el puntaje promedio por aspecto

y se suman los tres puntajes, para así obtener un puntaje total de factibilidad, siendo posible obtener una factibilidad máxima de 9 puntos.

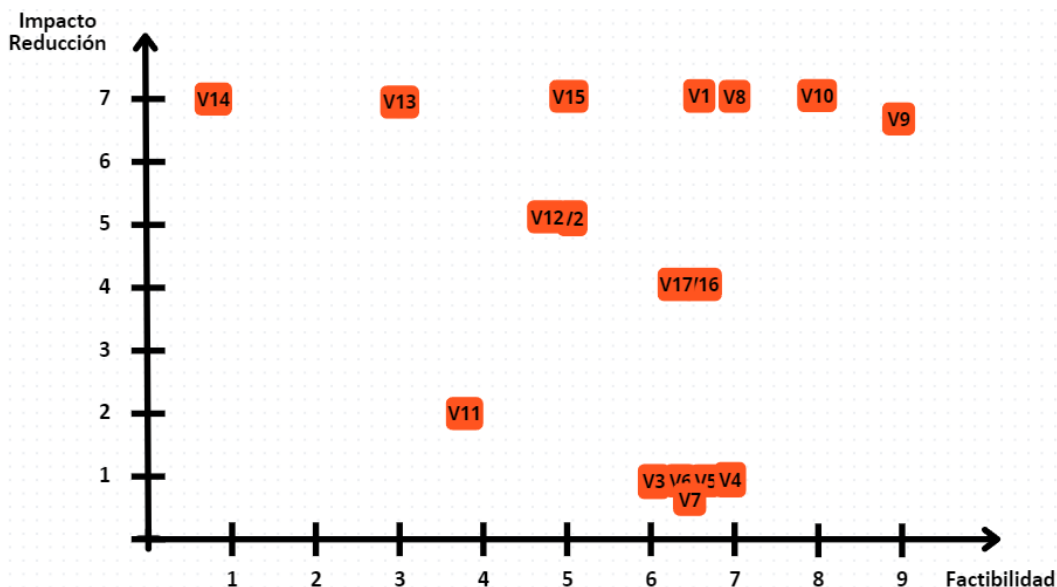
Propuesta	Descripción Propuesta	Factibilidad Técnica	Factibilidad Económica	Factibilidad Normativa	Comentario	Suma	ID
Generación de energía para la calefacción con Energías Renovables No Convencionales (ERNC)	Impulsar y fomentar los proyectos orientados a la generación de energía para calefacción a través de Energías Renovables No Convencionales (ERNC). ERNC considera recursos naturales como el agua, el viento, el sol y el calor del subsuelo	3 3 3 3 3 3	1 3 3 3 1 2	3 3 0 1 2 2 1		7	v1
Incorporación de Calefacción Distrital	Fomentar el desarrollo y uso de sistemas de calefacción distrital en proyectos habitacionales y grandes equipamientos públicos	2 2 2 3 2	2 1 1 1 2 3	1 1 0 2 1 2	Se sugiere generar las condiciones para que la calefacción distrital sea una de las alternativas de las medidas. Tomar en consideración las medidas del plan de adaptación y mitigación sectorial de energía, en donde se plantean acciones concretas para materializarla, por ejemplo la figura de las concesiones	5	v2
Promover Transporte sustentable y Creación de estaciones de conexión intermodal entre los diferentes sistemas de transporte	Identificar puntos potenciales para conexiones intermodales entre diferentes tipos de transporte, tales como transporte público, privado, ciclovías y colectivos, e implementar la infraestructura de apoyo necesaria. Promover el uso del transporte sustentable, facilitando la transición desde vehículos particulares hacia opciones como bicicletas o buses eléctricos	3 2 1	2 2 0	2 3 3		6	v3
Ampliación y mejora de redes de ciclovías	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías. Esto incluye construir una infraestructura accesible y de calidad, que permita conectar la ciudad longitudinal y transversalmente. Además, implementar un programa para promover el uso de bicicletas	3 3 2 3	3 1 2 1	3 3 3		7	v4
Implementación del programa de energía limpia "Techo Solar"	Volver a implementar el programa de instalación de sistemas solares fotovoltaicos en techos de viviendas y edificios, conectados a la red pública, permitiendo que la energía producida se consuma durante el día y los excedentes se inyecten a la red, generando un pago o descuento en la boleta de electricidad	3 3	3 3	1 3		7	v5

**Figura 8-12 Tabla de Factibilidad (Extracto) para G2: Vivienda y Ciudad**

Fuente: Elaboración propia

La segunda actividad se presenta a modo de ejemplo en la Figura 8-13. En ella, las medidas se posicionaron en el eje horizontal de un gráfico según el puntaje total de factibilidad obtenido en la actividad anterior. Posteriormente, se discute a nivel grupal el aporte de cada medida a la reducción de emisiones y, según eso, se asigna un puntaje de 0 a 7, de menor a mayor impacto, posicionando la medida en el eje vertical.





**Figura 8-13 Gráfico de aporte a la reducción de emisiones para G2: Vivienda y Ciudad**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Sección 5.3.1, las medidas sistematizadas fueron filtradas, ordenadas y agrupadas por similitud, obteniéndose un total de 36 medidas para ser evaluadas en el taller. Estas se organizaron en cuatro grupos temáticos: Dendroenergía y calefacción, Vivienda y ciudad, Fiscalización, y Educación. En la Tabla 8-5, Tabla 8-6, Tabla 8-7 y Tabla 8-8, se presentan las medidas evaluadas en el taller por cada grupo temático.

### 8.6.1 Medidas evaluadas en el Taller por grupos

**Tabla 8-5 Medidas evaluadas por G1: Dendroenergía y Calefacción**

ID taller	Medida	Descripción
D1	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías de artefactos de calefacción de baja emisión y alta eficiencia, tecnologías alternativas de bajo costo y uso eficiente de energía en viviendas. Por ejemplo, evaluar e implementar tecnologías de mitigación de MP, como electrofiltros y filtros en calderas
D2	Sustitución de Leña y Promoción de Combustibles Alternativos	Implementar mecanismos para facilitar el acceso a combustibles alternativos más económicos, como gas, parafina y electricidad, y promoción de incentivos para sustituir la leña por opciones como briquetas, pellets y electricidad. Por ejemplo, existe ECOMAS como venta de pellet local y la entrega de subsidios para combustibles que usen calefacción
D3	Pack Integral de Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar, optimizando recursos y asegurando resultados sostenibles
D4	Programas asociados al fomento de leña seca	Aumentar los recursos humanos y económicos del Programa Leña Más Seca para abarcar más beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad
D5	Regulación y Formalización del Comercio de Leña	Regular la venta y almacenamiento de leña, controlando la venta informal y mejorando la infraestructura de secado y almacenamiento. Considerar aspectos no considerados por la

ID taller	Medida	Descripción
		Ley de Biocombustibles Sólidos (BCS), como venta informal de leña en camiones, almacenamiento de leña en viviendas y bodegas, picaduría de leña, desechos, entre otros
D6	Ajuste Bono Calefacción	Considerar ajustes económicos al Bono de Calefacción para mejorar su eficacia, por ejemplo, en coordinación con el Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS)
D7	Postulación y prohibición de venta y/o cambio calefactor del programa recambio	Incluir restricciones que prohíban la reventa o cambio de los calefactores entregados, y flexibilizar los criterios de selección para facilitar el acceso a los subsidios de recambio
D8	Restricción absoluta de uso de leña	Evaluar la paralización de calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la Gestión de Episodios Críticos (GEC), con el objetivo de escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de alta contaminación
D9	Calefacción a Pellet en edificaciones públicas	Evaluar la viabilidad de incorporar calefacción a pellet en edificaciones públicas mediante alianzas con proveedores y charlas técnicas para su instalación y manejo
D10	Zona Buffer para Quema de Rastrojos	Implementar una zona buffer en la que se prohíba el uso de fuego alrededor del polígono saturado de la ciudad. Se evaluará la posibilidad de extender esta prohibición a toda la región. Por ejemplo, PDA de Talca considera una prohibición del uso de fuego en un radio de 5 km.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8-6 Medidas evaluadas por G2: Vivienda y Ciudad**

ID taller	Medida	Descripción
V1	Generación de energía para la calefacción con Energías Renovables No Convencionales (ERNC)	Impulsar y fomentar los proyectos orientados a la generación de energía para calefacción a través de Energías Renovables No Convencionales (ERNC). ERNC considera recursos naturales como el agua, el viento, el sol y el calor del subsuelo
V2	Incorporación de Calefacción Distrital	Fomentar el desarrollo y uso de sistemas de calefacción distrital en proyectos habitacionales y grandes equipamientos públicos
V3	Promover Transporte sustentable y Creación de estaciones de conexión intermodal entre los diferentes sistemas de transporte	Identificar puntos potenciales para conexiones intermodales entre diferentes tipos de transporte, tales como transporte público, privado, ciclovías y colectivos, e implementar la infraestructura de apoyo necesaria. Promoviendo el uso del transporte sustentable, facilitando la transición desde vehículos particulares hacia opciones como bicicletas o buses eléctricos
V4	Ampliación y mejora de redes de ciclovías	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías, alcanzando primero la cobertura de Puerto Aysén y luego estándares internacionales. Esto incluye construir una infraestructura accesible y de calidad, que permita conectar la ciudad longitudinal y transversalmente. Además, se implementará un programa para promover el uso de bicicletas, con el apoyo de la Seremi del Medio Ambiente y la Seremi de Vivienda y Urbanismo (MINVU), quienes coordinarán la construcción de 35 km de ciclovías para integrar vehículos no motorizados
V5	Implementación del programa de energía limpia "Techo Solar"	Volver a implementar el programa de instalación de sistemas solares fotovoltaicos en techos de viviendas y edificios, conectados a la red pública, permitiendo que la energía producida se consuma durante el día y los excedentes se inyecten a la red, generando un pago o descuento en la boleta de electricidad
V6	Instalación de Sistemas de Energía Solar para Comunidades	Instalar paneles solares u otros sistemas de energía renovable mixta en recintos comunitarios, para abastecer la demanda energética de viviendas en la zona
V7	Instalación de Sistemas de Energía Solar en Edificaciones Pública y Localidad aisladas	Instalar paneles solares como sistema de respaldo en edificaciones públicas, especialmente en localidades aisladas

ID taller	Medida	Descripción
V8	Pack Integral de Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar, optimizando recursos y asegurando resultados sostenibles
V9	Incremento de Subsidios de Acondicionamiento térmico	Ampliar el número de subsidios de acondicionamiento térmico, actualmente son 7.000 en 10 años, otros PDAs consideran entre 15.000 y 40.000 subsidios en 10 años
V10	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	Realizar un estudio para evaluar el desempeño de la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial
V11	Requisitos para postulación a programa de Acondicionamiento térmico	Establecer como requisito que las viviendas cuenten con un sistema de calefacción alternativo a la leña y flexibilizar los criterios de selección
V12	Calefactores a leña en viviendas nuevas	Implementar mecanismos para desincentivar el uso de calefactores a leña en viviendas nuevas, a partir de cierto año de construcción y dependiendo de la superficie de construcción, para viviendas sociales y privadas
V13	Requisito de compensación de emisiones en SEIA	Incorporar proyectos con emisiones de MP inferiores a 1 ton/año en la exigencia de la compensación de emisiones. Por ejemplo, en PDA de Temuco se compensa con un 120% de emisiones si se emite 0.5 ton/año o más de MP
V14	Compensación de Emisiones para Conjuntos Habitacionales no Ingresados al SEIA	Diseñar un sistema de compensación de emisiones aplicable a nuevos conjuntos habitacionales que no están sujetos al SEIA
V15	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca	Implementar restricciones para el cumplimiento de la norma de emisión Euro VI en los vehículos que ingresan por Zona Franca, prohibiendo el ingreso de aquellos que no cumplan con dicha normativa.
V16	Uso de Materiales de Construcción Sustentables	Evaluar, desarrollar, probar, certificar y promover materiales de construcción sostenibles, eficientes y de origen local. Por ejemplo, la lana de oveja como aislante y otros en base a madera, para fomentar su uso en la región
V17	Empalmes independientes para viviendas antiguas	Implementar un empalme independiente en viviendas que no cumplen con las normativas eléctricas, lo que permitirá acceder a tarifas más económicas y garantizar mayor seguridad. Además, se abordarán los problemas relacionados con la continuidad del suministro eléctrico en estas viviendas.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8-7 Medidas evaluada por G3: Fiscalización**

ID taller	Medida	Descripción
F1	Fiscalización del uso de leña en episodios críticos	Incrementar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante los episodios críticos, destinando recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria. Esto incluye el financiamiento de equipos de fiscalización permanentes y especializados para garantizar una mejor supervisión en períodos de alta contaminación
F2	Restricción absoluta de uso de leña	Evaluar la paralización de calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la Gestión de Episodios Críticos (GEC), con el objetivo de escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de alta contaminación
F3	Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada	Establecer la obligatoriedad para que los titulares de calderas se registren en el Sistema de Información para la Supervisión Ambiental (SISAT) de la SMA, para su inclusión en el catastro de calderas. Además, incluir calderas de potencia menor a 75 kWt en el Art. 27 y 28 del PDA vigente, con la opción de cumplir requisitos de monitoreo con una verificación simplificada mediante alternativas como estimaciones de emisiones o requisitos de mitigación
F4	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca	Implementar restricciones para el cumplimiento de la norma de emisión Euro VI en los vehículos que ingresan por Zona Franca, prohibiendo el ingreso de aquellos que no cumplan con dicha normativa.

ID taller	Medida	Descripción
F5	Postulación y prohibición de venta y/o cambio calefactor del programa recambio	Incluir restricciones que prohíban la reventa o cambio de los calefactores entregados, y flexibilizar los criterios de selección para facilitar el acceso a los subsidios de recambio

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8-8 Medidas evaluadas por G4: Educación**

ID taller	Medida	Descripción
E1	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	Realizar un estudio para evaluar el desempeño de la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial
E2	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción	Realizar un estudio para evaluar la implementación y el uso del Bono de Calefacción, identificando a quiénes beneficia y en qué se emplean los recursos
E3	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías de artefactos de calefacción de baja emisión y alta eficiencia, tecnologías alternativas de bajo costo y uso eficiente de energía en viviendas. Por ejemplo, evaluar e implementar tecnologías de mitigación de MP, como electrofiltros y filtros en calderas
E4	Incorporación de Calefacción Distrital	Fomentar el desarrollo y uso de sistemas de calefacción distrital en proyectos habitacionales y grandes equipamientos públicos
E5	Campaña comunicacional: Leña Certificada	Desarrollar campañas educativas dirigidas a los consumidores sobre los beneficios del uso de leña certificada
E6	Campaña comunicacional: Pellet para recambio	Desplegar una campaña comunicacional de promoción del consumo de pellet a nivel local para recambio
E7	Campaña comunicacional: Desincentivo leña	Implementar campañas educativas agresivas, similares a las campañas contra el tabaco, para desincentivar el uso de leña.
E8	Campaña comunicacional: GEC	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad. Enseñar a no contaminar.

Fuente: Elaboración propia

### 8.6.2 Sistematización y aportes del taller

La sistematización de la evaluación realizada durante el taller se encuentra disponible en el Anexo Digital “PDACOY-Sistematizacion\_Taller.xlsx”, en donde se detallan los puntajes de factibilidad asignado a cada aspecto, el puntaje promedio de cada aspecto, la factibilidad total obtenida, el puntaje de reducción de emisiones y los comentarios del taller.

Por su parte, la Tabla 8-9 presenta la sistematización, que incluye el número de la medida, su nombre y descripción. También, se considera un “ID Taller” que incluye el grupo y número de la medida evaluada durante el taller, siendo la letra del ID la primera letra del grupo para “Dendroenergía y calefacción”, “Vivienda y ciudad”, “Fiscalización” y “Educación”. Además, se muestran los promedios de los puntajes asignados a las factibilidades técnica, económica y normativa en las columnas “Técn”, “Econ” y “Norm”, respectivamente. La columna “Factibilidad” corresponde a la suma de los tres aspectos anteriores, cuyo valor puede variar entre 0 y un máximo de 9. Finalmente, la columna “Reducción” presenta el puntaje consensuado por los participantes de cada grupo respecto al impacto de cada medida en la reducción de emisiones.

**Tabla 8-9 Sistematización de aportes para actualización de PDA – Taller**

N°	Medida	Descripción	ID Taller	Téc	Econ	Norm	Factibilidad	Reducción
1	Requisitos para postulación a programa de Acondicionamiento	Establecer como requisito que las viviendas cuenten con un sistema de calefacción alternativo a la leña y flexibilizar los criterios de selección	V11	0,67	2	1	3,67	2
2	Incremento de Subsidios de Acondicionamiento térmico	Ampliar el número de subsidios de acondicionamiento térmico, actualmente son 7.000 en 10 años, otros PDAs consideran entre 15.000 y 40.000 subsidios en 10 años	V9	3	3	3	9	6,5
3	Estudio de evaluación del Acondicionamiento térmico	Realizar un estudio para evaluar el desempeño de la implementación de los subsidios de acondicionamiento térmico, con financiamiento sectorial	V10	2,5	2,5	3	8	7
			E1	2,4	2,4	2,8	7,6	7
4	Requisito de compensación de emisiones en SEIA	Incorporar proyectos con emisiones de MP inferiores a 1 ton/año en la exigencia de la compensación de emisiones. Por ejemplo, PDA de Temuco se compensa con un 120% de emisiones si se emite más de 0.5 ton/año	V13	1	1	1	3	7
5	Compensación de Emisiones para Conjuntos Habitacionales no Ingresados al SEIA	Diseñar un sistema de compensación de emisiones aplicable a nuevos conjuntos habitacionales que no están sujetos al SEIA	V14	0,33	0,33	0,33	0,99	7
6	Fomento de Tecnologías de Baja Emisión y Eficiencia Energética	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías de artefactos de calefacción de baja emisión y alta eficiencia, tecnologías alternativas de bajo costo y uso eficiente de energía en viviendas. Por ejemplo, evaluar e implementar tecnologías de mitigación de MP, como electrofiltros	D1	2,75	2,5	2	7,25	3
			E3	1,8	1,8	2,6	6,2	7
7	Uso de Materiales de Construcción Sustentables	Evaluar, desarrollar, probar, certificar y promover materiales de construcción sostenibles, eficientes y de origen local. Por ejemplo, la lana de oveja como aislante y otros en base a madera, para fomentar su uso	V16	3	2,5	1	6,5	4
8	Campaña comunicacional: Leña Certificada	Desarrollar campañas educativas dirigidas a los consumidores sobre los beneficios del uso de leña certificada	E5	2,25	2,5	2,5	7,25	3,5
9	Campaña comunicacional: Pellet para recambio	Desplegar una campaña comunicacional de promoción del consumo de pellet a nivel local para recambio	E6	3	3	3	9	5
10	Campaña comunicacional: Desincentivo leña	Implementar campañas educativas agresivas, similares a las campañas contra el tabaco, para desincentivar el uso de leña.	E7	2,5	3	2,33	7,83	5
11	Campaña comunicacional: GEC	Financiar campañas comunicacionales permanentes durante todo el año, dirigidas a diferentes grupos poblacionales y evaluar su efectividad, incluir grupos como trabajadores construcción o de parquímetros se exponen durante todo el día a altos niveles de contaminación	E8	3	2,67	2,67	8,34	4,5
12	Generación de energía para la calefacción con ERNC	Impulsar y fomentar proyectos orientados a la generación de energía para calefacción a través de Energías Renovables No Convencionales (ERNC). ERNC considera recursos naturales como agua, viento, sol y calor subsuelo	V1	3	1,83	1,83	6,66	7
13	Implementación del programa de energía limpia "Techo Solar"	Volver a implementar el programa de instalación de sistemas solares fotovoltaicos en techos de viviendas y edificios, conectados a la red	V5	2,67	1,67	2,33	6,67	1

N°	Medida	Descripción	ID Taller	Técn	Econ	Norm	Factibilidad	Reducción
		pública, permitiendo que la energía producida se consuma durante el día y los excedentes se inyecten a la red, generando un pago o descuento en la boleta de electricidad						
14	Instalación de Sistemas de Energía Solar para Comunidades	Instalar paneles solares u otros sistemas de energía renovable mixta en recintos comunitarios, para abastecer la demanda energética de viviendas	V6	2,25	1,75	2,25	6,25	1
15	Instalación de Sistemas de Energía Solar en Edificaciones Pública y Localidad aisladas	Instalar paneles solares como sistema de respaldo en edificaciones públicas, especialmente en localidades aisladas	V7	3	1,67	2	6,67	-
16	Incorporación de Calefacción Distrital	Fomentar el desarrollo y uso de sistemas de calefacción distrital en proyectos habitacionales y grandes equipamientos públicos	V2	2,2	1,67	1,14	5,01	5
			E4	2	0,67	2	4,67	7
17	Sustitución de Leña y Promoción de Combustibles Alternativos	Implementar mecanismos para facilitar el acceso a combustibles alternativos más económicos, como gas, parafina y electricidad, y promoción de incentivos para sustituir la leña por opciones como briquetas, pellets y electricidad. Por ejemplo, ECOMAS como venta de pellet local o la entrega de subsidios para combustibles para calefacción	D2	2,5	1,5	2,25	6,25	6,5
18	Empalmes independientes para viviendas antiguas	Implementar un empalme independiente en viviendas que no cumplen con las normativas eléctricas, lo que permitirá acceder a tarifas más económicas y garantizar mayor seguridad. Además, se abordarán los problemas relacionados con la continuidad del suministro eléctrico	V17	2,67	2	1,67	6,34	4
19	Estudio de evaluación del Bono de Calefacción	Realizar un estudio para evaluar la implementación y el uso del Bono de Calefacción, identificando beneficiarios y en qué se emplean los recursos	E2	1,75	2	2,5	6,25	3,5
20	Ajuste Económico Bono Calefacción	Considerar ajustes económicos al Bono de Calefacción para mejorar su eficacia, por ejemplo, en coordinación con el Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS)	D6	2,75	1,75	2,25	6,75	1
21	Postulación y prohibición de venta y/o cambio calefactor del programa recambio	Incluir restricciones que prohíban la reventa o cambio de los calefactores entregados, y flexibilizar los criterios de selección para facilitar el acceso a los subsidios de recambio	D7	1,5	3	1	5,5	2,5
			F5	2	2	2	6	7
22	Respaldo para los sistemas de calefacción que utilicen conexión eléctrica en Prog. de recambio	Respaldo para los sistemas de calefacción que utilicen conexión eléctrica, por medio de programas individuales de Seremi de energía, para implementar paneles solares o eólicos (con rangos de subsidio de acuerdo a su RSH)	D12	3	2	2,33	7,33	-
23	Aumento BTU para calefacción eléctrica según m <sup>2</sup> para programa de recambio	Incorporar en el programa de recambio, un aumento de BTU para la opción de calefacción eléctrica, de acuerdo a los m <sup>2</sup> de la vivienda	D13	3	2,33	3	8,33	-

N°	Medida	Descripción	ID Taller	Técn	Econ	Norm	Factibilidad	Reducción
24	Cambio de cocinas a leña antiguas con programa de recambio	Cambio de cocinas a leña antiguas, por cocinas a leña modernas, que son mucho más eficientes y menos contaminantes	D11	2,33	1,5	2,5	6,33	-
25	Restricción absoluta de uso de leña GEC	Evaluar la paralización de calderas a leña y restricciones absolutas de uso de leña en polígonos específicos durante la Gestión de Episodios Críticos (GEC), con el objetivo de escalar hacia una prohibición del uso de leña en situaciones de alta contaminación	D8	3	1	0,67	4,67	7
			F2	2	2	2	6	6,5
26	Fiscalización del uso de leña en episodios críticos	Incrementar la fiscalización y aplicar sanciones más estrictas durante los episodios críticos, destinando recursos específicos en el PDA para fortalecer el rol fiscalizador de la autoridad sanitaria. Esto incluye el financiamiento de equipos de fiscalización permanentes y especializados para garantizar una mejor supervisión en períodos de alta contaminación	F1	1	1	3	5	7
27	Regulación y Formalización del Comercio de Leña	Regular la venta y almacenamiento de leña, controlando la venta informal y mejorando la infraestructura de secado y almacenamiento. Considerar aspectos no considerados por la Ley de Biocombustibles Sólidos (BCS), como venta informal de leña en camiones, almacenamiento de leña en viviendas y bodegas, picaduría de leña, desechos, entre otros	D5	2,33	2	2	6,33	5
28	Programas asociados al fomento de leña seca, aumento recursos	Aumentar los recursos humanos y económicos del Programa Leña Más Seca para abarcar más beneficiarios y mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento para garantizar que la leña entregada cumpla los estándares de humedad	D4	3	1,4	2,25	6,65	5
29	Registro de Calderas en Catastro y Verificación simplificada	Establecer la obligatoriedad para que los titulares de calderas se registren en el Sistema de Información para la Supervisión Ambiental (SISAT) de la SMA, para su inclusión en el catastro de calderas. Además, incluir calderas de potencia menor a 75 kWt en el Art. 27 y 28 del PDA vigente, con la opción de cumplir requisitos de monitoreo con una verificación simplificada mediante alternativas como estimaciones de emisiones o requisitos de mitigación	F3	3	3	3	9	5,5
30	Zona Buffer para Quema de Rastrojos	Implementar una zona buffer en la que se prohíba el uso de fuego alrededor del polígono saturado de la ciudad. Se evaluará la posibilidad de extender esta prohibición a toda la región. Por ejemplo, PDA de Talca considera una prohibición del uso de fuego en un radio de 5 km.	D10	3	3	3	9	-
31	Promover Transporte sustentable y Creación de estaciones de conexión intermodal entre los diferentes transportes	Identificar puntos potenciales para conexiones intermodales entre diferentes tipos de transporte, tales como transporte público, privado, ciclovías y colectivos, e implementar la infraestructura de apoyo	V3	2	1,5	2,67	6,17	1

N°	Medida	Descripción	ID Taller	Técn	Econ	Norm	Factibilidad	Reducción
		necesaria. Promoviendo el uso del transporte sustentable, facilitando la transición desde vehículos particulares hacia opciones sustentables						
32	Ampliación y mejora de redes de ciclovías	Desarrollar y expandir gradualmente la red de ciclovías, alcanzando primero la cobertura de Puerto Aysén y luego estándares internacionales. Esto incluye construir una infraestructura accesible y de calidad, que permita conectar la ciudad longitudinal y transversalmente. Además, se implementará un programa para promover el uso de bicicletas, con el apoyo de la Seremi del Medio Ambiente y la Seremi de Vivienda y Urbanismo (MINVU), quienes coordinarán la construcción de 35 km de ciclovías para integrar vehículos no motorizados	V4	2,75	1,33	3	7,08	1
33	Restricciones a vehículos que ingresan por Zona Franca	Implementar restricciones para el cumplimiento de la norma de emisión Euro VI en los vehículos que ingresan por Zona Franca, prohibiendo el ingreso de aquellos que no cumplan con dicha normativa.	V15	3	2	0	5	7
			F4	2	2	2	6	3
34	Calefactores a leña en viviendas nuevas	Implementar mecanismos para desincentivar el uso de calefactores a leña en viviendas nuevas, a partir de cierto año de construcción y dependiendo de la superficie de construcción, para viviendas sociales y privadas	V12	2	2	1	5	5
35	Pack Integral de Optimización Vivienda: Recambio más Acondicionamiento	Implementación conjunta de acondicionamiento térmico y recambio de calefactores para maximizar la eficiencia energética del hogar, optimizando recursos y asegurando resultados sostenibles	D3	3	1,5	2,25	6,75	6,5
			V8	2	2,33	2,67	7	7
36	Calefacción a Pellet en edificaciones públicas	Evaluar la viabilidad de incorporar calefacción a pellet en edificaciones públicas mediante alianzas con proveedores y charlas técnicas para su instalación y manejo	D9	2	1	2	5	4

Fuente: Elaboración propia



## 8.7 Factor emisión-concentración en Coyhaique

**Tabla 8-10 Inversa de FEC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N-ton MP2,5}$ ]**

Mes	Estación Coyhaique	Estación Coyhaique II
1	0,05	0,06
2	0,04	0,07
3	0,09	0,11
4	0,21	0,22
5	0,18	0,20
6	0,32	0,33
7	0,25	0,28
8	0,16	0,18
9	0,16	0,18
10	0,10	0,09
11	0,07	0,08
12	0,07	0,08

Fuente: Elaboración propia