ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE EN PUERTO AYSEN Y COCHRANE

INFORME FINAL

Preparado para

Ministerio del Medio Ambiente

Gobierno de Chile

Marzo 2023

In-Data SpA	**AUTOR: Camila Ruiz** **FECHA DE CREACIÓN: 23 de marzo de 2023**			**REVISADO POR: Cristián Yáñez** **FECHA DE REVISIÓN: 24 de marzo de 2023** **VERSIÓN: 4**
	Estado			
	☐ **Borrador**	☐ **Preliminar**	☒ **Definitivo**	**DESTINATARIO** **NOMBRE: Jimena Silva**

Equipo del proyecto

Cristián Yáñez
Ernesto Gramsh
Adelqui Fissore
Camila Ruiz

In Data SpA
Diagonal Oriente 1630, oficina 201,
Comuna Providencia
Santiago de Chile
Chile
buribe@in-data.cl
www.in-data.cl

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 18
2. OBJETIVOS 21
   2.1 Objetivo general 21
   2.2 Objetivos Específicos 21
3. ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES AL INFORME Nº3 22
   3.1 Objetivo específico Nº1: Revisar información existente para la zona saturada de Puerto Aysén y la zona urbana de Cochrane: 22
   3.2 Objetivo específico Nº2: Elaborar un inventario de emisiones actualizado y proyectado, considerando un horizonte de evaluación de 15 años, que contemple los contaminantes MP_{10}, $MP_{2,5}$, SO_x, NO_x y CO para zona saturada de Puerto Aysén y para la zona urbana de Cochrane: 22
   3.3 Objetivo específico Nº3: Evaluar y proponer medidas necesarias para la disminución de emisiones, cuantificando la reducción de concentraciones para $MP_{2.5}$, valorizando cada medida. 23
   3.4 Objetivo específico Nª4: Presentar los resultados del estudio. 24
4. Resultados 25
   4.1 Objetivo específico Nº1 25
      4.1.1 Revisión bibliográfica. 25
      4.1.2 Sistematización de resultados y principales conclusiones. 25
      4.1.3 Discusión y Conclusiones 49
         4.1.3.1 Calidad del aire 49
         4.1.3.2 Eficiencia Energética 50
         4.1.3.3 Energía Distrital 52
         4.1.3.4 PDA 53
         4.1.3.5 Caracterización de viviendas 54
         4.1.3.6 Combustibles y energéticos 55
         4.1.3.7 Salud 58
      4.1.4 Revisión de información de calidad del aire en Puerto Aysén y Cochrane. 59
   4.2 Objetivo específico Nº2 67
      4.2.1 Revisión de las metodologías y factores de emisión que se utilizarán para la generación de los inventarios de emisiones. 67
         4.2.1.1 Fuentes consultadas. 67
         4.2.1.2 Metodología de cálculo de emisiones provenientes de quema de leña 69

4.2.1.3 Comparación con factores de emisión utilizados en estudios anteriores. 75
4.2.1.4 Emisiones provenientes de quema de otros combustibles para calefacción. 77
4.2.1.5 Incendios forestales y quemas agrícolas. Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión. 78
4.2.1.6 Transporte vehicular. Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión. 79
4.2.1.6.1 Factores de emisión 80
4.2.2 Desarrollar un inventario de emisiones, año base 2021, para toda el área de estudio, identificando además las potenciales nuevas fuentes, para los próximos 15 años. El inventario debe incluir a lo menos las siguientes fuentes. 82
4.2.2.1 Fuentes fijas. 82
4.2.2.1.1 Puerto Aysén 82
4.2.2.1.2 Cochrane 83
4.2.2.2 Fuentes areales: Emisiones por combustión residencial de leña 84
4.2.2.2.1 Puerto Aysén 84
4.2.2.2.2 Cochrane 88
4.2.2.3 Fuentes reales: Emisiones por quemas controladas 91
4.2.2.3.1 Puerto Aysén 91
4.2.2.3.2 Cochrane 92
4.2.2.4 Fuentes areales: Emisiones por Incendios forestales 94
4.2.2.4.1 Puerto Aysén 94
4.2.2.4.2 Cochrane 95
4.2.2.5 Fuentes móviles: Emisiones provenientes del parque vehicular 97
4.2.2.5.1 Puerto Aysén 98
4.2.2.5.2 Cochrane 100
4.2.3 Proyección de emisiones para un horizonte de evaluación de 15 años. 101
4.2.3.1 Proyección de población 101
4.2.3.2 Proyección de viviendas 104
4.2.3.2.1 Puerto Aysén 106
4.2.3.2.2 Cochrane 107
4.2.3.3 Tipología de viviendas 108
4.2.3.3.1 Puerto Aysén 111

4.2.3.3.2 Cochrane 113
4.2.3.4 Proyección de Calefactores 115
4.2.3.5 Proyección de las emisiones contaminantes por uso de calefactores en el sector urbano. 116
4.2.3.5.1 Puerto Aysén 116
4.2.3.5.2 Cochrane 119
4.2.3.6 Proyección de las emisiones por incendios forestales. 121
4.2.3.6.1 Puerto Aysén 121
4.2.3.6.2 Cochrane 122
4.2.3.7 Proyección de las emisiones vehiculares. 123
4.2.3.7.1 Puerto Aysén 123
4.2.3.7.2 Cochrane 124
4.2.4 Se deberá presentar la memoria de cálculo de los inventarios de emisiones actual y proyectado 126
4.2.4.1 Resumen de emisiones. 126
4.2.4.2 Resumen de Proyección de emisiones. 127
4.3 Objetivo específico Nº3 128
4.3.1 Analizar las medidas que se encuentran en el PDA de Coyhaique, Temuco – Padre Las Casas, Valdivia y Osorno, con énfasis en las medidas asociadas a la combustión residencial de leña. 128
4.3.1.1 Comparativa de Planes de descontaminación 128
4.3.1.2 Reacondicionamiento térmico 133
4.3.1.3 Recambio de calefactores 137
4.3.2 Comparar distintos escenarios en cuanto a su costo efectividad, respecto de las intervenciones en viviendas y calefacción. 140
4.3.2.1 Parque de viviendas 140
4.3.2.1.1 Región de Aysén 140
4.3.2.1.2 Puerto Aysén 142
4.3.2.1.3 Cochrane 144
4.3.3 En el caso de mejoramiento térmico de viviendas se solicita analizar la reducción de emisiones y los costos de mejoramiento térmico se estime al menos bajo dos escenarios: A) Estándar PDA Coyhaique y B) Estándar PDA Mejorado. 145
4.3.3.1 Reducción de emisiones debido al mejoramiento térmico de las viviendas 152
4.3.3.2 Costos de mejoramiento 153

4.3.4 Comparar los precios de los combustibles a nivel nacional, regional y comunal (considerando Coyhaique, Puerto Aysén y Cochrane) para leña seca, leña certificada, pellets, parafina, gas, energía eléctrica. 156

4.3.5 Alternativas de reemplazo a la leña (tipo de calefactor, potencia y tipo de combustible), según la superficie y el nivel de reacondicionamiento térmico de viviendas para los escenarios descritos en el punto anterior. 158

4.4 Objetivo específico N°4 168

4.4.1 Comparar a nivel nacional, las experiencias de intervención integral de viviendas, es decir mejoramiento térmico y recambio de calefactores en una sola intervención para los hogares, analizar ventajas y desventajas de esta modalidad y proponer acciones para que en la región de Aysén se pueda trabajar bajo esta modalidad. 168

4.4.2 Presentación de los informes. El consultor deberá realizar una presentación de cada informe, a la contraparte técnica y a quién ésta estime pertinente invitar, una vez subsanadas todas las observaciones. 170

5. Referencias 171

6. Anexos 174

6.1 Anexo 1: Revisión bibliográfica 174

6.1.1 Estrategia Regional de Desarrollo de Aysén, 2009. 174

6.1.2 Estrategia regional de innovación 2014-2020. 175

6.1.3 Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021. 176

6.1.4 Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane, 2020. 179

6.1.5 Actualización plan desarrollo comuna de Aysén, 2015. 180

6.1.6 Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?, 2018. 181

6.1.7 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, 2021. 181

6.1.8 Energía 2050, política energética de chile, 2015. 183

6.1.9 Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena, 2014. 185

6.1.10 Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020. 187

6.1.11 Medición del consumo nacional de laña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, 2015. 189

6.1.12 Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio, 2015. 191

6.1.13 Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique, 2022. 191

6.1.14 Análisis energético de viviendas Coyhaique, 2013. 192

6.1.15 Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile, 2022. 193

6.1.16 Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica, 2019. 194

6.1.17 Proyecto mejoramiento 14 viviendas mediante convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Coyhaique, 2021. 196

6.1.18 Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile, 2020. 197

6.1.19 Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: Un estudio de series temporales. 198

6.1.20 Proyecto ¿QUÉ RESPIRAS?, 2018. 199

6.1.21 The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke, 2020. 200

6.1.22 Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique, 2018. 201

6.2 Anexo 2: Revisión y análisis de los factores de emisión provenientes de quema de leña 202

6.3 Anexo 3: Fuentes Fijas 205

6.3.1 Puerto Aysén 205

6.3.2 Cochrane 207

6.4 Anexo 4: Antecedentes 210

6.4.1 Región de Aysén 210

6.4.2 Comuna de Puerto Aysén 210

6.4.3 Comuna de Cochrane 211

6.4.4 Vivienda y población por comuna 211

6.5 Anexo 5: CONAF 213

6.6 Anexo 6: Parque Vehicular 213

6.7 Anexo 7: Supuestos de calefactores. 217

6.8 Anexo 8: Tipologías de viviendas 220
6.9 Anexo 9: Demanda por tipología de vivienda 221

Índice de tablas

Tabla 1. Superación del valor límite de la norma diaria para $MP_{2,5}$ (50 µg/m^{3}N) en la estación vialidad. 18
Tabla 2. Monitoreo a la estación de monitoreo representativo poblacional desde el año 2017-2021 en la ciudad de Cochrane. 20
Tabla 3. Comparación bibliográfica respecto a calidad del aire. 26
Tabla 4. Comparación bibliográfica respecto a eficiencia energética. 28
Tabla 5. Comparación bibliográfica respecto a energía distrital. 32
Tabla 6. Comparación bibliográfica respecto a PDA. 33
Tabla 7. Comparación bibliográfica respecto a caracterización de vivienda. 37
Tabla 8. Comparación bibliográfica respecto a combustibles, energéticos y ERNC. 38
Tabla 9. Comparación bibliográfica respecto a salud. 47
Tabla 10. Cantidad de recambios anuales de calefactores en Coyhaique por tipo y cantidad. 60
Tabla 11. Factores de emisión de estufas con combustible de leña, pellet, GLP (Gas licuado de petróleo), GN (gas natural) y parafina (kerosene). 60
Tabla 12. Factor multiplicativo M_H, para las emisiones de acuerdo con la humedad de la leña para varios estudios anteriores 71
Tabla 13. Distribución de la población que utiliza leña con distintos contenidos de humedad en Temuco y que se supondrá similar a la de Puerto Aysén 72
Tabla 14. Distribución estimada de la población que utiliza leña con distintos contenidos de humedad en Puerto Aysén y Cochrane y que se usará en este informe. 72
Tabla 15. Modificador relacionado con la operación de la estufa. La equivalencia entre el tiraje y la tasa de quemado se muestra en la tabla. 73
Tabla 16. Factor multiplicativo M_I, para las emisiones de acuerdo con el tipo de leña utilizada en varios estudios previos. 74
Tabla 17. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña seca (Eucaliptus) y tiraje abierto. 76
Tabla 18. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña húmeda (Eucaliptus) y tiraje abierto. 76
Tabla 19. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña seca (Eucaliptus) y tiraje cerrado (mala operación). 76
Tabla 20. Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes para leña seca (Eucaliptus), tiraje abierto. 77
Tabla 21. Factores de emisión de estufas con combustible GLP (Gas licuado de petróleo), GN (gas natural) y parafina (kerosene). 77
Tabla 22. Factores de emisión para quemas agrícolas e incendios forestales. 78
Tabla 23. Valores de kilómetros promedios y velocidades promedio, obtenidas para el año 2007 en ciudades con modelo de trasporte y parque vehicular menor o igual a 25.000 vehículos. 80
Tabla 24. Factores de emisión para distintos tipos de vehículos tomados del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana y que a su vez se fue tomado del documento AP-42 de la EPA. 81
Tabla 25. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén. 82

Tabla 26. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén. 82
Tabla 27. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén. 83
Tabla 28. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén. 83
Tabla 29. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén. 83
Tabla 30. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane. 83
Tabla 31. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane. 83
Tabla 32. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane. 83
Tabla 33. Emisiones de $MP_{2.5\ en}$ comuna de Cochrane. 84
Tabla 34. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane. 84
Tabla 35. Penetración y consumo de leña en el sector residencial urbano de Puerto Aysén. 84
Tabla 36. Cantidad de calefactores a leña y pellet en sector residencial urbano Puerto Aysén. 84
Tabla 37. Cantidad de calefactores para la comuna de Puerto Aysén. 85
Tabla 38. Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano. 85
Tabla 39. Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano. 85
Tabla 40. Consumo promedio anual de combustible por artefacto 85
Tabla 41. Factores de emisión de MP_{10} para estufas con tiraje cerrado (considerando los modificadores) usados en el presente estudio y comparación con factores de otros estudios. 86
Tabla 42. Emisiones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ provenientes de calefactores a biomasa en Puerto Aysén. 87
Tabla 43. Emisiones de contaminantes gaseosos provenientes de calefactores a biomasa en Puerto Aysén. 87
Tabla 44. Emisiones consolidadas de fuentes fijas en Puerto Aysén para el año 2020 87
Tabla 45. Penetración y consumo de leña en el sector residencial urbano de Cochrane. 88
Tabla 46.Cantidad de calefactores a leña y pellet en sector residencial urbano Cochrane. 88
Tabla 47. Cantidad de calefactores en la comuna de Cochrane. 88
Tabla 48. Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano de Cochrane. 88
Tabla 49. Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano en Cochrane. 89
Tabla 50. Consumo promedio anual de combustible por artefacto 89
Tabla 51. Emisiones de MP_{10} provenientes de calefactores a biomasa en Cochrane 90
Tabla 52. Emisiones de contaminantes gaseosos provenientes de calefactores a biomasa en Cochrane. 90
Tabla 53. Emisiones consolidadas de fuentes fijas en Cochrane para el año 2020 90
Tabla 54. Cantidad de quemas controladas en Puerto Aysén y superficie afectada. 92
Tabla 55. Emisiones provenientes de quemas controladas en Puerto Aysén 92
Tabla 56. Cantidad de quemas controladas en Cochrane y superficie afectada. 93
Tabla 57. Emisiones provenientes de quemas controladas en Cochrane 93
Tabla 58. Registro de incendios forestales históricos en comuna de Puerto Aysén. 94
Tabla 59. Cantidad de incendios y superficie afectada en la provincia de Puerto Aysén. 95

Tabla 60. Emisiones anuales de MP_{10}, $MP_{2,5}$, CO, NO_x y COV provenientes de los incendios forestales en Puerto Aysén. 95
Tabla 61. Registros de incendios forestales históricos en comuna de Cochrane. 96
Tabla 62. Cantidad de incendios y superficie afectada en la provincia de Puerto Aysén 96
Tabla 63. Emisiones anuales de $MP_{2,5}$, CO, NO_x y COV provenientes de las quemas controladas e incendios forestales en Cochrane. 97
Tabla 64. Tipología de vehículos utilizado para calcular las emisiones, de acuerdo con lo indicado en la Guía Conama[24] 98
Tabla 65. Cantidad de vehículos por tipo y combustible en Puerto Aysén. 98
Tabla 66. Emisiones provenientes del parque vehicular en Puerto Aysén 98
Tabla 67. Emisiones del parque vehicular en Puerto Aysén 99
Tabla 68. Cantidad de vehículos por tipo y combustible en Cochrane. 100
Tabla 69. Emisiones provenientes del parque vehicular en Cochrane 100
Tabla 70. Emisiones del parque vehicular en Puerto Aysén 101
Tabla 71. Población proyectada comuna de Puerto Aysén 102
Tabla 72. Población proyectada comuna de Cochrane. 103
Tabla 73. Cantidad de viviendas totales por comuna en la región de Aysén. 104
Tabla 74. Cantidad de población total por comuna en la región de Aysén. 104
Tabla 75. Cantidad de habitantes por vivienda para cada comuna. 105
Tabla 76. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 1. 106
Tabla 77. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 2. 106
Tabla 78. Proyección de viviendas comuna de Cochrane para escenario 1. 107
Tabla 79. Proyección de viviendas comuna de Cochrane para escenario 2. 108
Tabla 80: Resultados de la estimación de la proporción poblacional 110
Tabla 81: Estimación de la desviación estándar poblacional 110
Tabla 82. Distribución de viviendas por metros cuadrados en la comuna de Puerto Aysén. 111
Tabla 83.Distribución de viviendas por año de construcción en la comuna de Puerto Aysén. 111
Tabla 84. Primera distribución de viviendas en la comuna de Puerto Aysén. 111
Tabla 85. Distribución de tipologías de viviendas para la comuna de Puerto Aysén. 112
Tabla 86. Distribución de viviendas por materialidad para la comuna de Cochrane. 113
Tabla 87. Distribución de viviendas por año de construcción para la comuna de Cochrane. 113
Tabla 88. Distribución de viviendas por metros cuadrados para la comuna de Cochrane. 113
Tabla 89. Primera distribución de viviendas en la comuna de Cochrane. 113
Tabla 90. Distribución de tipologías de viviendas para la comuna de Cochrane. 114
Tabla 91.Cantidad de calefactores para la comuna de Puerto Aysén. 115
Tabla 92. Cantidad de calefactores para la comuna de Cochrane. 115
Tabla 93. Supuesto de distribución del parque de calefactores por tipología de viviendas para la comuna de Puerto Aysén. 116
Tabla 94. Supuesto de distribución del parque de calefactores por tipología de viviendas para la comuna de Cochrane. 116

Tabla 95. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña. Año base 2020. 117
Tabla 96. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña. Año base 2020 - 2022. 118
Tabla 97. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña en Cochrane. Año base 2020. 119
Tabla 98. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña en Cochrane. Año base 2020 – 2022. 120
Tabla 99. Resumen de las emisiones en Puerto Aysén 126
Tabla 100. Resumen de las emisiones en Cochrane 127
Tabla 101. Proyección de emisiones Puerto Aysén (ton/año), base 2020-2022. 127
Tabla 102. Proyección de emisiones Cochrane (ton/año), base 2020-2022. 128
Tabla 103. Comparativa de los planes de descontaminación ambiental de Coyhaique, Temuco-Padre las Casas, Valdivia y Osorno. 129
Tabla 104. % de ahorro respecto a la OGUC y nivel de calificación estimado para cada tipología en las diferentes localidades. 133
Tabla 105. Definición del nivel de calificación (letra) en función del porcentaje de ahorro en energía respecto al caso que cumple justo con la OGUC. 134
Tabla 106. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados. 138
Tabla 107. Viviendas Región de Aysén según Censo. 140
Tabla 108. Totalidad de viviendas por área según Censo. 140
Tabla 109. índice de materialidad Región de Aysén respecto al Nacional. 141
Tabla 110.Totalidad de viviendas en uso según comuna. 141
Tabla 111. Segregación de viviendas según año de construcción, cantidad de pisos de la vivienda, tipo de vivienda, tipo de piso, cantidad de metros cuadrados y materialidad para la comuna de Puerto Aysén. 142
Tabla 112. Tipologías de viviendas utilizadas para el estudio en la comuna de Puerto Aysén. 143
Tabla 113. Segregación de viviendas según año de construcción, cantidad de pisos de la vivienda, tipo de vivienda, tipo de piso, cantidad de metros cuadrados y materialidad para la comuna de Cochrane. 144
Tabla 114. Tipologías de viviendas utilizadas para el estudio en la comuna de Cochrane. 145
Tabla 115. Caracteristicas principales de las tipologias y ponderacion para cada uno de las ciudades consideradas. 146
Tabla 116. Valores que definen la calidad térmica de la envolvente utilizados en el presente estudio. 147
Tabla 117. Resultados de las demandas calculadas para cada tipología. 148
Tabla 118. Procedimiento para el cálculo de la demanda de calefacción en las viviendas actuales. 148
Tabla 119. Procedimiento para el cálculo de la eficiencia promedio de los sistemas que usan leña. 149
Tabla 120. Demandas de calefacción corregidas 150

Tabla 121. Porcentajes de ahorro y estimación de la letra de la calificación. Los porcentajes de ahorro son con respecto a la vivienda con estándar OGUC. 150
Tabla 122. Cambio en el consumo anual de leña por artefacto, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica. 152
Tabla 123. Cambio en las emisiones anuales en Puerto Aysén, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica. 153
Tabla 124. Cambio en las emisiones anuales en Cochrane, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica. 153
Tabla 125:Costos de acondicionamiento Pack 1 en Puerto Aysén (paso a estándar PDA) 154
Tabla 126: Costos de acondicionamiento Pack 1 en Cochrane 155
Tabla 127: Costos de acondicionamiento Pack 2 en Aysén 155
Tabla 128: Costos de acondicionamiento Pack 2 en Cochrane 155
Tabla 129. Comparativa de precios de combustibles a nivel nacional, regional y comunal. 156
Tabla 130. Cantidad de horas que una vivienda se encuentra sin servicio eléctrico anualmente. 157
Tabla 131, Eficiencia de los sistemas de calefacción a considerar 158
Tabla 132, Poder calorífico de los combustibles a utilizar en el presente estudio. 158
Tabla 133, Precio de los combustibles a usar, 159
Tabla 134, Precios de los combustibles o energéticos en $/kWh 159
Tabla 135, Costo de la energía útil en $/kWh 159
Tabla 136, Resumen de resultados para el caso base de calefacción a leña para la localidad de Puerto Aysén, 162
Tabla 137, Resumen de resultados para el caso de calefacción a pellet para la localidad de Puerto Aysén. 162
Tabla 138, Resumen de resultados para el caso de calefacción a parafina para la localidad de Puerto Aysén, 163
Tabla 139, Resumen de resultados para el caso de calefacción a GLP para la localidad de Puerto Aysén, 163
Tabla 140, Resumen de resultados para el caso de calefacción con bomba de calor para la localidad de Puerto Aysén, 163
Tabla 141, Resultados resumidos de un sistema fotovoltaico en Aysén. 164
Tabla 142, Resumen de resultados para el caso base de calefacción a leña para la localidad de Cochrane, 165
Tabla 143, Resumen de resultados para el caso de calefacción a pellet para la localidad de Cochrane 166
Tabla 144, Resumen de resultados para el caso de calefacción a parafina para la localidad de Cochrane 166
Tabla 145, Resumen de resultados para el caso de calefacción a GLP para la localidad de Cochrane 166
Tabla 146, Resumen de resultados para el caso de calefacción con bomba de calor para la localidad de Cochrane 166
Tabla 147. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados y emisiones estimadas para Puerto Aysén y Cochrane. 167

Tabla 148. Grados- día anuales por zona térmica. 193
Tabla 149. Factores de emisión de MP_{10} para artefactos a leña provenientes de la EPA, estudios e inventarios de emisiones realizados en Chile. Suponiendo leña seca tipo Eucalipto o Pino Oregón y artefacto con tiraje abierto. 204
Tabla 150. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén. 205
Tabla 151. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén. 205
Tabla 152. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén. 206
Tabla 153. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén. 206
Tabla 154. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén. 207
Tabla 155. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane. 207
Tabla 156. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane. 208
Tabla 157. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane. 208
Tabla 158. Emisiones de $MP_{2.5\ en}$ comuna de Cochrane. 209
Tabla 159. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane. 209
Tabla 160. Antecedentes sobre Región de Aysén. 210
Tabla 161. Antecedentes comuna de Puerto Aysén. 210
Tabla 162. Antecedentes comuna Cochrane 211
Tabla 163. Población proyectada comuna de Puerto Aysén 211
Tabla 164. Proyección de viviendas Puerto Aysén. 212
Tabla 165. Población proyectada comuna de Cochrane. 212
Tabla 166. Proyección de viviendas comuna de Cochrane. 212
Tabla 167, Tabla de parque vehicular comuna de Puerto Aysén, 215
Tabla 168, Tabla de parque vehicular de la comuna de Cochrane, 216
Tabla 169. Supuesto de ingreso y salida de calefactores por tipología de vivienda para la proyección de calefactores en la comuna de Puerto Aysén. 217
Tabla 170. Supuesto de ingreso y salida de calefactores por tipología de vivienda para la proyección de calefactores en la comuna de Cochrane. 218
Tabla 171. Definiciones de las tipologías utilizadas en el estudio. 220

Índice de figuras

Figura 1. Polígono de la zona saturada de la ciudad de Puerto Aysén y su área circundante 19
Figura 2. Concentraciones promedio anuales de $MP_{2,5}$ (barras azules) y porcentaje de recambio (barras rojas) de estufas en varias ciudades del sur de Chile. La línea azul es un ajuste lineal. 62
Figura 3. Promedios diarios de $MP_{2,5}$ en la estación Vialidad de Puerto Aysén. La línea roja muestra la norma diaria. 63
Figura 4. Análisis estadístico de Mann-Kendall para las concentraciones diarias en Puerto Aysén. 63
Figura 5. Concentración promedio anual de MP2,5. El cálculo se realiza desde 1º de abril hasta el 31 de marzo del año siguiente. La línea azul muestra la norma anual. 64
Figura 6. (a) Perfil horario de MP2,5 en 4 meses de verano (noviembre-febrero) y 4 meses de invierno(mayo-agosto) para el año 2021 en Puerto Aysén. (b) Los mismos datos horarios de verano, pero en una escala expandida. 64

Figura 7. Promedios diarios de $MP_{2,5}$ en Cochrane. La línea roja muestra la norma diaria. 65
Figura 8. a) Perfil horario de 4 meses de verano y 4 meses de invierno para el año 2021 en Cochrane.b. Delatte del perfil horario en verano. 66
Figura 9. Modificador M_I relacionado con el tipo de leña para distintos estudios. 75
Figura 10. Quemas controladas sector Puerto Aysén. 91
Figura 11. Quemas controladas sector Cochrane. 93
Figura 12. Evolución de la población y tasa de crecimiento intercensal, Censos 1982-2017. 102
Figura 13. Proyección de población para comuna de Puerto Aysén. 103
Figura 14. Proyección de Población para comuna de Cochrane. 103
Figura 15.Cantidad de hogares y personas en la región de Aysén, por hogar según censos 1992 – 2017. 104
Figura 16. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 1. 106
Figura 17. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 2. 107
Figura 18. Proyección de vivienda comuna de Cochrane para escenario 1. 107
Figura 19. Proyección de vivienda comuna de Cochrane para escenario 2. 108
Figura 20: Manzanas seleccionadas comuna de Aysén. 109
Figura 21: Manzanas seleccionadas comuna de Cochrane 109
Figura 22. Proyección de emisiones de MP_{10} en Puerto Aysén provenientes de estufas a combustión tomando el año 2020 como base. 117
Figura 23. Proyección de emisiones de MP_{10} en Puerto Aysén provenientes de estufas a combustión, tomando como base el promedio de los años 2020 -2022. 119
Figura 24. Proyección de emisiones de MP_{10} en Cochrane provenientes de estufas. Año base 2020. 120
Figura 25. Proyección de emisiones de MP_{10} en Cochrane provenientes de estufas a pellet. 121
Figura 26. Superficie total quemada en Puerto Aysén desde el año 2010. b) Mismos datos que en a) pero graficados desde 2013 en adelante para calcular la tendencia. 122
Figura 27. Superficie total quemada en Cochrane desde el año 2010. 123
Figura 28. Número total de vehículos en Puerto Aysén y proyección hasta el año 2035. 123
Figura 29. Proyección de las emisiones vehiculares en Puerto Aysén, suponiendo que son proporcionales al aumento en el número de vehículos. 124
Figura 30. Número total de vehículos en Cochrane. 125
Figura 31. Proyección de las emisiones vehiculares en Cochrane, suponiendo que son proporcionales al aumento en el número de vehículos. 126
Figura 32. Porcentaje de ahorro para las diferentes tipologías en las diferentes ciudades. 135
Figura 33. Porcentaje de reducción de la demanda energética en calefacción en relación al consumo de las viviendas actuales. 136
Figura 34. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados 139
Figura 35.- Reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados. 139
Figura 36. Mapa de la comuna de Aysén. 142

Figura 37. Mapa para la comuna de Cochrane. 144
Figura 38. Coeficiente global de transferencia de calor (U) en función del espesor de la aislación para un muro de ladrillo 151
Figura 39. Precio de la energía útil en $/kWh para los diferentes sistemas de calefacción, 160
Figura 40. Mejoras obtenidas en las emisiones para los dos tipos de intervenciones consideradas. Los escenarios del recambio de calefactores se muestran en la Tabla 147. 167
Figura 41. Capital Natural de la Región de Aysén. 175
Figura 42. Resumen de ahorro energético de viviendas calculado en el estudio. 176
Figura 43. Mapa de Calor Puerto Aysén Norte, estaca 1:15000. 177
Figura 44. Mapa de Calor Puerto Aysén Sur, escala 1:10000. 177
Figura 45. Mapa de Calor Puerto Aysén Norte, escala 1:15000. 178
Figura 46. Mapa de Calor Puerto Aysén Sur, escala 1:10000. 178
Figura 47. Composición del consumo final de energía en la región de Aysén. 182
Figura 48. Tamaño de las viviendas de la zona estudiada. 182
Figura 49. Importancia relativa de las distintas fuentes de energía utilizadas en la región de Aysén (promedio y error estándar) 183
Figura 50. Generación eléctrica en Chile y el mundo. 183
Figura 51. Consumo energético final histórico por sector. 184
Figura 52. Matriz Energética Primaria. 184
Figura 53. Matriz Energética Secundaria o de Consumo Final. 185
Figura 54. Factores de Emisión MP_{10} Artefactos a Leña. 186
Figura 55. Factores de Emisión $MP_{2.5}$ Artefactos a Leña. 186
Figura 56. Participación tecnologías en línea base, 2013 y 2043. 186
Figura 57. Emisiones de material particulado según tipo de fuente y región. 187
Figura 58. Número de episodios de emergencia anuales en ciudades del sur de Chile 2018 – 2018. 188
Figura 59. Porcentaje de leña consumida por artefacto según región en año 2005. 188
Figura 60. Distribución de los artefactos utilizados por región para el año 2014. 189
Figura 61. Estación en que los hogares compran leña según región. 189
Figura 62. Resumen general de energía total de leña y sus derivados. 190
Figura 63. Penetración de leña respecto al total de viviendas tipología en sector residencial. 191
Figura 64. Times series of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations for the stations under study, with the percemtage of anual data availability per year for each PM fraction written above each year, i.e. (a) CY1; (b) cY2, for the èriod 2013- 2020. 194
Figura 65. Parámetros de diseño en casa óptima Zona 1. 195
Figura 66. Parámetros de diseño óptimo en departamento Zona 1. 195
Figura 67. Comparación demanda resultados caso base versus optimizado. 196
Figura 68. Tabla de resultados calificación energética de viviendas, versión 2.2 CEV. 197
Figura 69. Recambio de tecnologías de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda. Desde 3 de mayo al 5 de agosto de 2016. 197

Figura 70. Datos agrupados para los periodos comprendidos entre el 3 de mayo al 5 de agosto del año 2014 (sin recambio) y 2016 (con recambio). Coyhaique, Chile. 198
Figura 71. Análisis “Antes y durante la crisis respiratoria”, periodo 18 de julio al 30 de julio de 2018. 200
Figura 72. Comparación de la estimación de reducción de emisiones por artefactos recambiados por año (KG/año). 201
Figura 73. Emisiones anuales de material particulado equipos recambiados. 202
Figura 74. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén. 205
Figura 75. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén. 206
Figura 76. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén. 206
Figura 77. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén. 207
Figura 78. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén. 207
Figura 79. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane. 208
Figura 80. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane. 208
Figura 81. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane. 209
Figura 82. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Cochrane. 209
Figura 83. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane. 210
Figura 84. Informe de avisos para quemas controladas en Puerto Aysén y Cochrane. 213
Figura 85.Parque vehicular de 2016 a 2021 comuna de Puerto Aysén. 214
Figura 86. Parque vehicular de 2016 a 2021 en comuna de Cochrane. 215
Figura 87. Resultados de demandas para 4 tipologías en las ciudades de Temuco, Valdivia, Osorno y Coyhaique. 221

1. INTRODUCCIÓN

La principal causa del deterioro de la calidad del aire de las ciudades del centro y sur de Chile es el alto consume de leña para calefacción y cocción de alimentos en viviendas con escasa o nula aislación térmica, en artefactos de baja eficiencia y alta tasa de emisiones y sin ningún control de humedad de la leña que se consume.

En este sentido, los planes de descontaminación atmosférica son instrumentos de gestión ambiental establecidos en la Ley de Bases del Medio Ambiente, cuyo objetivo es recuperar la calidad del aire de una zona que ha sido declarada zona saturada o latente.

Los planes de descontaminación atmosférica, actualmente vigentes en varias ciudades del centro y sur de Chile, tienen 4 ejes estructurales que tienen relación con reducir la demanda energética de viviendas a través de más y mejores subsidios de aislación térmica para viviendas existentes y nuevos estándares para viviendas nuevas; acelerar el recambio tecnológico de los actuales sistemas de calefacción a leña por sistemas más eficientes y de menores emisiones; diversificar la matriz de combustibles residenciales, fomentando el uso de otros energéticos o combustibles más limpios y finalmente educación y difusión ambiental a la ciudadanía.

La ciudad de Puerto Aysén, perteneciente a la comuna de Aysén, se ubica a 67 km al noroeste de Coyhaique y es la segunda ciudad más importante de la Región de Aysén. Abarca un área aproximada de 7,22 km^2 y una población de 17.441 habitantes, de la cual el 93,3 % se ubica en zona urbana y el 6,7 % en zona rural.

En Puerto Aysén, se ubica la estación de monitoreo denominada "Vialidad", la cual cuenta con la clasificación de Estación de Monitoreo Representativa Poblacional (EMRP) para $MP_{2.5}$, otorgada mediante Resolución Exenta N° 278 del 22 de febrero 2019 de la Superintendencia del Medio Ambiente. Dicha estación mide $MP_{2.5}$ y parámetros meteorológicos.

Los resultados de la evaluación de la norma primaria de Material Particulado $MP_{2.5}$ (D.S. N°12/2011), informada al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) en el Informe Técnico código DFZ-2021-1704-XI-NC de junio de 2021, establece para el periodo 2018-2020, superación del valor límite de la norma diaria para $MP_{2.5}$ (50 µg/m^3N) en la estación Vialidad, tal como señala la siguiente tabla:

Tabla 1. Superación del valor límite de la norma diaria para $MP_{2,5}$ (50 µg/m^3N) en la estación vialidad.

Estación	P98 Año 2018 (µg/m^3)	% de la Norma 24 horas 2018 50(µg/m^3)	P98 Año 2019 (µg/m^3)	% de la Norma 24 horas 2019 50(µg/m^3)	P98 2020	% de la Norma 24 horas 2020 50(µg/m^3)

Vialidad	93	186	70	140	72	144

Fuente: SMA, informe técnico de norma primaria de calidad del aire $MP_{2,5}$ (DFZ-2021-1704-XI-NC)

En agosto de 2021, la SEREMI del Medio Ambiente elaboró el informe técnico con la propuesta del polígono para declarar zona saturada a la ciudad de Puerto Aysén y su área circundante, la siguiente imagen muestra dicho polígono.

Figura 1. Polígono de la zona saturada de la ciudad de Puerto Aysén y su área circundante

Con fecha 15 de marzo de 2022 fue tomado de razón el Decreto supremo N°37/2021 del Ministerio del Medio Ambiente, que declara zona saturada por $MP_{2.5}$ como concentración 24 horas, a la cuidad de Puerto Aysén y su área circundante, siendo publicado en el diario Oficial el 24 de marzo de 2022. Por lo anterior y según lo establece el Decreto Supremo N°39/2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación, se debe dar inicio el proceso de elaboración del Anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica para la cuidad de Puerto Aysén y su zona circundante.

En cuanto a la comuna de Cochrane, capital de la Provincia de Capitán Prat, ubicada a 331 km al sur de Coyhaique, esta posee un área aproximada de 8.500 km^2 y una población de 3.490 habitantes. Dicha comuna cuenta con una estación de monitoreo con validación EPA, para la cual se solicitó a la SMA que sea calificada como Estación de Monitoreo Representativa Poblacional (EMRP), con el propósito de que las mediciones realizadas en dicha estación sean oficiales y se pueda constatar la superación de Norma. Una vez que se declare EMRP y que se cuente con el informe técnico de cumplimiento de normativa por parte de la SMA, en el caso de que corresponda, se deberá elaborar el decreto que establece la zona saturada o latente por $MP_{2.5}$, y según lo establecido en la Resolución N°39 de fecha 22 de julio de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, se deberá elaborar el anteproyecto del Plan de Descontaminación y/o Prevención para dicha zona.

Los datos de monitoreo obtenido desde el año 2017 en Cochrane, en la estación antes señalada, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Monitoreo a la estación de monitoreo representativo poblacional desde el año 2017-2021 en la ciudad de Cochrane.

	2017		2018		2019	2020	2021
Nº Episodios	MP10	MP2.5	MP10	MP2.5	MP2.5	MP2.5	MP2.5
Alerta	1	2	1	4	26	34	16
Preemergencia	0	1	0	5	44	29	32
Emergencia	0	0	0	0	17	0	15
TOTALES	1	3	1	9	87	63	63
N° de filtros válidos	15	15	23	23	Monitoreo Continuo solo MP2,5		
Periodo de Monitoreo	11/08 al 25/09		9/06 al 27/09		9/05 al 31/12	1/01 al 31/12	1/01 al 24/10

Dado que ya existe evidencia de superación de norma, en ambas localidades, la SEREMI del Medio Ambiente se encuentra implementando un programa de recambio de calefactores con financiamiento FNDR, por otra parte, la SEREMI de Vivienda y Urbanismo, está aplicando los estándares del PDA (Planes de Descontaminación Atmosférica) Coyhaique para subsidios de aislación térmica en ambas ciudades.

En virtud de lo anteriormente expuesto, es necesario generar información relevante para la elaboración del Plan atmosférica para la ciudad de Puerto Aysén y su zona circundante y antecedentes para la localidad de Cochrane.

En este punto, es necesario hacer una aclaración respecto a algunos conceptos que tienen diferentes interpretaciones en la literatura. En el presente informe se entenderá por demanda, a la cantidad de energía útil que la vivienda requiere para calefacción. Consumo se entiende como la demanda dividida por la eficiencia del sistema de calefacción. Ambos conceptos anteriores pueden basarse tanto en cálculos teóricos como mediciones. El concepto de ahorro se aplica tanto a la demanda, consumo y gastos en energía y representan una reducción de estos valores respecto a una situación anterior o caso base.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Generar información relevante para la elaboración de los Planes de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Puerto Aysén y Cochrane.

2.2 Objetivos Específicos

Objetivo específico Nº1: Revisar información existente para la zona saturada de Puerto Aysén y la zona urbana de Cochrane.

Objetivo específico Nº2: Elaborar un inventario de emisiones actualizado y proyectado, considerando un horizonte de evaluación de 15 años, que contemple los contaminantes MP_{10}, $MP_{2.5}$, SO_x, NO_x y CO para zona saturada de Puerto Aysén y para la zona urbana de Cochrane.

Objetivo específico Nº3: Proponer y evaluar medidas necesarias para la disminución de emisiones, cuantificando la reducción de concentradores para $MP_{2.5}$, valorizando cada medida.

Objetivo específico Nª4: Presentación de los resultados del estudio.

3. ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES AL INFORME Nº3

El presente informe contendrá todas las actividades de los objetivos específicos Nº1 al Nº4:

3.1 Objetivo específico Nº1: Revisar información existente para la zona saturada de Puerto Aysén y la zona urbana de Cochrane:

i. Revisión bibliográfica de estudios, informes, estrategias de desarrollo regional, planes reguladores, planes de descontaminación vigentes para las ciudades del sur de Chile y cualquier otro documento que sea relevante como llamado de MINVU a los subsidios de aislación térmica, bases de postulación del programa de recambio de calefactores, entre otros.

ii. Sistematizar los resultados y principales conclusiones de la revisión bibliográfica solicitada en el punto precedente.

3.2 Objetivo específico Nº2: Elaborar un inventario de emisiones actualizado y proyectado, considerando un horizonte de evaluación de 15 años, que contemple los contaminantes MP_{10}, $MP_{2,5}$, SO_x, NO_x y CO para zona saturada de Puerto Aysén y para la zona urbana de Cochrane:

I. Revisión de las metodologías y factores de emisión que se utilizarán para la generación de los inventarios de emisiones, considerando las actualizaciones existentes en las guías metodológicas nacionales e internacionales, de preferencia las que se han utilizado como referencia para la elaboración de inventarios por parte del ministerio del Medio Ambiente, para estimar emisiones de al menos MP_{10}, $MP_{2.5}$, SOx, NOx y CO.
Será de responsabilidad del consultor proponer y justificar la mejor metodología en materia de cálculo de emisiones, así como también en el uso de los factores de emisión y niveles de actividad. Estos deberán ser aprobados por la contraparte técnica.

II. Desarrollar un inventario de emisiones, año base 2021, para toda el área de estudio, identificando además las potenciales nuevas fuentes, para los próximos 15 años. El inventario debe incluir a lo menos las siguientes fuentes:
    a. Fuentes fijas: Identificación y estimación de emisiones de fuentes fijas mediante la declaración del DS138 y bases de datos entregadas por la contraparte técnica. Se deberá entregar una base de datos que contenga, para cada contaminante al menos, id único de la fuente, nombre de la fuente, ubicación, comuna, región, potencia (en Kwh o Mwh), horas de funcionamiento, tipo combustible, sistema de abatimiento instalado (si

existiese) caudal, factor de emisión y su emisión- A su vez el consultor deberá incluir en el informe todos los supuestos para el cálculo de las emisiones.

b. Fuentes reales: Fuentes de combustión residencial de leña, fuentes reales de tipo comercial e incendios forestales.
   Para la estimación de la combustión residencial de leña y otras fuentes energéticas, se usara una metodologías de a consensuar con la contraparte, donde debiera considerar como mínimo información del número de viviendas, tipologías de viviendas en ambas zonas, demanda de calefacción, el tipo de leña y humedad, el parque de artefactos (calefactores y cocinas), factores de emisión asociados al tipo de leña utilizado, estándares y aislación térmica existente y otros que se determinen relevantes para el cálculo de las emisiones . Deberá calcular el Factor de Emisión Concentración para ambas localidades.

c. Fuentes móviles: La estimación de emisiones del parque vehicular de cada localidad, identificando el parque vehicular por año, tipo de combustible y tipología de vehículo- Las bases de datos generadas para la estimación de esta fuente, será solicitada como parte de los anexos.

III. Elaborar una proyección de emisiones para un horizonte de evaluación de 15 años. El consultor deberá presentar una propuesta metodológica para proyectar el inventario de emisiones, según medidas contempladas en la línea base, crecimiento poblacional, crecimiento del parque de viviendas, crecimiento económico, comportamiento de la población, crecimiento del parque vehicular, crecimiento industrial, normativas y regulaciones que tengan impacto sobre las emisiones (calidad de combustibles, tecnologías, normativas de emisión, etc.), esto para cada uno de los sectores del inventario.

IV. Se deberá presentar la memoria de cálculo de los inventarios de emisiones actual y proyectado, en planillas Excel, para cada fuente emisora, con todas las variables, parámetros, fórmulas de cálculo y referencias respectivas para los parámetros utilizados, a fin de contar con una planilla por cada área h actividad, tal que permita trabajar con ella, para un ajuste posterior, si es necesario por parte del Ministerio.

3.3 Objetivo específico Nº3: Evaluar y proponer medidas necesarias para la disminución de emisiones, cuantificando la reducción de concentraciones para $MP_{2.5}$, valorizando cada medida.

I. Analizar las medidas que se encuentren en el PDA de Coyhaique, Temuco- Padre las Casas, Valdivia y Osorno. Además, de sus costos de implementación y reducción de emisiones de cada medida.

II. Comparar distintos escenarios en cuanto a costo y efectividad, respecto de las intervenciones en vivienda y calefacción.

III. Analizar el parque de viviendas existentes en ambas zonas y caracterizarlos considerando al menos número de viviendas, tipología de vivienda, cantidad y ubicación.

IV. En caso de mejoramiento térmico, analizar la reducción de emisiones y los costos de mejoramiento térmico, además se debe considerar la calificación energética de viviendas para conocer el nivel de eficiencia energética, esto bajo 2 escenarios:
    a. Estándar PDA Coyhaique
    b. Estándar PDA Mejorado
V. Respecto a combustibles o energéticos, se solicita analizar alternativas de reemplazo a la leña, en el caso de energía eléctrica se solicita información de cortes de suministros. Además, se solicita comparar precios de combustibles a nivel nacional, regional y comunal.

3.4 Objetivo específico Nº4: Presentar los resultados del estudio.

I. Reuniones para presentar avances del estudio. El consultor deberá participar en al menos 1 reunión mensual con la contraparte técnica, y quien la contraparte técnica estime pertinente, donde se presenten los resultados parciales del estudio. Estas reuniones se podrán realizar mediante videoconferencia y siempre deberá estar presente el jefe de proyecto.
II. Presentación de los informes. El consultor deberá realizar una presentación de cada informe, a la contraparte técnica y a quién ésta estime pertinente invitar, una vez subsanadas todas las observaciones.

4. Resultados

4.1 Objetivo específico Nº1

4.1.1 Revisión bibliográfica.

La contraparte técnica facilitó 22 estudios relacionados a los temas de interés para esta consultoría realizados en el área de estudio o cercana a esta, considerando temas como:

- Biocombustibles
- Leña
- Recambio de Calefactores
- Salud Pública
- Viviendas
- Pobreza energética
- Calefacción Distrital
- Etc.

El resumen de estos estudios se encuentra en Anexo 1.

4.1.2 Sistematización de resultados y principales conclusiones.

Para realizar el análisis de los resultados y sus principales conclusiones, se comparará la información entregada por cada estudio que contenga información similar, por lo tanto, se hará una comparación por cada tema de interés, los cuales serán:

- Calidad del aire
- Eficiencia Energética
- Energía Distrital
- PDA
- Caracterización de viviendas
- Combustibles y 25 energéticos
- Salud.

Tabla 3. Comparación bibliográfica respecto a calidad del aire.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Calidad del aire
2013	Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique	Ministerio del Medio Ambiente	En este estudio se realiza un análisis sobre el consumo energético según tipología de viviendas en Coyhaique. Actualmente ya han sido declaradas "zona saturada por concentración de material particulado grueso (MP_{10})" las ciudades de Rancagua, Talca-Maule, Concepción, Temuco y Padre Las Casas, la zona circundante a Tocopilla, Coyhaique y su zona circundante, Osorno y el Valle Central de la VI Región. En el año 2012 entró en vigor la normativa para material particulado fino ($MP_{2,5}$), habiéndose declarado ya zona saturada, Osorno, Temuco y Padre Las Casas para este contaminante en diversas ciudades de Chile.
2014	Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena.	Subsecretaria del Medio Ambiente	Este estudio busca modelar los aportes de las ERNC a los procesos de descontaminación que permitan apoyar la toma de decisiones para descontaminar zonas saturadas de Chile. Donde se obtuvo la siguiente información: Para el caso del $MP_{2,5}$, se considera que 93,1% del MP_{10} emitido por combustión a leña corresponde a material particulado fino. (Instituto de Normalización, 2011). Para estufas a pellet, el factor de emisión es de aproximadamente 1,19 g $MP_{2,5}$/kg combustible, valor que corresponde al presentado en el estudio (OMNI Environmental Services Inc., 2005). Se observa que, en todas las ciudades de Chile con excepción de Concepción, las emisiones siguen una tendencia creciente hasta el año 2037, momento en que se estima se logra el confort térmico para las distintas ciudades, por lo que los consumos para calefacción por casa se estancan. En el caso de Concepción, dado que hay una tendencia a la baja con respecto a la construcción de casas (en beneficios de departamentos), se da la tendencia a la baja en las emisiones, situación que ocurre en la mayoría de las ciudades post 2037.
2018	Evaluación de los programas de Recambio Realizados en la zona saturada de Coyhaique.	Subsecretaria del Medio Ambiente	Este estudio busca cuantificar el impacto de los programas de recambio de calefactores en la zona saturada de Coyhaique, donde se habla sobre la ciudad de Coyhaique que se encuentra declarada zona saturada para material particulado MP_{10} y $MP_{2,5}$. De acuerdo con el inventario de emisiones del año 2009, el 94% de la contribución de emisiones de MP_{10} corresponde al sector residencial.

2018	Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: un estudio de series temporales.	FONIS	Este proyecto de investigación se enfocó en la cuantificación del efecto del factor RTC (recambio de tecnología de calefactores) en la relación existente entre morbilidad respiratoria y material particulado controlada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad. El 98% de las emisiones de MP_{10} en Coyhaique están asociadas al uso de leña, además, más de un 95% de las partículas serían del tipo $MP_{2,5}$, es decir, las que ingresan más profundamente al sistema respiratorio.
2020	The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke	Artículo	Este estudio busca evaluar la serie temporal de efectos a corto plazo de la exposición de $MP_{2,5}$ en las consultas de emergencias respiratorias en 6 ciudades del centro sur de Chile. La contaminación del aire ambiental es una crisis de salud global. El 91% de la población mundial está expuesta a partículas finas a niveles que superan los establecidos por la OMS. La contaminación ambiental urbana está creciendo debido al incremento de la motorización de la población urbana y al aumento de la combustión doméstica de combustibles sólidos. Estas emisiones generan impactos tanto a las poblaciones circundantes como para los usuarios y no usuarios de combustibles sólidos. En Chile, esto está en gran parte relacionado con el uso residencial de la leña. Varias ciudades del centro y sur de Chile han sido declaradas saturadas debido a la contaminación por partículas MP_{10} y $MP_{2,5}$ en el aire.
2022	Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique.	Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo.	Este estudio presenta una propuesta de mecanismo público-privado, para disminuir la contaminación atmosférica que afecta la salud y el medio ambiente de los habitantes de la ciudad de Coyhaique. La medición de GEC en la ciudad de Coyhaique, registró el año 2020 un total de 80 episodios críticos por mala calidad del aire, los cuales corresponden a 19 emergencias (>170 $\mu g/m^3$), 26 preemergencias (110169 $\mu g/m^3$) y 35 alertas (80109 $\mu g/m^3$). Esto indica que hubo una menor cantidad de episodios críticos respecto a años anteriores, es decir, una disminución del 37% de episodios críticos respecto al año 2016 (Ministerio del medio ambiente, 2020).
2022	Long-term airborne particle pollution	Artículo	En este estudio se realizó una evaluación de la contaminación del aire en Coyhaique, correspondiente a 7 años (2014-2020) de niveles de MP medidos en dos estaciones. Según

	assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile		MMA, la contaminación del aire le cuesta al sector de salud al menos 670 millones de dólares anuales, recibiendo 127000 visitas a las salas de emergencia y clínicas, contemplando más de 4000 muertes prematuras al año (MMA 2018). El 60% de la población en Chile que vive en áreas urbanas, está expuesta a altas concentraciones de $MP_{2,5}$. Además, el 25% de la energía primaria que se consume proviene de la biomasa, siendo esta la segunda fuente de energía más importante después del petróleo.

Tabla 4. Comparación bibliográfica respecto a eficiencia energética.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Eficiencia Energética
2013	Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio realizo un análisis energético de las viviendas de Coyhaique con el fin de identificar donde es más indicado aplicar medidas de aislamiento térmico. Si la vivienda cumpliese las exigencias mínimas para el aislamiento térmico según la reglamentación térmica (RT) de 2007, el ahorro medio sería del 22% (asumiendo el mismo consumo). Para el caso de viviendas que cumplen con lo establecido en la reglamentación térmica 2007, se proponen medidas de ahorro térmico, tales como ventanas de doble marcos, instalación de cortinas blackout, sellado de infiltraciones y aislamiento de tuberías y conducciones de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción. Con respecto a las exigencias vigentes RT de 2007, se propone para la modificación de esta normativa (prevista para el último trimestre del 2013) lo siguiente: -Se requiere un incremento significativo en el aislamiento térmico a agregar. -En ventanas: triple vidriado hermético y marco con corte de puente térmico. -Sellos y barreras de viento en estructuras de madera -Sistema de ventilación que asegure la calidad del aire al interior de la vivienda, idealmente un sistema de renovación del aire con recuperación de calor. -Considerar el uso de paneles fotovoltaicos con el fin de producir viviendas de consumo neto de energía nulo.
2015	Energía 2050, política energética de chile	Ministerio de Energía	Este estudio propone una visión del sector energético al 2050. Donde visualiza que la situación actual del país en materia de eficiencia energética requiere modificaciones. Con

			el fin de lograr mayores avances en esta materia, hace falta un marco jurídico adecuado que permita fomentar, en los distintos consumidores, el uso eficiente de la energía. De esta manera se podrá materializar el potencial de eficiencia energética. El objetivo de la política al 2035 es que el sector de grandes consumidores, minero, industrial y transporte haga uso eficiente de la energía, con activos sistemas de gestión energética y la implementación de activas mejoras de eficiencia energética. Una meta al 2050 será que las edificaciones nuevas tengan los más altos estándares internacionales sobre eficiencia energética en los distintos modos de transporte, contribuyendo así a los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
2015	Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la Región de Aysén.	Subsecretaría del Medio Ambiente Región de Aysén	Este estudio busco generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Con respecto a la eficiencia térmica del recambio, se obtiene que la Vivienda 3 ha alcanzado un porcentaje de mejora del 50,6% tras el recambio, es decir un consumo de la mitad de leña para obtener la misma diferencia de temperatura con el exterior. Por otra parte, las Viviendas 1 y 2 aumentaron su porcentaje de eficiencia en 13,6 y 6%, respectivamente.
2018	Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?	Red Pobreza Energética	Este documento propone un análisis de los programas implementados en Chile durante el año 2016 en el marco de la política pública. En lo referido a la dimensión de acceso, 35.900 chilenas/os declaran no disponer de suministro eléctrico, lo cual afecta el 8% de los hogares rurales del país y el 0,4% de sus contrapartes urbanas. Geográficamente, la falta de acceso a electricidad se distribuye de forma predominante en las regiones de La Araucanía (23%), del Bio Bio (13%) y Metropolitana (11%) (CASEN 2015). Se identifica la baja eficiencia de la envolvente térmica de las viviendas como el principal problema, el cual implica una alta demanda energética de las viviendas, en un uso intensivo de leña para calefacción y en un gasto excesivo en energía por estos hogares. A partir de esto, se propone reorientar la inversión pública hacia mejorar la eficiencia energética de las viviendas para reducir el consumo de leña, y así disminuir los niveles de contaminación

			atmosférica y el gasto en energía, manteniendo las condiciones de confort térmico. La baja eficiencia de la envolvente térmica, el bajo confort térmico y un gasto excesivo dedicado a energía determinan altos niveles de pobreza energética en las ciudades estudiadas, encontrándose en algunas ciudades del sur más de un 60% de la población en esta situación
2020	Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio tiene como objetivos estimar las demandas de energía de edificaciones en la ciudad de Cochrane, región de Aysén. Pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m^2 en viviendas y 294 kWh/m^2 en los edificios analizados, existe una tremenda oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de $MP_{2,5}$ en hasta un 60%. Respecto a los costos de esta medida, según referencia del SERVIU el costo de acondicionamiento térmico por unidad de superficie es alrededor de 230.000 \$/^{m2}.
2021	Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio tiene como objetivo la realización de mapas de calor en las localidades de Chile Chico, Puerto Chacabuco, Puerto Aysén y Puerto Cisnes. Para este estudio se seleccionaron viviendas representativas. Para el caso de los edificios, que por cierto tienen un consumo energético mayor, fueron seleccionados 11 edificios, los cuales, a través de la planimetría y especificaciones técnicas, fueron simulados dinámicamente, calculando de esa manera su demanda térmica. Además, se simuló el consumo energético de las viviendas y edificios, para el caso de que estos fueran aislados térmicamente bajo los criterios que exige el PDA de Coyhaique. Con los resultados obtenidos, destaca el alto potencial de EE que poseen las viviendas y edificios públicos en la región de Aysén. Para el caso de las viviendas, el potencial de EE en las viviendas construidas previo al año 2007, varía entre un 40,9% y 86,1%, destacando que 11 de las 15 viviendas estudiadas, poseen un potencial de eficiencia energética sobre un 70%. Para el caso de los edificios, destaca un potencial de EE, agregado, de un 50%, cuyos valores fluctúan entre un 37% y un 65%.

			Se puede apreciar que para las viviendas año pre-2000, todas, al ser aisladas térmicamente, pueden ahorrar entre un 70% y 86,1% de la energía térmica utilizada en calefacción. Las viviendas construidas entre el año 2000 y 2007, el potencial de eficiencia energética varía entre 40,9% y un 74,4%, pero la totalidad de las viviendas de madera supera el 58,1%. Por último, las viviendas construidas post 2007, el ahorro energético simulado varía entre un 25,7% y un 38,1%.
2022	Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique.	Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo.	Este estudio presenta una propuesta de mecanismo público-privado, para disminuir la contaminación atmosférica que afecta la salud y el medio ambiente de los habitantes de la ciudad de Coyhaique. Una de las maneras de disminuir la demanda energética, es mejorar la eficiencia energética, es decir, calefaccionar más usando menos. Como, por ejemplo, un recambio de estufas eficientes junto con el mejoramiento de la aislación térmica. Actualmente, se encuentra vigente la Ley de eficiencia energética, donde el Ministerio de Energía (2020), tiene la responsabilidad de generar planes de acción para aumentar la eficiencia energética del país. Una de sus acciones consiste en mejorar la calidad energética de la envolvente y del equipamiento de edificaciones construidas sin estándares de eficiencia energética. Finalmente, un recambio de estufas eficientes junto al mejoramiento de la aislación térmica, que cumple con la norma térmica implementada en Chile el año 2007, puede reducir un 37% el consumo de leña, por otro lado, si cumple con el reacondicionamiento térmico estándar europeo, puede reducir hasta un 77% su consumo, todo esto debido a que una mala eficiencia térmica en las viviendas genera un excesivo consumo de leña.

Tabla 5. Comparación bibliográfica respecto a energía distrital.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Energía Distrital
2014	Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena.	Subsecretaria del Medio Ambiente	Este estudio busca modelar los aportes de las ERNC a los procesos de descontaminación que permitan apoyar la toma de decisiones para descontaminar zonas saturadas de Chile. En el caso del escenario de calefacción distrital, para las ciudades analizadas (ciudades centro-sur de Chile establecidas como zonas saturadas) se estima un costo de inversión entre 1 y 7 millones de dólares en todo el período, VPN entre 2 y 15 millones de dólares y reducciones de $MP_{2,5}$ entre 20 y 1.000 toneladas promedio anuales con respecto al escenario RT.
2020	Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio tiene como objetivos estimar las demandas de energía de edificaciones en la ciudad de Cochrane, región de Aysén. Resultados de la evaluación de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane: Pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m^2 en viviendas y 294 kWh/m^2 en los edificios analizados, existe una tremenda oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de $MP_{2,5}$ en hasta un 60%. Respecto a los costos de esta medida, según referencia del SERVIU el costo de acondicionamiento térmico por unidad de superficie es alrededor de 230.000 $\$/m^2$.

2021	Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio tiene como objetivo la realización de mapas de calor en las localidades de Chile Chico, Puerto Chacabuco, Puerto Aysén y Puerto Cisnes. Aplicando el criterio presentado en el Manual de Desarrollo de Proyectos de Energía Distrital, donde señala que de acuerdo la experiencia internacional, una densidad de demanda energética alrededor de los 70 (kWh/añom^2) presenta condiciones favorables para la conexión a una red distrital, por tanto, se concluye que solo para la localidad de Puerto Aysén es recomendable avanzar en estudios de prefactibilidad de sistemas de calefacción distrital. Puerto Aysén se presenta como la opción más atractiva para continuar con la investigación de un proyecto de Energía Distrital, ya que, además de poseer áreas con densidades de demanda energética que hacen presumir la idoneidad de proyectos de calefacción distrital, a diferencia de las demás localidades, posee una gran cantidad de potenciales edificios anclas tales como; edificios de administración pública, escuelas, hospitales y áreas comerciales, lo que pudiese entregar una gran flexibilidad de opciones y posibilidades de expansión.

Tabla 6. Comparación bibliográfica respecto a PDA.

Año	Nombre del estudio	Mandante	PDA
2018	Evaluación de los programas de Recambio Realizados en la zona saturada de Coyhaique.	Subsecretaria del Medio Ambiente	Este estudio busca cuantificar el impacto de los programas de recambio de calefactores en la zona saturada de Coyhaique. Se considera relevante mencionar que, si bien el PDA cuenta con 10 medidas para la disminución de la contaminación, una de estas medidas es el recambio de 10.000 calefactores a leña, pero dos de ellas corresponden a subsidios de entrega de leña a familias. Al analizarlo, pareciera que se contraponen los objetivos, ya que los subsidios de entrega de leña corresponden a un incentivo para la mantención de dicho combustible.

2018	Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, chile: un estudio de series temporales	FONIS	Este estudio se enfocó en la cuantificación del efecto del factor RTC (recambio de tecnología de calefactores) en la relación existente entre morbilidad respiratoria y material particulado controlada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad. Se están aplicando estrategias de gestión ambiental (EGAs) que incluyen medidas especificadas en el PDA de Coyhaique. Una de las principales medidas es el programa masivo de recambio de tecnología de calefactores (RTC) en las viviendas que usan leña como combustible. Básicamente, el objetivo es disminuir el material particulado atmosférico y, en consecuencia, la protección de la salud de la población. Es importante mencionar, que las especificaciones de emisión de los RTC (recambio de tecnología de calefactores) fueron exigidas por primera vez a los fabricantes de tecnología de calefacción durante licitación pública el año 2015.
2019	Estudio para el Diseño de Viviendas Sociales de Baja o Nula Demanda Térmica	Ministerio del Medio Ambiente	El objetivo del estudio es definir criterios de diseño arquitectónicos y estándares de desempeño para viviendas sociales de baja o nula demanda térmica para zonas declaradas saturadas que cuenten con PDA. Debido a que la contaminación atmosférica constituye una amenaza crítica que afecta a la población chilena, se han definido e implementado políticas y medidas para hacer frente a este problema. Es por eso que en el año 2014 se establece la Estrategia de descontaminación de Chile 2014-2018 en los que el país se comprometa a establecer PDAs que presenten medidas que reduzcan las emisiones de MP en zonas declaradas saturadas y, además, a tomar medidas de mitigación a corto plazo en zonas que si bien no cuentan con plan de descontaminación tengan altas concentraciones de MP. En Chile existe el sistema de evaluación energética de viviendas (CEV), que permite determinar el comportamiento energético de una vivienda. Este se ha desarrollado para que potenciales compradores de viviendas puedan hacer comparaciones entre estas antes de elegir. Esta calificación se basa en el desempeño que ofrece una vivienda que cumple con los estándares mínimos de la ordenanza general de urbanismo y construcciones (Art. 4.1.10)

2020	Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética	Red Pobreza Energética	Este estudio tiene como objetivo caracterizar el mercado de la leña en Chile. El caso de la ciudad de Temuco es emblemático en ese sentido. Esta ciudad fue acreedora del primer PDA por MP_{10} del país en el año 2010, recibiendo luego un segundo plan para $MP_{2,5}$ el año 2015. Sin embargo, los niveles de contaminación aún siguen siendo peligrosamente altos. Los episodios de emergencia han persistido, tanto en Temuco como en otras ciudades con PDA, donde no se observa una trayectoria decreciente clara en el número de episodios anuales.
2020	Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile	Artículo	El presente artículo realizó un estudio ecológico (ciudad de Coyhaique) de series de tiempo que usa datos recopilados de concentración atmosférica $MP_{2,5}$ y admisiones hospitalarias asociadas a urgencias respiratorias en dos periodos de tiempo, con y sin RTC (recambio de tecnología de calefactores). La condición de ciudad saturada, sumada al creciente uso de leña, obligó a formular un plan de descontaminación atmosférica (PDA) en el 2014 por parte de las autoridades medioambientales, cuyo objetivo principal es reducir las emisiones de material particulado y cumplir con las normas de calidad ambiental para partículas en un plazo de 10 años, mediante la implementación de estrategias de gestión ambiental (EGAs). Finalmente, el propósito último del PDA es proteger y cuidar la salud de la población. El reemplazo de calefactores antiguos a leña, el aislamiento térmico de las viviendas, el uso de leña certificada y la educación ambiental, constituyen una de las EGAs (estrategias de gestión ambiental) más relevantes.

2021	Proyecto mejoramiento 14 viviendas mediante convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Coyhaique.	Convenio de Colaboración Técnica y Transferencia de Recursos D.S. N° 87 entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda firmado el año 2018	El presente informe da muestra del avance físico del proyecto originado a partir del convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos DS N°87. Su fin principal es recopilar los antecedentes para la implementación del programa de intervención en viviendas ubicadas en la comuna de Coyhaique. Siendo un antecedente para el diseño de un programa definitivo para las viviendas existentes en zonas saturadas.
2022	Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile	Artículo	En este estudio se realizó una evaluación de la contaminación del aire en Coyhaique. Para un plan de gestión de la contaminación, no debe considerarse solo los aspectos ambientales. Es importante considerar también factores socio ambientales, tales como: - Viviendas con alta demanda energética por la precariedad de la construcción y aislamiento térmico. - Bajo precio de la leña en comparación a otros combustibles. - Fácil acceso y disponibilidad local de leña - Hábitos culturales y tradicionales. Se ha estimado una disminución en las concentraciones de $MP_{2,5}$ y MP_{10} entre 2014 y 2020 que puede deberse a programas gubernamentales que señalaron a la ciudad como una zona de incumplimiento y crearon un Plan de Gestión de la Calidad del Aire Urbano e iniciaron esquemas de reemplazo de estufas y esquemas para vender madera de mejor calidad entre otras iniciativas. A pesar de estas disminuciones estadísticamente significativas en los niveles de contaminación por partículas en Coyhaique, la concentración másica promedio anual de $MP_{2,5}$ y MP_{10} en Coyhaique superó con creces los umbrales establecidos por la OMS y el CAQS.

Tabla 7. Comparación bibliográfica respecto a caracterización de vivienda.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Caracterización de Viviendas
2013	Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio realizo un análisis energético de las viviendas de Coyhaique, donde se ha observado que según agrupación de vivienda (casa aislada, casa pareada y casa fila), las viviendas con más consumo energético son las viviendas aisladas de 1 y 2 pisos, en contraparte con las viviendas en fila, las cuales son las que menos consumen. Además, el grupo socioeconómico que más consume es el ABC1, mientras que el de menos es el C3.
2015	Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la Región de Aysén.	Subsecretaría del Medio Ambiente Región de Aysén	El objetivo general del estudio fue generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Los resultados obtenidos, luego de realizada la caracterización térmica general de cada casa, son que las Viviendas 1 y 3 cuentan con una adecuada aislación térmica en sus muros, existiendo algunos puentes térmicos en las uniones del siding exterior debido a que éstas no son herméticas y, por ende, puede pasar aire a través de ellas. En estas dos viviendas se encontró que el piso no cuenta con aislación, presentándose flujos de energía hacia el exterior. Por su parte, la Vivienda 2 no cuenta con una adecuada aislación térmica, siendo ésta la con menor calidad constructiva entre las tres.
2018	Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?	Red Pobreza Energética	Este estudio propone un análisis de los programas implementados en Chile durante el año 2016 en el marco de la política pública. Respecto a la calidad de las viviendas, debe considerarse en primer lugar que a partir de los datos disponibles a nivel nacional no es posible caracterizar de forma precisa la calidad de la aislación térmica de las viviendas: si bien existen datos respecto a materialidad de muros, pisos y techos de los hogares, esto no es suficiente para derivar conclusiones respecto de la aislación térmica o posibles filtraciones. De todas formas, es importante destacar que en los hogares liderados por mujeres se observa una mayor frecuencia de malas condiciones de conservación, implicando una posible brecha de género que será necesario explorar con mayor profundidad (CASEN 2015). Por otra parte, se reconoce la existencia de un problema

			asociado a la deficiente aislación térmica de las viviendas existentes, que el MINVU dimensiona como superior a los 3,6 millones de viviendas en todo el país (MINVU, 2007).
2021	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	Ministerio de agricultura	Este estudio recopilo información el consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén a partir de encuestas aplicadas en 2021. Con respecto a las viviendas, en la ciudad de Coyhaique el 58% fueron construidas antes del año 2000, lo que aumentó al 65% en Puerto Aysén y al 62% en ciudades pequeñas. En áreas rurales, el 55% son anteriores al año 2000. El tamaño de las viviendas varió enormemente, desde 15 a 510 m^2 (promedio 73 m^2 y desviación estándar de 48 m^2). En Coyhaique promediaron 74 m^2 y en Puerto Aysén 65 m^2. La mayor parte de las viviendas tienen menos de 100 m^2. Puerto Aysén mostró una mayor proporción de viviendas con menos de 50 metros cuadrados.
2022	Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique.	Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo.	Este estudio presenta una propuesta de mecanismo público-privado, para disminuir la contaminación atmosférica que afecta la salud y el medio ambiente de los habitantes de la ciudad de Coyhaique. En el estudio de Amigo las causas de la contaminación atmosférica de Coyhaique la atribuyen a principalmente a que el 69,1% de los hogares fueron construidos antes del 2000, año en que se comenzaron a implementar medidas de mejora térmica, lo que implica que la mayoría de las viviendas tienen malas condiciones térmicas. El 56% de la población de la región de Aysén, se encuentra establecido en la ciudad de Coyhaique, la cual tiene una población de 57.818 habitantes y 23.990 viviendas (2019), presenta un clima templado húmedo intermedio, con temperaturas mínimas durante todo el año menor a 5°C, llegando a 10°C entre los meses de mayo y agosto.

Tabla 8. Comparación bibliográfica respecto a combustibles, energéticos y ERNC.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Combustibles, energéticos y ERNC

2013	Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio realizo un análisis energético de las viviendas de Coyhaique. El 91% de la energía consumida, proviene de la madera, en particular de la especie leña. Además, a partir de las ventas anuales de leñeras certificadas, se ha llegado a la conclusión de que el 70% de las leñeras son no certificadas. Se concluye que la única sustitución recomendable es la de cambio de estufa convencional por estufa que cumpla la actual normativa de emisiones DS Nº39 del MMA.
2014	Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena.	Subsecretaria del Medio Ambiente	Este estudio busca modelar los aportes de las ERNC a los procesos de descontaminación que permitan apoyar la toma de decisiones para descontaminar zonas saturadas de Chile. En términos generales, en el caso de la tecnología solar, dada la posibilidad de utilización del recurso como opción de calefacción directa (no a través de la generación de electricidad), la opción Solar Térmico a través de agua es la más conveniente hasta la X Región, donde se logran valores sobre los 6.000 kWh por vivienda. Para los recursos eólicos, las tecnologías parecen ser convenientes en las ciudades de San Fernando y Coyhaique. En el caso de la geotermia, la de alta entalpia quedó descartada en todas las ciudades dada la lejanía de los puntos geotérmicos identificados. Las pérdidas que se producen en la transmisión del calor hacen infactible su uso. Para la geotermia de baja entalpía, ella ha sido identificada como una tecnología viable dado su alto potencial energético, superior a los 10.000 kWh en todas las ciudades analizadas. Para la biomasa (leña) se puede apreciar que se dispone de recursos de interés en la ciudad de San Fernando y en las ciudades de Osorno, Puerto Montt y Coyhaique. Dado el bajo desarrollo de la industria de los pellets de madera, esta no es un recurso de gran disponibilidad en las ciudades estudiadas (y en general en todo el país), a pesar de que se espera un impulso importante de las tecnologías asociadas. Por último, en el caso del calor residual, este se encuentra disponible fundamentalmente en zonas urbanas, pero más asociado a las grandes ciudades, lo que en este caso hace relevar a Concepción, con más de 17.000 KWh por vivienda.

			Con respecto al tamaño y cantidad de equipos de tecnologías ERNC, es importante considerar lo siguiente: - El fomento a las ERNC puede llevarse a cabo mediante la aplicación de programas de recambio de equipos e incentivos en el precio de estos. - En el caso de los equipos a pellets, el fomento a su instalación requiere el desarrollo del mercado, pues en la actualidad no existe una oferta suficiente que sea capaz de cubrir la demanda asociada a la instalación masiva de estufas en el futuro. En este caso también se requiere de información que permita definir un modelo de negocios para la producción y distribución de pellets a nivel local.
2015	Energía 2050, política energética de chile	Ministerio de Energía	Este estudio propone una visión del sector energético al 2050. En el caso de Chile, los principales energéticos primarios, después del petróleo (32,9%), corresponden al carbón (24,4%) y a leña y biomasa (23,7%), siendo esta última preeminencia una característica particular del país, junto con una participación de la hidroelectricidad (6,4%) en la matriz mayor que en otros países. Es destacable que un 95% del petróleo es importado, mientras la biomasa es el principal energético local. El sector que comprende la industria y la minería fue el mayor consumidor de energía al año 2014, con, aproximadamente, un 40% del consumo final del país. En términos totales, los tres energéticos que tuvieron mayor participación en el consumo final fueron: derivados del petróleo (56%), electricidad (22%) y leña y biomasa (15%). -En los años ochenta, la participación hidroeléctrica en la generación total de energía alcanzó el 80%. Sin embargo, en el último quinquenio, la participación promedio de la generación hidroeléctrica fue del 32%, a pesar del significativo potencial existente. En los últimos años se ha producido un gran crecimiento de las energías renovables no convencionales (ERNC). Al año 2005 existían 286 MW de capacidad ERNC instalados, mientras que al septiembre del 2015 se ha alcanzado un total de 2.135 MW, pasando a constituir un 11,43% de la generación eléctrica del país en el mes de octubre del 2015.
2015	Medición del consumo nacional de leña y otros	Ministerio de Energía	El objetivo general del presente estudio es diseñar e implementar una encuesta nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera con representatividad en los cinco sectores, que permita determinar el consumo de estos combustibles en Chile. En

	combustibles sólidos derivados de la madera.		términos de resultados, el sector residencial es responsable del 98,47% del consumo total anual de leña de todos los sectores aquí levantados, siguiendo en importancia el sector PYME no generación con un 0,65%, el sector establecimientos de uso público con un 0,60%, el sector Hoteles y Restaurantes con un 0,25% y finalmente el sector comercial con un 0,03%. En el sector residencial, la leña está presente en 1.721.032 hogares, con un nivel de penetración de un 33,2% a nivel nacional, respecto al total de viviendas. La penetración va en aumento hacia el sur, hasta llegar a la XI región, donde casi la totalidad de las viviendas declaran consumir leña. En las zonas urbanas, la penetración nacional llega a un 26,9% en cambio en las zonas rurales, ésta llega a un 79,5% de los hogares. El consumo nacional anual de leña se estima en 11.770.675 m^3 estéreos (en adelante m^3 st.), siendo la X región la que presenta el mayor consumo (3,1 MMm^3 st./año), seguida de la VIII región (2,3 MMm^3 st./año), y de la IX región (2,0 MMm^3 st/año). En términos de consumo promedio por hogar, a nivel nacional el consumo promedio se estima en 6,8 m^3 st/año, siendo la XII región la que presenta el mayor consumo (18,3 m^3 st/año) seguida de la XI (17,5 m^3 st/año), y la XIV región (14,1 m^3 st/año). Si los volúmenes consumidos se traducen a unidades energéticas, el consumo promedio por hogar se estima entre 10.177 kWh/año y 12.890 kWh/año y a nivel total, el consumo se estima entre 17.515 y 22.184 GWh/año A nivel nacional, la leña constituye el principal combustible para calefacción, siendo usado en el 42,9% de las casas que declaran usar calefacción. En segundo lugar, se encuentra el GLP, el cual es usado en un 42,6% de las casas con calefacción y finalmente la parafina en un 24,7%2 de las viviendas tipología casa. En el sector residencial, la leña está presente en 1.721.032 hogares, con un nivel de penetración de un 33,2% a nivel nacional

2015	Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y energético dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la Región de Aysén.	Subsecretaría del Medio Ambiente Región de Aysén	El objetivo general del estudio fue generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. En cuanto al análisis económico, el modelo desarrollado indica que el estatus del calefactor tiene dos efectos: 1. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 1,34 [kg/día] de leña adicional al calefactor nuevo (o bien, el calefactor nuevo ahorra 1,34 [kg/día] de leña). 2. El calefactor antiguo requiere (en promedio) 0,48 [kg/día] de leña para aumentar la temperatura interior en 1 grado Celsius adicional al calefactor nuevo. Además, el ahorro total, considerando el registro de temperatura de 2015, para una casa promedio es de casi 2.000 kilos de leña al año, o sea representa un 30% de ahorro.
2018	Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?	Red Pobreza Energética	Este documento propone un análisis de los programas implementados en Chile durante el año 2016 en el marco de la política pública. Chile presenta una matriz de calefacción diferenciada de acuerdo con las características de cada zona climática, donde destaca el uso de leña para calefacción fuertemente concentrado en el sur del país, alcanzando niveles superiores al 90% en la Región de Aysén. Esto es importante considerando que su uso se relaciona con la contaminación del aire, problema que es reconocido como algo que afecta directamente a la población por un 33% de los encuestados en la ENMA (2016), y donde en ciudades del interior de la zona centro y sur (Talca, Temuco y Coyhaique) más del 50% de su población encuestada lo señala como el principal problema ambiental. Pese a esto, de acuerdo con ENE 2015, un 55% de los encuestados declara no estar dispuesto a cambiar el tipo de leña que actualmente utiliza por una de mejor calidad. Las principales razones para elección del combustible son la costumbre (28,6%) y el precio (23,5%), siendo la leña el combustible más utilizado por la primera razón (46,5%). El gasto promedio mensual en calefacción de los hogares chilenos ronda los $40.000 pesos mensuales, lo que representa un 14,8% del actual sueldo mínimo de $270.000 pesos (VII EPF, 2013). En este sentido, es necesario evaluar la posibilidad de que el menor gasto energético que los hogares más pobres presentan se relacione con una satisfacción insuficiente de las necesidades fundamentales y básicas de sus integrantes.

2018	Evaluación de los programas de Recambio Realizados en la zona saturada de Coyhaique.	Subsecretaría del medio ambiente	Este estudio busca cuantificar el impacto de los programas de recambio de calefactores en la zona saturada de Coyhaique. La encuesta CASEN, indica que, con respecto a la comuna de Coyhaique, se entrevistó a un total de 515 hogares, que corresponden a 1554 personas residentes encuestadas, donde el 85% reside en una zona urbana. El 23% de la población de la comuna utiliza habitualmente leña o sus derivados para cocinar, mientras que el 76% utiliza gas (licuado o de cañería). Se publica en marzo de 2016, el Decreto 46, el cual establece el plan de descontaminación atmosférica para Coyhaique y su zona circundante para MP_{10}. El cual contempla el programa voluntario de recambio de calefactores a leña. Este recambio será de al menos 10mil calefactores y/o cocinas a leña, en 10 años. De los cuales, al menos 5 mil recambios serán por sistemas con combustibles diferentes a la leña. El objetivo del PRC es la reducción de las emisiones atmosféricas y del tipo intradomiciliarias. En base a una estrategia que busca promover una calefacción sustentable, considerando la economía local en torno a la leña, el arraigo cultural en el uso de la calefacción tradicional y el problema social relacionado a los costos de calefacción. En el año 2015 se aprobaron fondos del gobierno regional para un recambio masivo en Coyhaique. Actualmente dicho programa se encuentra en plena implementación. La cantidad de artefactos que fueron cambiados por cada una de las líneas de calefactores (por ejemplo, en el 2016, 3 salamandras fueron recambiadas por equipos a pellet).
2020	Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane	Ministerio del Medio Ambiente	Este estudio tiene como objetivos estimar las demandas de energía de edificaciones en la ciudad de Cochrane, región de Aysén. Un bajo precio de la leña, promediando los 22.707 $\$/m^3$ en el mercado informal, en contraste con el precio de 41.000 $\$/m^3$ en el mercado formal. Por lo que una posible medida a tomar para aumentar los ahorros operativos netos del proyecto es regular el mercado informal de leña, al menos a nivel regional.
2020	Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la	Red Pobreza Energética	Este estudio tiene como objetivo caracterizar el mercado de la leña en Chile. Respecto a la penetración de la leña en los hogares (FP), se observa que esta crece en la zona sur, alcanzando desde Los Ríos hasta Aysén más del 90% de los hogares. Las diferencias en la penetración se deben a diferencias en el sector urbano, ya que en los sectores rurales de

	transición energética		todo el país se consume leña independiente de la latitud. El trabajo de CDT (2015a) señala a este respecto que el uso de leña en sectores rurales es mayor, alcanzando un 80% de los hogares, mientras que en los sectores urbanos de todo el país alcanza solo un 30%. Como se puede ver el uso de la leña para calefacción está especialmente extendido en la zona centro sur, en tanto para la cocción es relevante sólo para las regiones entre La Araucanía y Aysén, donde alrededor de un tercio de los hogares utilizan leña con este fin. En lo que respecta al ACS, se utiliza bastante menos la leña que en los casos de cocción y calefacción, aunque desde la Araucanía al sur supera el 10% de hogares. En efecto, en la década anterior menos de un 30% de la leña se consumía en estufas de cámara doble en las regiones con mayor consumo de leña. En cambio, en ellas predominan los artefactos de "mediana eficiencia" como la cocina a leña, salamandra y cámara simple. Actualmente se puede apreciar una transición importante de estos artefactos hacia las estufas de cámara doble, si bien las regiones de Los Lagos, Los Ríos y Aysén aún presentan importantes desafíos para transitar a artefactos más eficientes, principalmente por la amplia presencia de cocinas a leña en estos territorios. Cabe destacar que, para todas las regiones, cuando se consulta sobre cuáles son las exigencias a la hora de comprar leña, una de las primeras opciones mencionadas es que sea leña seca, lo que se condice con la gran proporción de hogares que mantienen la leña bajo techo. Acorde con la CDT (2015a), 80% de los hogares realizan esta práctica.
2020	Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile	Artículo	El presente artículo realizó un estudio ecológico (ciudad de Coyhaique) de series de tiempo que usa datos recopilados de concentración atmosférica $MP_{2,5}$ y admisiones hospitalarias asociadas a urgencias respiratorias en dos periodos de tiempo, con y sin RTC. El reemplazo implica un recambio tecnológico de los calefactores (RTC) por otros más modernos y eficientes que usen leña, pellet o keroseno como fuente de energía. Un estudio conducido en Libby (localidad rural de Montana, EEUU), con características geográficas y meteorológicas parecidas a la ciudad de Coyhaique, reportó desde el 2005 al 2009, el efecto de recambio de 1100 calefactores a leña. Reportó una disminución del 27,6% en los niveles invernales de $MP_{2,5}$ y en las infecciones respiratorias en los niños durante el periodo de recambio.

2021	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	Ministerio de agricultura	Este estudio recopilo información el consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén a partir de encuestas aplicadas en 2021. En la ciudad de Coyhaique, el uso predominante de la leña fue calefacción, aunque aún un 30% de las familias la utilizan también para cocinar. En Puerto Aysén, el porcentaje de viviendas que cocinan con leña es mayor, llegando al 48%, y en ciudades pequeñas al 54%. Por otra parte, el 27% de las viviendas de la ciudad de Coyhaique consumió pellet para calefacción. En Puerto Aysén este valor llegó al 10%, y en ciudades pequeñas al 2%. En total, el consumo de pellet en dicha ciudad llegó a 14.910 toneladas/año. En Puerto Aysén, el consumo promedio de pellet por vivienda fue de 3.262 kilos/ año, con un error del 17%. Esto implicó un consumo total de 2.115 toneladas/ año. En la región del Aysén, el 95% de la leña que se consume en el sector residencial urbano se compra y el 5% se recolecta u obtiene de regalo. El gasto en leña realizado en este sector fue de 18.467 millones de pesos en 2020 (23 millones de dólares), mientras que la leña que se recolectó u obtuvo de regalo evitó un gasto de 976 millones de pesos (1,2 millones de dólares). El precio promedio de la leña en la ciudad de Coyhaique fue de $31.446 por m^3 estéreo, mientras que en Puerto Aysén fue de $42.352. Con respecto al abastecimiento de leña, en la ciudad de Coyhaique éste tiende a concentrarse en los meses de verano. De hecho, más del 80% de las familias que consumen leña se abastecen entre diciembre y marzo, y menos del 20% durante el resto del año En Coyhaique, el 36% de las personas que estaba dispuesta a reemplazar la leña lo haría por electricidad y el 29% por pellet, y en Puerto Aysén el 46% por pellet, el 17% por electricidad y el 17% por kerosene. En ciudades pequeñas, el 31% de las personas la reemplazarían por electricidad, el 30% por pellet y el 17% por energía solar La leña es la fuente de energía más importante en la región, siendo utilizada por el 82% de las viviendas urbanas y el 99% de las viviendas rurales.

2022	Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique	Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo.	Este estudio presenta una propuesta de mecanismo público-privado, para disminuir la contaminación atmosférica que afecta la salud y el medio ambiente de los habitantes de la ciudad de Coyhaique. Como resultado en Coyhaique, se visualiza que un 77% de las familias de las viviendas sociales sustentables priorizan la utilización del sistema eléctrico como calefacción (Satisfechos, 45% Insatisfecho) y un 23% no utiliza calefacción eléctrica. De las viviendas seleccionadas aleatoriamente en la ciudad de Coyhaique, un 70% utiliza calefacción a leña, un 30% le dio la oportunidad a un energético diferente y solo un 13% dejó completamente la combustión a leña. Los resultados obtenidos, identifican como variables relevantes para generar una propuesta: 1. Revestimiento térmico, 2. Inversión de equipo eléctrico, 3. Descuento e n la tarifa eléctrica, Capacitación para uso del equipo y eficiencia energética. El estudio de investigación concluye que, un recambio de estufas eficientes junto al mejoramiento de la aislación térmica, que cumple con la norma térmica implementada en Chile el año 2007, puede reducir un 37% el consumo de leña, por otro lado, si cumple con el reacondicionamiento térmico estándar europeo, puede reducir hasta un 77% su consumo, todo esto debido a que una mala eficiencia térmica en las viviendas genera un excesivo consumo de leña.
2022	Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile	Artículo	En este estudio se realizó una evaluación de la contaminación del aire en Coyhaique. El 25% de la energía primaria que se consume proviene de la biomasa, segunda fuente de energía más importante después del petróleo. El uso residencial, es responsable del 20% del consumo de energía nacional. En ciudades del sur de Chile, más del 80% de hogares usan leña para calefacción

Tabla 9. Comparación bibliográfica respecto a salud.

Año	Nombre del estudio	Mandante	Salud
2018	Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: Un estudio de series temporales.	FONIS	Este estudio se enfocó en la cuantificación del efecto del factor RTC en la relación existente entre morbilidad respiratoria y material particulado controlada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad. Se sabe que se están aplicando estrategias de gestión ambiental (EGAs) que incluyen medidas especificadas en el PDA de Coyhaique. El efecto del programa masivo de recambio de tecnología de calefactores (RTC) disminuyó en 15% el riesgo de urgencias respiratorias en el año 2016. Además, en comparación con el año 2014, la reducción en el año 2016 fue de casi 50%. Sin embargo, este efecto solo es aplicable a valores de punto de rocío mayor a 4°C, ya que a niveles inferiores (congelamiento), el riesgo se modifica y aumenta exponencialmente. Provocando un aumento de la morbilidad respiratoria, principalmente de etiología viral (VRS e influenza) en el grupo etario de entre 5 y 14 años. Si bien existe una disminución en la incidencia de urgencias respiratorias debido al recambio de calefactores, el riesgo en salud por incrementos bruscos de $MP_{2,5}$ y caídas rápidas de temperatura y humedad tendería a mantenerse e incrementarse por efecto de las anomalías climáticas observadas, ya que por su localización geográfica (45°C), la atmósfera es altamente sensible.

2020	Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile	Artículo	El presente artículo realizó un estudio ecológico (ciudad de Coyhaique) de series de tiempo que usa datos recopilados de concentración atmosférica $MP_{2,5}$ y admisiones hospitalarias asociadas a urgencias respiratorias en dos periodos de tiempo, con y sin RTC (recambio de tecnología de calefactores). El 99% de las partículas emitidas serían finas ($MP_{2,5}$), las cuales son consideradas muy dañinas para la salud. La causa "urgencias respiratorias" en el hospital regional de Coyhaique durante los años 2009 y 2014, contribuye con el 65% de las consultas en la población, siendo el 61% en menores de 15 años.
2020	The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke	Artículo	El objetivo del estudio es evaluar en serie temporal los efectos a corto plazo de la exposición a $MP_{2,5}$ en las consultas de emergencia respiratoria en seis ciudades del centro sur de Chile altamente contaminadas por humo de leña. Se concluye que la inhalación de productos de combustión provenientes de la madera tiene un efecto significativo sobre la homeostasis pulmonar en la exacerbación de los procesos de enfermedad en curso. El humo de la madera interfiere con el desarrollo normal de los pulmones de bebés y niños, aumentando el riesgo de infecciones de las vías respiratorias inferiores, como bronquitis y neumonía. Además, la exposición al humo puede deprimir el sistema inmunológico y dañar el tejido epitelial del pulmón, el cual está encargado de proteger y limpiar las vías respiratorias. Describiéndose una frecuencia más alta de tos, dolores de cabeza e irritaciones de ojos y garganta en personas sanas. El humo de leña es particularmente nocivo en poblaciones vulnerables con asma, enfermedades respiratorias crónicas y enfermedades cardiovasculares. Incluso las exposiciones cortas pueden ser muy dañinas. Además, la exposición a leña puede provocar un aumento en el riesgo cardiovascular, provocando ataques cardíacos y arritmias. Sin menor importancia, las personas cardiopáticas pueden experimentar dolor, palpitaciones, dificultad para respirar, fatiga y accidentes cardiovasculares.

4.1.3 Discusión y Conclusiones

4.1.3.1 Calidad del aire

En el estudio “Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique” del año 2013 se realiza un análisis sobre el consumo energético según tipología de vivienda en Coyhaique ya que para esa fecha han sido declaradas “zona saturada por concentración de material particulado grueso (MP_{10})” las ciudades de Rancagua, Talca-Maule, Concepción, Temuco y Padre Las Casas, la zona circundante a Tocopilla, Coyhaique y su zona circundante, Osorno y el Valle Central de la VI Región. En el año 2012 entró en vigor la normativa para material particulado fino ($MP_{2,5}$), habiéndose declarado ya zona saturada, Osorno, Temuco y Padre Las Casas para este contaminante en diversas ciudades de Chile.

En 2014 el estudio “Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena” considera que el 93,1% del MP_{10} emitido por combustión a leña corresponde a material particulado fino. Donde además se plantea a modo de proyección que las emisiones siguen una tendencia creciente hasta el año 2037, momento en que se estima se logra el confort térmico para las distintas ciudades, por lo que los consumos para calefacción por casa se estancan. Posteriormente en el año 2018 un estudio de la Subsecretaria del Medio Ambiente “Evaluación de los programas de Recambio Realizados en la zona saturada de Coyhaique” tensionan que, según el inventario de emisiones del año 2009, el 94% de la contribución de emisiones de MP_{10} corresponde al sector residencial. En 2018, se realizó el estudio “Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: un estudio de series temporales” donde se menciona que el 98% de las emisiones de MP_{10} en Coyhaique están asociadas al uso de leña, además, más de un 95% de las partículas serían del tipo $MP_{2,5}$.

Por lo tanto, en Chile el 93,1% del material particulado emitido por combustión a leña corresponde material particulado fino y además el 94% de la contribución de emisiones de MP_{10} corresponde al sector residencial, y en Coyhaique el 98% de las emisiones de MP_{10} está asociado al uso de leña, además, más de un 95% de las partículas serían del tipo $MP_{2,5}$.

Otro dato importante que considerar es lo mencionado en el estudio “The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke” del año 2020 que señala que el 91% de la población mundial está expuesta a partículas finas a niveles que superan los establecidos por la OMS. El estudio “Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile” del año 2022 menciona que el 60% de la población en Chile que vive en áreas urbanas, está expuesta a altas concentraciones de $MP_{2,5}$. Además, el 25% de la energía primaria que se consume proviene de la biomasa. En este ámbito un estudio del año 2022, “Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique” señala que la medición de GEC en la ciudad de Coyhaique, registró el año 2020 un total de 80 episodios

críticos por mala calidad del aire, los cuales corresponden a 19 emergencias (>170 µg/m^3), 26 preemergencias (110169 µg/m^3) y 35 alertas (80109 µg/m^3). Esto indica que hubo una menor cantidad de episodios críticos respecto a años anteriores, es decir, una disminución del 37% de episodios críticos respecto al año 2016 (Ministerio del medio ambiente, 2020).

4.1.3.2 Eficiencia Energética

En 2013 el estudio "Análisis energético de viviendas Coyhaique" realizo un análisis energético de las viviendas de Coyhaique con el fin de identificar donde es más indicado aplicar medidas de aislamiento térmico. En general, se trata de un estudio consistente y bien elaborado, solo se observan un par de detalles que corresponde al ahorro en el manejo de las infiltraciones donde parte de un valor arbitrario, y luego los ahorros están basados en datos de Europa y Estados Unidos que no necesariamente representan la realidad. Fuera de esto, el informe parece correcto y útil para el estudio con la salvedad de su antigüedad. En este estudio se encontró que si la vivienda cumpliese las exigencias mínimas para el aislamiento térmico según la reglamentación térmica (RT) de 2007, el ahorro medio sería del 22% (asumiendo el mismo consumo).

Posteriormente en 2015 se realizó el estudio "Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la Región de Aysén" donde se midieron 3 viviendas que consumen leña como medio de calefacción antes y posterior al recambio de calefactores donde se encontró que una de las viviendas, presentó una mejora en la eficiencia térmica de un 50,6% tras el recambio, es decir un consumo de la mitad de leña para obtener la misma diferencia de temperatura con el exterior. Las otras, presentaron ahorros entre 6 y 13%. Acá se puede observar, en base a intervenciones reales que los ahorros son bien variados. Un aspecto importante corresponde a los detalles constructivos y uso de Metalcon que genera grandes puentes térmicos los cuales fueron reportados y no considerados en el estudio anterior (2013), sin embargo, en este sí. Se sabe que el tema de los detalles constructivos se acentúa más en viviendas con mayor aislación (como las que se construyen ahora). Por tanto, lo que se concluye de ambos artículos es que es muy relevante para el análisis tener una aproximación tanto teórica como en base a mediciones y/o encuestas.

En 2018 el estudio "Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?" de Red Pobreza Energética menciona que la baja eficiencia de la envolvente térmica de las viviendas como el principal problema, el cual implica una alta demanda energética de las viviendas, un uso intensivo de leña para calefacción y un gasto excesivo en energía por estos hogares. A partir de esto, se propone reorientar la inversión pública hacia mejorar la eficiencia energética de las viviendas para reducir el consumo de leña, y así disminuir los niveles de contaminación atmosférica y el gasto en energía, manteniendo las condiciones de confort térmico. Así mismo un estudio del año 2015, "Energía 2050, política energética de Chile" del Ministerio de Energía menciona que hace falta un marco jurídico adecuado que permita fomentar, en los distintos consumidores, el uso eficiente de la energía y propone que el objetivo de la política al 2035 es que el sector de grandes

consumidores, minero, industrial y transporte, haga uso eficiente de la energía, con activos sistemas de gestión energética y la implementación de activas mejoras de eficiencia energética. Una meta al 2050 será que las edificaciones nuevas tengan los más altos estándares internacionales sobre eficiencia energética en los distintos modos de transporte, contribuyendo así a los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los dos artículos anteriores tienen una gran importancia, y después de 7 años se puede decir que se ha ido avanzando en este tema, pero las recomendaciones son igual de válidas, por tanto, serán un insumo importante para el presente estudio.

El año 2020 en el estudio "Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane" estima que, pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m^2 en viviendas y 294 kWh/m^2 en los edificios analizados, según el autor existe una buena oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de $MP_{2,5}$ en hasta un 60%. Así mismo el estudio "Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén" implementado en 2021 que tiene como objetivo realizar mapas de calor para viviendas y edificios de Puerto Aysén y otras localidades para calcular su demanda térmica, destaca el alto potencial de EE que poseen las viviendas y edificios públicos en la región de Aysén. Para el caso de las viviendas, el potencial de EE en las viviendas construidas previo al año 2007, varía entre un 40,9% y 86,1%. Para las viviendas año pre-2000, todas, al ser aisladas térmicamente, pueden ahorrar entre un 70% y 86,1% de la energía térmica utilizada en calefacción. Las viviendas construidas entre el año 2000 y 2007, el potencial de eficiencia energética varía entre 40,9% y un 74,4%, pero la totalidad de las viviendas de madera supera el 58,1%. Por último, las viviendas construidas post 2007, el ahorro energético simulado varía entre un 25,7% y un 38,1%. Si bien es cierto, ambos estudios predicen altos porcentajes de ahorro, hay que ser cautelosos, ya que sólo se basaron en cálculos teóricos y como se vio en los artículos anteriores y además según la experiencia del consultor, los resultados teóricos pueden diferir en forma importante de las mediciones directas de consumo. Además, el cálculo del consumo de las viviendas se hizo con la CEV, y se sabe que la CEV sirve para comparar la calidad térmica de 2 viviendas, pero no es recomendable aplicar solo la CEV para el cálculo del consumo, sin tener algún método de comparación o verificación. Por tanto, lo que se puede concluir en este punto, es que, si bien existen posibilidades de ahorro importante, el análisis debe hacerse mediante un método que incluya cálculos teóricos y resultados de mediciones y/o encuestas.

En 2022 el estudio "Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique" presenta una propuesta de mecanismo público-privado para disminuir la contaminación atmosférica en la ciudad de Coyhaique, plantea que una de las maneras de disminuir la demanda energética, es mejorar la eficiencia energética, es decir, calefaccionar más usando menos. Como, por ejemplo, un recambio de estufas eficientes

junto con el mejoramiento de la aislación térmica. Actualmente, se encuentra vigente la Ley de eficiencia energética, donde el Ministerio de Energía (2020), tiene la responsabilidad de generar planes de acción para aumentar la eficiencia energética del país. Una de sus acciones consiste en mejorar la calidad energética de la envolvente y del equipamiento de edificaciones construidas sin estándares de eficiencia energética.

Considerando todos los estudios previos comentados en esta parte de eficiencia energética y considerando también la experiencia del consultor se puede concluir que se tiene un muy buen punto de partida para este tema en el presente estudio, pero es necesario extremar el cuidado en algunos puntos que ya se comentaron antes y sobre todo mantener una aproximación que involucre en análisis teórico en conjunto con mediciones o al menos encuestas.

4.1.3.3 Energía Distrital

El estudio "Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena" de 2014 busca modelar los aportes de las ERNC a los procesos de descontaminación que permitan apoyar la toma de decisiones para descontaminar zonas saturadas de Chile. En el caso del escenario de calefacción distrital, para las ciudades analizadas (ciudades centro-sur de Chile establecidas como zonas saturadas) se estima un costo de inversión entre 1 y 7 millones de dólares en todo el período, VPN entre 2 y 15 millones de dólares y reducciones de $MP_{2,5}$ entre 20 y 1.000 toneladas promedio anuales con respecto al escenario RT. En 2021 se realizó el estudio "Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane" donde se establece que pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m^2 en viviendas y 294 kWh/m^2 en los edificios analizados, existe una oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios, así si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de $MP_{2,5}$ en hasta un 60%. Posteriormente el estudio "Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén" de 2021 señala que, de acuerdo la experiencia internacional, una densidad de demanda energética alrededor de los 70 (kWh/año/m^2) presenta condiciones favorables para la conexión a una red distrital, por tanto, se concluye que solo para la localidad de Puerto Aysén es recomendable avanzar en estudios de prefactibilidad de sistemas de calefacción distrital.

Sin embargo, como se dijo antes, hay que ser cautelosos con las cifras de ahorros de estos estudios y se deben recalcular estos potenciales. Además, hay que tener en cuenta que la calefacción distrital es solo una de las opciones que se tienen para disminuir el material particulado y tener sistemas sustentables y en el presente estudio se pretenden estudiar al menos los más importantes.

4.1.3.4 PDA

En 2018 el estudio “Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique” buscó cuantificar el impacto de los programas de recambio de calefactores en la zona saturada de Coyhaique donde se menciona que si bien el programa tiene una buena evaluación y los resultados generales de la encuesta son buenos en la medida que se observa una reducción en el consumo de leña, que respaldan los resultados de las estimaciones preliminares y revisadas, destaca el cambio en la percepción del costo por vivienda en los diferentes energéticos. En 2019 el “Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica” hace referencia a que en el año 2014 se establece la Estrategia de descontaminación de Chile 2014-2018 en la cual el país se compromete a establecer PDAs que presenten medidas que reduzcan las emisiones de MP en zonas declaradas saturadas y, además, a tomar medidas de mitigación a corto plazo en zonas que si bien no cuentan con plan de descontaminación tengan altas concentraciones de MP. El estudio “Caracterización del mercado de la leña en Chile y sus barreras para la transición energética” (2020) también hace referencia al comienzo de la implementación de PDA en Chile, siendo este el caso de Temuco acreedora del primer PDA por MP_{10} del país en el año 2010 con énfasis en el control de las emisiones por combustión residencial de leña, recibiendo luego un segundo plan para $MP_{2,5}$ el año 2015. Sin embargo, los niveles de contaminación aún siguen siendo peligrosamente altos. Los episodios de emergencia han persistido, tanto en Temuco como en otras ciudades con PDA, donde no se observa una trayectoria decreciente clara en el número de episodios anuales hasta el año 2020.

En 2022, el estudio “Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile” propone que, en un plan de gestión de la contaminación, no debe considerarse solo los aspectos ambientales. Es importante considerar también factores socio ambientales, tales como:

- Viviendas con alta demanda energética por la precariedad de la construcción y aislamiento térmico.
- Bajo precio de la leña en comparación a otros combustibles.
- Fácil acceso y disponibilidad local de leña
- Hábitos culturales y tradicionales.

Se ha estimado una disminución en las concentraciones de $MP_{2,5}$ y MP_{10} entre 2014 y 2020 que puede deberse a programas gubernamentales que señalaron a la ciudad como una zona de incumplimiento y crearon un Plan de Gestión de la Calidad del Aire Urbano e iniciaron esquemas de reemplazo de estufas y esquemas para vender madera de mejor calidad entre otras iniciativas. A pesar de estas disminuciones estadísticamente significativas en los niveles de contaminación por partículas en Coyhaique, la concentración másica promedio anual de $MP_{2,5}$ y MP_{10} en Coyhaique superó con creces los umbrales establecidos por la OMS y el CAQS.

Como señala el estudio “Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la

concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile" del año 2020 el propósito último del PDA es proteger y cuidar la salud de la población. El reemplazo de calefactores antiguos a leña, el aislamiento térmico de las viviendas, el uso de leña certificada y la educación ambiental, constituyen una de las alternativas más relevantes.

4.1.3.5 Caracterización de viviendas

Un estudio realizado en 2013, "Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique" en base al estudio de viviendas (casa aislada, casa pareada y casa fila), las viviendas con más consumo energético son las viviendas aisladas de 1 y 2 pisos, en contraparte con las viviendas en fila, las cuales son las que menos consumen. Además, el grupo socioeconómico que más consume es el ABC1, mientras que el de menos es el C3. En base a un estudio realizado en 2018 "Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?" donde respecto a la calidad de las viviendas, debe considerarse en primer lugar que a partir de los datos disponibles a nivel nacional no es posible caracterizar de forma precisa la calidad de la aislación térmica de las viviendas: si bien existen datos respecto a materialidad de muros, pisos y techos de los hogares, esto no es suficiente para derivar conclusiones respecto de la aislación térmica o posibles filtraciones. Por otra parte, se reconoce la existencia de un problema asociado a la deficiente aislación térmica de las viviendas existentes, que el MINVU dimensiona como superior a los 3,6 millones de viviendas en todo el país (MINVU, 2007).

El estudio "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" de 2021, estableció que respecto a viviendas en la ciudad de Coyhaique el 58% fueron construidas antes del año 2000, lo que aumentó al 65% en Puerto Aysén y al 62% en ciudades pequeñas. En áreas rurales, el 55% son anteriores al año 2000. El tamaño de las viviendas varió enormemente, desde 15 a 510 m^2 (promedio 73 m^2 y desviación estándar de 48 m^2). En Coyhaique promediaron 74 m^2 y en Puerto Aysén 65 m^2. La mayor parte de las viviendas tienen menos de 100 m^2. Puerto Aysén mostró una mayor proporción de viviendas con menos de 50 metros cuadrados. Donde en términos generales el 56% de la población de la región de Aysén, se encuentra establecido en la ciudad de Coyhaique, la cual tiene una población de 57.818 habitantes y 23.990 viviendas (2019), presenta un clima templado húmedo intermedio, con temperaturas mínimas durante todo el año menor a 5°C, llegando a 10°C entre los meses de mayo y agosto, según el estudio "Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique" de 2022.

Tanto estos estudios como otros similares y además por la experiencia del consultor, demuestran que sólo la aplicación de un PDA, basado principalmente en la mejora de la envolvente, no resuelve completamente el problema del material particulado, sino que se deben tomar una serie de medidas en conjunto. En efecto, en general los cálculos teóricos

de la disminución de la demanda con la mejora teórica de la envolvente no tienen el impacto esperado, ya que por un lado a mayor nivel de aislación se hace más críticas las terminaciones en la vivienda (como puentes térmicos por ejemplo o mala instalación de la aislación). Por otro lado, el supuesto de la hermeticidad generalmente no se cumple, y aunque se cumpla, hay que tener en cuenta que de todas formas se requiere un mínimo de ventilación del punto de vista higiene y este tema no está bien resuelto en los PDA. En algunos casos, los sistemas de ventilación instalados de acuerdo a los PDA generan un potencial de ventilación del orden de 10 veces lo que se calcula según la hermeticidad y el orden de 3 veces el requerido del punto de vista higiénico. También está el efecto del comportamiento humano que eleva mucho la temperatura por sobre lo necesario, genera aberturas excesivas de puertas y ventanas, etc., lo que lleva también a un excesivo aumento del consumo de leña en la calefacción.

De acá se concluye que, si bien los PDA son una herramienta muy importante, y que no se puede desechar, también hay que considerar que la reducción del consumo de leña será significativamente menor que la que entreguen los cálculos teóricos, y se debe tener esto en cuenta para las metas de reducción que se proponen. Además de esto, se debería tener un diseño más cuidadoso de los PDA, sobre todo en cómo se maneja el problema de la hermeticidad y la ventilación. Es importante además efectuar una labor de educación a la gente para que tengan claro que ciertas acciones que realizan en el uso cotidiano de la vivienda pueden tener efectos importantes en el consumo de energía y en la emisión de material particulado, incluyendo en esta capacitación la importancia relativa del efecto que tienen cada una de estas acciones.

Dado todas las dificultades anteriores, hay que tener en cuenta que lo único más seguro es eliminar el uso de la leña en las viviendas. No solo a nivel de los programas de recambio, sino que además incentivando de alguna forma a los usuarios que no usen calefactores a leña. Hoy se tienen soluciones probadas, como las bombas de calor, que tienen costos de operación similares a la leña. Por lo pronto, mientras no se prohíba el uso de calefactores a leña en las viviendas se deberían tomar todas las medidas recomendadas anteriormente en paralelo.

4.1.3.6 Combustibles y energéticos

Según el estudio “Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique” (2013) el 91% de la energía consumida proviene de la madera, en particular de la especie leña. Además, a partir de las ventas anuales de leñeras certificadas, se ha llegado a la conclusión de que el 70% de las leñeras son no certificadas.

El estudio “Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane” (2020) señala que existe un bajo precio de la leña en el mercado informal, promediando los 22.707 $/m^3, en contraste con el precio de 41.000 $/m^3 en el mercado formal. En el estudio “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" (2021) el precio promedio de la leña en la ciudad de Coyhaique fue de $31.446 por m^3 estéreo, mientras que en Puerto Aysén fue de $42.352. Por lo que una posible medida a tomar para aumentar los ahorros operativos netos es regular el mercado informal de leña, al menos a nivel regional.

El estudio "Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena." del año 2014 plantea los aportes de ERNC a los procesos de descontaminación por región. Propone para los recursos eólicos que las tecnologías parecen ser convenientes en las ciudades de San Fernando y Coyhaique. Para la biomasa (leña) se puede apreciar que se dispone de recursos de interés en la ciudad de San Fernando y en las ciudades de Osorno, Puerto Montt y Coyhaique.

Posteriormente el estudio "Energía 2050, política energética de Chile" (2015) del Ministerio de Energía define que los principales energéticos primarios, después del petróleo (32,9%), corresponden al carbón (24,4%) y a leña y biomasa (23,7%), siendo esta última preeminencia una característica particular del país.

Este mismo año el estudio "Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera" plantea que el sector residencial es responsable del 98,47% del consumo total anual de leña de todos los sectores aquí levantados, siguiendo en importancia el sector PYME no generación con un 0,65%, el sector establecimientos de uso público con un 0,60%, el sector Hoteles y Restaurantes con un 0,25% y finalmente el sector comercial con un 0,03%.

En el sector residencial, la leña está presente en 1.721.032 hogares, con un nivel de penetración de un 33,2% a nivel nacional, respecto al total de viviendas. La penetración va en aumento hacia el sur, hasta llegar a la XI región, donde casi la totalidad de las viviendas declaran consumir leña. En las zonas urbanas, la penetración nacional llega a un 26,9% en cambio en las zonas rurales, ésta llega a un 79,5% de los hogares.

En el estudio "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" (2021) el 36% de las personas que estaba dispuesta a reemplazar la leña lo haría por electricidad y el 29% por pellet, y en Puerto Aysén el 46% por pellet, el 17% por electricidad y el 17% por kerosene. En ciudades pequeñas, el 31% de las personas la reemplazarían por electricidad, el 30% por pellet y el 17% por energía solar.

La leña es la fuente de energía más importante en la región, siendo utilizada por el 82% de las viviendas urbanas y el 99% de las viviendas rurales.

También es importante comparar esta información con lo declarado por las familias, en el estudio "Evaluación de los programas de Recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique" de 2018 donde según la encuesta CASEN, indica que, con respecto a la comuna

de Coyhaique, se entrevistó a un total de 515 hogares, que corresponden a 1554 personas residentes encuestadas, donde el 85% reside en una zona urbana.

Se publica en marzo de 2016, el Decreto 46, el cual establece el plan de descontaminación atmosférica para Coyhaique y su zona circundante para MP_{10}. El cual contempla el programa voluntario de recambio de calefactores a leña. Este recambio será de al menos 10mil calefactores y/o cocinas a leña, en 10 años. De los cuales, al menos 5 mil recambios serán por sistemas con combustibles diferentes a la leña.

El estudio "Caracterización del mercado de la leña en Chile y sus barreras para la transición energética" (2020) actualiza los porcentajes de penetración de la leña en los hogares (FP) de Chile, teniendo que esta crece en la zona sur, alcanzando desde Los Ríos hasta Aysén más del 90% de los hogares. Las diferencias en la penetración se deben a diferencias en el sector urbano, ya que en los sectores rurales de todo el país se consume leña independiente de la latitud. El trabajo de CDT (2015) señala al respecto que el uso de leña en sectores rurales es mayor, alcanzando un 80% de los hogares, mientras que en los sectores urbanos de todo el país alcanza solo un 30%. Como se puede ver el uso de la leña para calefacción está especialmente extendido en la zona centro sur, en tanto para la cocción es relevante sólo para las regiones entre La Araucanía y Aysén, donde alrededor de un tercio de los hogares utilizan leña con este fin. En efecto, en la década anterior menos de un 30% de la leña se consumía en estufas de cámara doble en las regiones con mayor consumo de leña. En cambio, en ellas predominan los artefactos de "mediana eficiencia" como la cocina a leña, salamandra y cámara simple. Actualmente se puede apreciar una transición importante de estos artefactos hacia las estufas de cámara doble, si bien las regiones de Los Lagos, Los Ríos y Aysén aún presentan importantes desafíos para transitar a artefactos más eficientes, principalmente por la amplia presencia de cocinas a leña en estos territorios.

El estudio "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" recopiló información del consumo de leña y otros biocombustibles sólidos en la región de Aysén a partir de encuestas aplicadas en 2021. En la ciudad de Coyhaique, el uso predominante de la leña fue calefacción, aunque aún un 30% de las familias la utilizan también para cocinar. En Puerto Aysén, el porcentaje de viviendas que cocinan con leña es mayor, llegando al 48%, y en ciudades pequeñas al 54%.

Por otra parte, el 27% de las viviendas de la ciudad de Coyhaique consumió pellet para calefacción. En Puerto Aysén este valor llegó al 10%, y en ciudades pequeñas al 2%.

En total, el consumo de pellet en Coyhaique llegó a 14.910 toneladas/año. En Puerto Aysén, el consumo promedio de pellet por vivienda fue de 3.262 kilos/ año, con un error del 17%. Esto implicó un consumo total de 2.115 toneladas/ año.

En la región del Aysén, el 95% de la leña que se consume en el sector residencial urbano se compra y el 5% se recolecta u obtiene de regalo. El gasto en leña realizado en este sector

fue de 18.467 millones de pesos en 2020 (23 millones de dólares), mientras que la leña que se recolectó u obtuvo de regalo evitó un gasto de 976 millones de pesos (1,2 millones de dólares).

4.1.3.7 Salud

En 2018, el estudio “Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: Un estudio de series temporales” se enfocó en la cuantificación del efecto del factor RTC (recambio de tecnología de calefactores) en la relación existente entre morbilidad respiratoria y material particulado controlada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad.

Se sabe que se están aplicando estrategias de gestión ambiental que incluyen medidas especificadas en el PDA de Coyhaique. El efecto del programa masivo de recambio de tecnología de calefactores (RTC) disminuyó en 15% el riesgo de urgencias respiratorias en el año 2016. Además, en comparación con el año 2014, la reducción en el año 2016 fue de casi 50%. Sin embargo, este efecto solo es aplicable a valores de punto de rocío mayor a 4°C, ya que a niveles inferiores (congelamiento), el riesgo se modifica y aumenta exponencialmente. Provocando un aumento de la morbilidad respiratoria, principalmente de etiología viral (VRS e influenza) en el grupo etario de entre 5 y 14 años.
Si bien existe una disminución en la incidencia de urgencias respiratorias debido al recambio de calefactores, el riesgo en salud por incrementos bruscos de $MP_{2,5}$ y caídas rápidas de temperatura y humedad tendería a mantenerse e incrementarse por efecto de las anomalías climáticas observadas, ya que por su localización geográfica (45°C), la atmósfera es altamente sensible.

El estudio “Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile” de 2020 ratifica la información anterior mencionando que la causa "urgencias respiratorias" en el hospital regional de Coyhaique durante los años 2009 y 2014, contribuye con el 65% de las consultas en la población, siendo el 61% en menores de 15 años.

Una explicación más detallada de este este suceso se explica en el artículo “The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke” del año 2020 donde se menciona que la inhalación de productos de combustión provenientes de la madera tiene un efecto significativo sobre la homeostasis pulmonar en la exacerbación de los procesos de enfermedad en curso.

El humo de la madera interfiere con el desarrollo normal de los pulmones de bebés y niños, aumentando el riesgo de infecciones de las vías respiratorias inferiores, como bronquitis y neumonía.

Además, la exposición al humo puede deprimir el sistema inmunológico y dañar el tejido epitelial del pulmón, el cual está encargado de proteger y limpiar las vías respiratorias. Describiéndose una frecuencia más alta de tos, dolores de cabeza e irritaciones de ojos y garganta en personas sanas.

El humo de leña es particularmente nocivo en poblaciones vulnerables con asma, enfermedades respiratorias crónicas y enfermedades cardiovasculares. Incluso las exposiciones cortas pueden ser muy dañinas.

Además, la exposición a leña puede provocar un aumento en el riesgo cardiovascular, provocando ataques cardíacos y arritmias. Sin menor importancia, las personas cardiopáticas pueden experimentar dolor, palpitaciones, dificultad para respirar, fatiga y accidentes cardiovasculares.

4.1.4 Revisión de información de calidad del aire en Puerto Aysén y Cochrane.

Es ampliamente conocido que la mayoría de las ciudades del centro y sur, sobrepasan la norma de chilena de calidad para $MP_{2,5}$ y la recomendación de la OMS. Se sabe también que este problema es debido principalmente al uso intensivo de la leña para calefacción. Por ello, el problema ocurre principalmente en invierno, y como se verá más adelante, durante la noche.

Una de las medidas que ha adoptado el Ministerio del Medio Ambiente para mejorar la contaminación en el sur, es la aplicación de un Programa de Recambio de Calefactores en diversas ciudades. En los primeros años del programa de recambio, se realizó el retiro y chatarrización de un calefactor a leña de baja eficiencia y altamente contaminante y cambio por calefactores a leña o pellet con mejores características técnicas y menos contaminante. Posteriormente, se realizaron recambios por estufas a pellet, kerosene, gas o electricidad y desde el año 2017, no se realizaron recambios por estufas a leña. La Tabla 8 muestra que desde el año 2017 en adelante en Coyhaique los recambios han sido realizados por estufas eléctricas, a gas, kerosene y pellet. Las medidas adoptadas por el Ministerio tienen el inconveniente de que todavía el número de recambios es muy bajo y el efecto sobre la contaminación es pequeño. Una mejor alternativa sería el recambio por calefactores con emisiones significativamente más bajas. La Tabla 11 muestra los factores de emisión de varios tipos de combustible por unidad de calor generada (Btu: British thermal unit). Los factores de emisión fueron obtenidos del Inventario de Emisiones[1] del año 2014 generado por la Universidad de Santiago para el Ministerio de Medio Ambiente. Los factores de

[1] Inventario de Emisiones del Ministerio de medio Ambiente. https://sustempo.com/inventario-de-emisiones-usach-2014tempo.com/inventario-de-emisiones-usach-2014

emisión han sido normalizados por la unidad de calor generada. Los factores utilizados[2] son: GLP: 24,174 x 10^6 Btu/m^3, GN: 0,036 x 10^6 Btu/m^3, Leña y pellet: 17,3 x 10^6 Btu/ton, parafina: 37 x 10^6 Btu/m^3.

Tabla 10. Cantidad de recambios anuales de calefactores en Coyhaique por tipo y cantidad.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total General	% Cumplimiento PDA
Coyhaique								
Eléctrico			3				3	
Gas		18	51				69	
kerosene	440	987	607	412	177	351	2974	
Leña	500						500	
Pellets	95	685	487	1321	1204	755	4547	
Total General	1035	1690	1148	1733	1381	1106	8093	54
Acumulado por año	1035	2725	3873	5606	6987	8093		
% de avance PDA	7	18	26	37	47	54		

Tabla 11. Factores de emisión de estufas con combustible de leña, pellet, GLP (Gas licuado de petróleo), GN (gas natural) y parafina (kerosene).

	Emisiones por combustible (kg/10^6Btu)				
Contaminante	GLP	GN	Leña[1]	Pellet	Parafina
$MP_{2,5}$	0,00138	0,0051	0,566	0,121	0,0081
CO	0,0092	0,0178	6,671	6,671	0,0162
NO_2	0,045	0,0417	0,075	0,075	0,0582

1. Estufa doble combustión

La Tabla 10 muestra que recambio de estufas de doble combustión por estufa a pellet, genera una disminución de casi 5 veces en el $MP_{2,5}$. Pero si el cambio se realiza por estufa que use GLP (que es la que tiene menores emisiones), la reducción es de más de 400 veces. Para el caso del CO, las emisiones no disminuyen si las estufas de doble cámara se cambian por pellet, pero las emisiones de CO disminuyen más de 700 veces si las estufas de doble cámara se cambian por estufas a GLP.

Un aspecto importante del programa de Recambio es lograr también disminuir la contaminación intradomiciliaria, ya que es sabido que la gente permanece entre un 40 y 90% del tiempo en espacios interiores (casas o trabajo)[3], donde, de acuerdo con estudios de la EPA, las concentraciones de contaminantes pueden ser de 2 a 5 veces mayores que los exteriores[4]. Esto ocurre porque en Estados Unidos y Europa las concentraciones

[2] EPA, AP-42 Compilación de factores de emisión para contaminantes del aire.

[3] U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Report to Congress on indoor air quality: Volume 2. EPA/400/1-89/001C. Washington, DC.

[4] U.S. Environmental Protection Agency. 1987. The total exposure assessment methodology (TEAM) study: Summary and analysis. EPA/600/6-87/002a. Washington, DC.

exteriores de $MP_{2,5}$ son bastante más bajas que en Chile y la aislación térmica de las casas es mayor. Por ello, conocer y disminuir la contaminación intradomiciliaria es un aspecto importante en la mejora de la salud de la población. Sin embargo, los resultados de la EPA no son extrapolables a la realidad en las ciudades estudiadas del sur de Chile. Esta conclusión es relevante, ya que, muchas de las políticas públicas en Chile, se basan en estudios y conclusiones de la EPA Norteamericana. Por otro lado, estudios de contaminación en el interior de casas en Chile son muy pocos[3]. Un ejemplo de ello es un estudio publicado en la Revista Médica de Chile[5]. Este trabajo realizó una simulación de los niveles de MP_{10} que podría haber al interior de las casas, debido a las emisiones de estufas a leña y considerando la infiltración en Temuco. Por ello, es necesario mejorar nuestro conocimiento respecto del comportamiento de la contaminación en el interior de las casas.

Los resultados del programa de recambio de calefactores son mixtos, ya que las concentraciones de $MP_{2,5}$ en las ciudades donde se ha efectuado recambio, han bajado en algunos lugares, pero se han mantenido o subido en otros. La Figura 2 muestra el promedio anual de las concentraciones de material particulado fino en seis ciudades del sur de Chile. En el caso de Temuco hay una tendencia clara hacia la disminución en las concentraciones, pero en Padre Las Casas muestra un aumento en las concentraciones. En Osorno han permanecido estables, en Coyhaique han disminuido, y en Chillán y Valdivia han aumentado. Las barras rojas muestran el porcentaje anual de recambio de calefactores en cada ciudad, con respecto al total de estufas a leña en la zona saturada. Se puede ver que en general el porcentaje de recambio es bajo, salvo en Coyhaique, que alcanza al 28% del total. En las ciudades con bajo porcentaje de recambio, Osorno (7,9%), Valdivia (1%), y Chillán (3,6%) se ve que no ha tenido ningún efecto en las concentraciones de $MP_{2,5}$. En Coyhaique, con un porcentaje de recambio de 28%, podría haber algún efecto, pero se requiere un análisis más completo para determinar la influencia del recambio sobre las concentraciones. Parte de la razón por la cual no se observa una clara disminución en las concentraciones es que al inicio de los programas de recambio se utilizaron estufas doble cámara, que no eran significativamente menos contaminantes. Por esto, la solución en el largo plazo debería ser el recambio por calefactores significativamente menos contaminantes junto con una mejora en la aislación térmica de las viviendas. Como lo indica la Tabla 11, calefactores significativamente menos contaminantes serían Pellet (5 veces menos MP) GLP (400 veces menos MP) o eléctricos (cero emisiones de MP).

[5] Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario. La ciudad de Temuco como caso de estudio. (2013). Alejandra Cortés e Ian Ridley. Revista Médica de Chile.

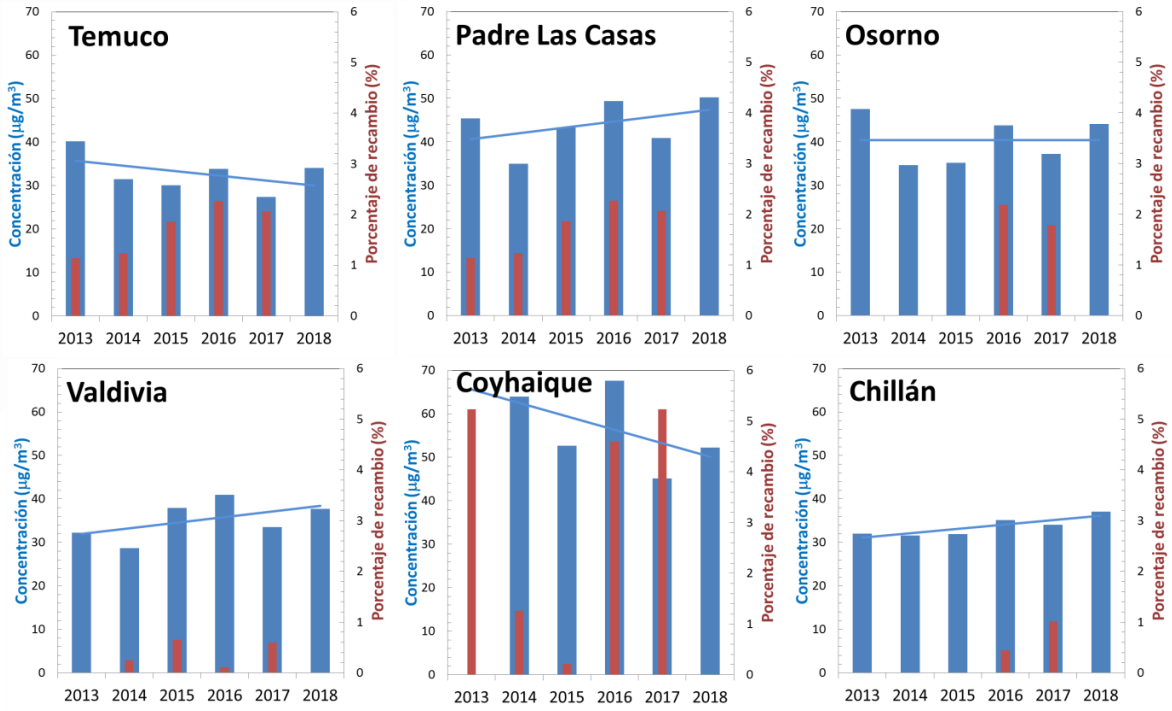


Figura 2. Concentraciones promedio anuales de $MP_{2,5}$ (barras azules) y porcentaje de recambio (barras rojas) de estufas en varias ciudades del sur de Chile. La línea azul es un ajuste lineal.

Calidad del aire en Puerto Aysén

La ciudad de Puerto Aysén tiene una estación de calidad del aire que está operando desde octubre de 2017 con mediciones de:

- $MP_{2,5}$
- Humedad relativa
- Temperatura
- Dirección y velocidad del viento

La estación Vialidad de Puerto Aysén está ubicada en la calle teniente Merino, con coordenadas UTM: 680977 E y 4969547 N. Los promedios diarios de la concentración de $MP_{2,5}$ disponibles hasta la fecha se muestran en la Figura 3. Se puede observar el comportamiento típico de las ciudades de Chile, con un aumento de las concentraciones en invierno y una baja considerable en verano. Se puede observar que en invierno existe superación de la norma diaria (50 µg/m^3) durante varios meses. No se observa una tendencia significativa al cambio en las concentraciones. Un análisis de Mann-Kendall[6] (**Figura 4**) muestra que no hay evidencia estadística de aumento o disminución de las

[6] La prueba estadística de tendencia de Mann-Kendall se utiliza para evaluar si un conjunto de valores de datos aumenta o disminuye con el tiempo, y si la tendencia en cualquier dirección es estadísticamente significativa.

concentraciones. Por lo que se puede concluir que las concentraciones han permanecido estables en Puerto Aysén.

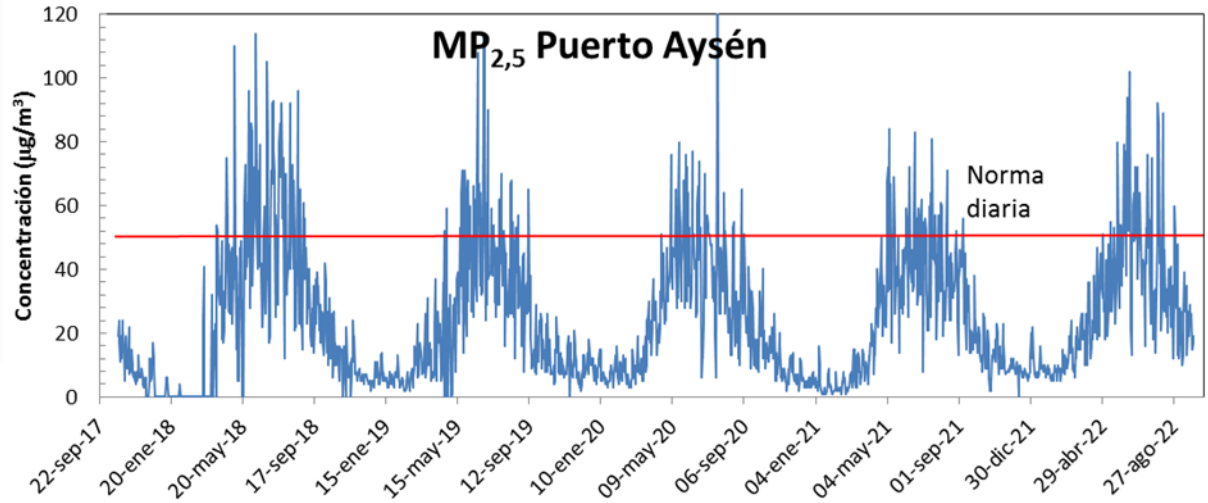


Figura 3. Promedios diarios de $MP_{2,5}$ en la estación Vialidad de Puerto Aysén. La línea roja muestra la norma diaria.

En la Figura 3, se puede observar también que los datos desde octubre de 2017 hasta marzo de 2018 no parecen estar correctos porque son muy bajos comparados con los años posteriores y hay muchos valores faltantes o cero, por ello no se van a considerar en los análisis posteriores.

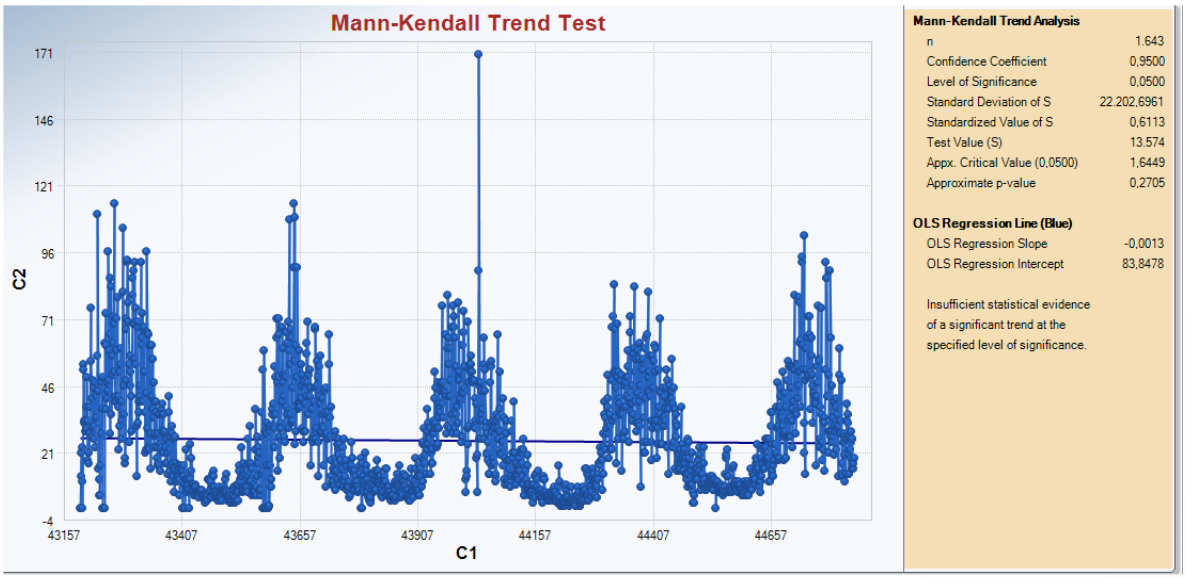


Figura 4. Análisis estadístico de Mann-Kendall para las concentraciones diarias en Puerto Aysén.

Los promedios anuales de la concentración desde el 1º de abril de 2018 hasta 1º de abril de 2022 se muestran en la Figura 5. La línea azul muestra la norma anual de $MP_{2,5}$, la cual como se ve en la figura es sobrepasada todos los años.

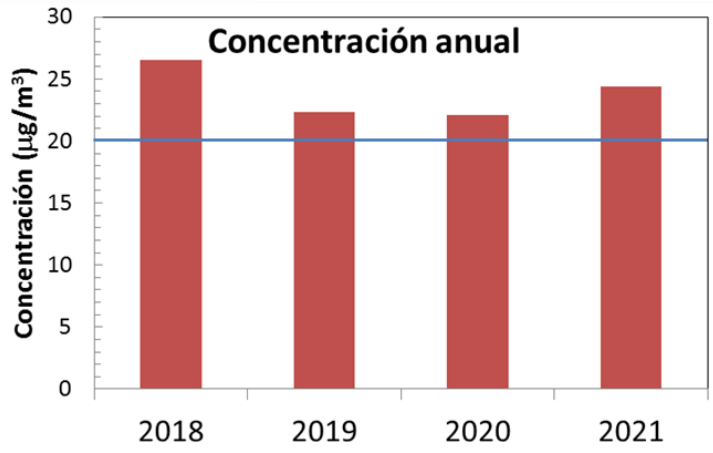


Figura 5. Concentración promedio anual de MP2,5. El cálculo se realiza desde 1º de abril hasta el 31 de marzo del año siguiente. La línea azul muestra la norma anual.

El perfil horario de concentración de material particulado es muy ilustrativo de la influencia de las fuentes en la calidad del aire. Se muestra en la Figura 6 a) y b) los perfiles horarios promedio de cuatro meses de verano (enero, febrero, noviembre y diciembre) y cuatro meses de invierno (mayo, junio, julio, agosto) de 2021.

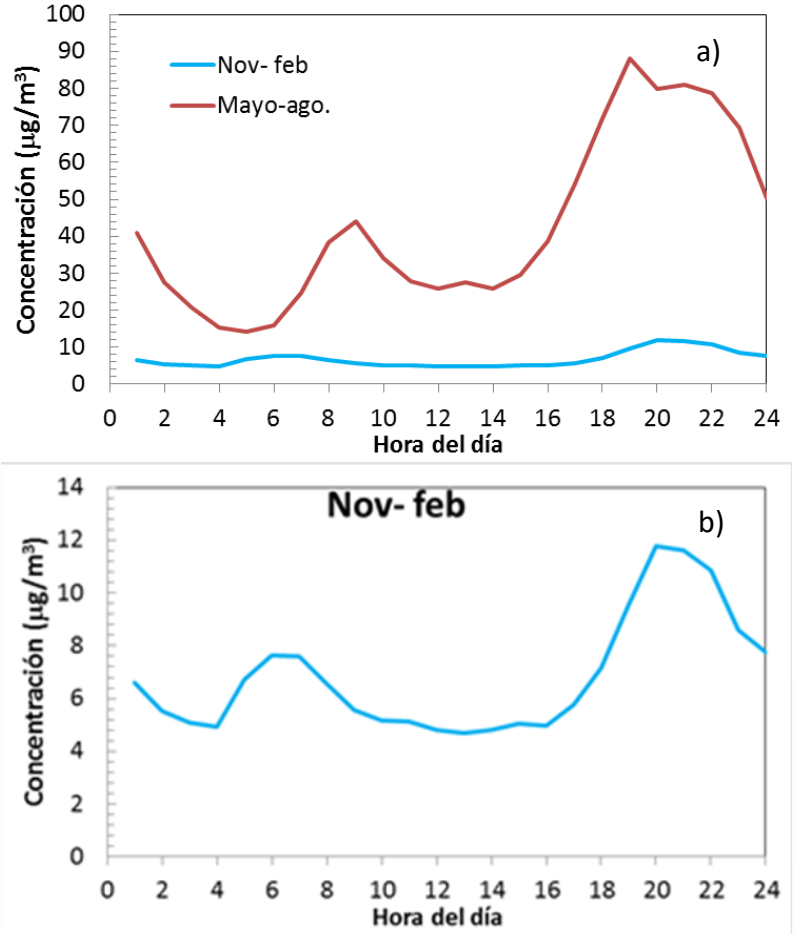


Figura 6. (a) Perfil horario de MP2,5 en 4 meses de verano (noviembre-febrero) y 4 meses de invierno(mayo-agosto) para el año 2021 en Puerto Aysén. (b) Los mismos datos horarios de verano, pero en una escala expandida.

En la figura se ve claramente que en los meses de invierno hay un aumento significativo de las concentraciones entre las 17:00 y 24:00 horas. Este aumento está relacionado con el mayor uso de leña durante esas horas en invierno, la disminución de la velocidad del viento y el efecto de la inversión térmica. Entre las 7 y 11 de la mañana también se observa un aumento de las concentraciones que puede estar relacionado con las emisiones del tráfico en la hora punta o con el encendido de estufas y cocinas a leña en la mañana. Un análisis fisicoquímico del material particulado podría determinar la magnitud de la influencia de cada fuente. Durante el verano, las concentraciones son aproximadamente 6 veces más baja en promedio, pero con un perfil similar (Figura 6b), es decir con influencia del tráfico de la mañana o el encendido de estufas y cocinas y un aumento en la noche. Se debe hacer notar que el aumento durante la tarde también puede tener emisiones relacionadas con el tráfico.

Calidad del aire en Cochrane

La ciudad de Cochrane no tenía una estación de calidad del aire conectada a la red SINCA hasta enero de 2023, por ello se consideraron datos existentes de $MP_{2,5}$ provistos por la contraparte técnica desde mayo del 2019 hasta mayo de 2022 con mediciones de: $MP_{2,5}$.

Los promedios diarios de la concentración de $MP_{2,5}$ disponibles se muestran en la Figura 7. Se puede ver que son significativamente superiores a los de Puerto Aysén, con máximos diarios hasta 200 µg/m^3 en invierno. Sin embargo, los valores en verano son tan bajos como los de Puerto Aysén.

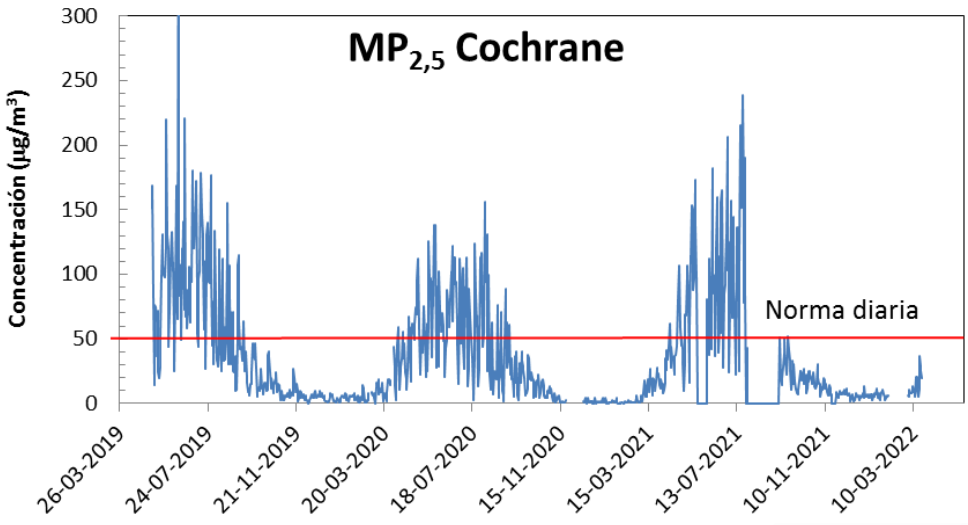


Figura 7. Promedios diarios de $MP_{2,5}$ en Cochrane. La línea roja muestra la norma diaria.

El promedio anual para Cochrane solo se puede obtener para el año 2020 y es de 32 µg/m^3. Como se observa en la Figura 7, los demás años no están completos y si se hace los cálculos, el promedio saldría distorsionado.

El perfil horario de concentración de material particulado indica la influencia de las fuentes en la calidad del aire. Se muestra en la Figura 8 a) y b) los perfiles horarios promedio de cuatro meses de verano (enero, febrero, noviembre y diciembre) y cuatro meses de invierno (mayo, junio, julio, agosto) de 2020.

Al igual que en Puerto Aysén, se ve claramente que en los meses de invierno hay un aumento significativo de las concentraciones entre las 17:00 y 24:00 horas. Este aumento está relacionado con el mayor uso de leña durante esas horas en invierno, la disminución de la velocidad del viento, surgimiento de la inversión térmica y tráfico. Entre las 7 y 11 de la mañana también se observa un aumento de las concentraciones, correspondiente a las emisiones del tráfico en la hora punta. Sin embargo, al ser Cochrane una ciudad con poco tráfico, el segundo efecto es probablemente bajo. Durante el verano, las concentraciones son aproximadamente 18 veces más bajas en promedio, pero con un perfil similar (Figura 8 b), es decir con influencia del encendido de estufas y cocinas y tráfico en la mañana y un aumento en la noche debido a las emisiones de leña.

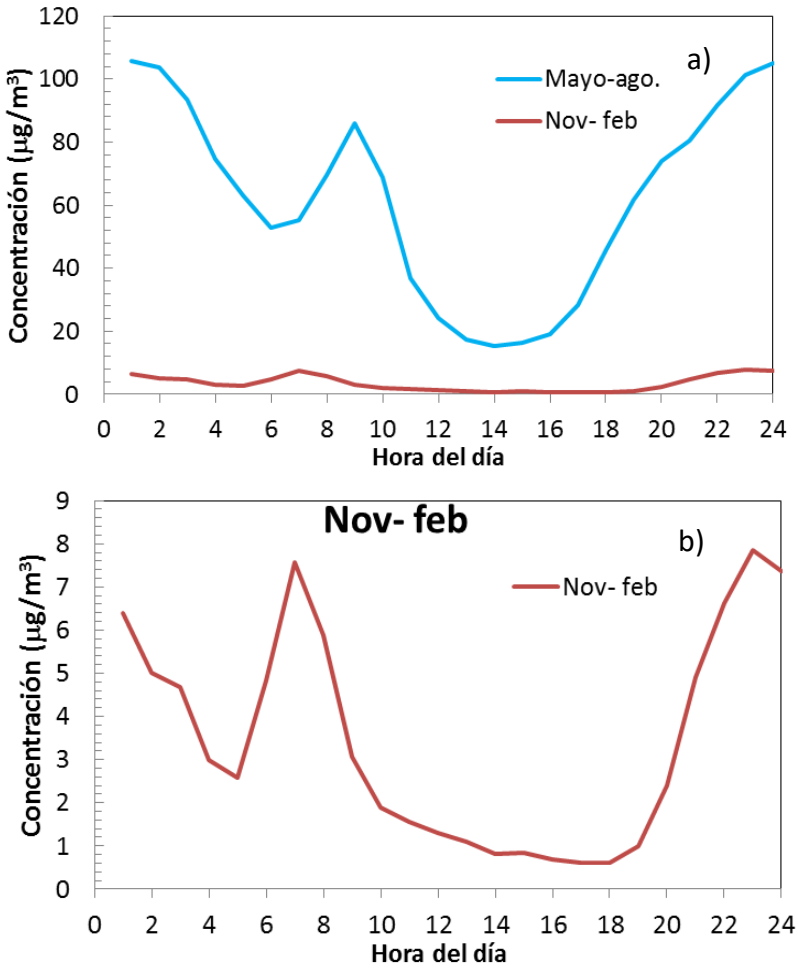


Figura 8. a) Perfil horario de 4 meses de verano y 4 meses de invierno para el año 2021 en Cochrane.b. Delatte del perfil horario en verano.

4.2 Objetivo específico Nº2

4.2.1 Revisión de las metodologías y factores de emisión que se utilizarán para la generación de los inventarios de emisiones.

4.2.1.1 Fuentes consultadas.

Para calcular las emisiones en las ciudades de Puerto Aysén y Cochrane, se han considerado en primera aproximación las siguientes fuentes:

- Combustión residencial de leña
- Incendios forestales
- Quemas controladas
- Vehículos
- Fuentes fijas industriales.

Para realizar el inventario de emisiones fue necesario revisar una serie de bibliografía relevante, tanto para la ejecución de este como para revisión de fuentes emisoras, dentro de las fuentes revisadas tenemos:

- "Manual para el desarrollo de inventarios" disponible en la página web del MMA.
- Censo 2017
- "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", Infor, 2020
- SII
- ORD N.º 228, CONAF
- Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Santiago, Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico. CDT (2015).
- INE
- TABLA10_OcurrenciayDañoporComuna1985a2021_12.09.2022_versión2022. CONAF (2022)
- Estudio —Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana, 2014. Elaborado por la Universidad de Santiago.
- ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, 2008. Elaborado por DICTUC.
- ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA 2005. Elaborado por DICTUC.
- Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana 2010. Elaborado por CENMA.
- Documento AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA.
- ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, AÑO BASE 2013. Elaborado por SICAM Ingeniería.

- Emisiones al aire de fuentes puntuales, RET C del Ministerio del Medio Ambiente.

Como guía para el inventario de emisiones y tal como se menciona en las bases técnicas se utiliza el “Manual para el desarrollo de inventarios” del Ministerio del Medio Ambiente.

Para el inventario de emisiones necesitamos conocer cierta información tanto de la comuna de Puerto Aysén como de la comuna de Cochrane como, por ejemplo:

- Población
- Viviendas
- Tipo de viviendas
- Cantidad de Calefactores
- Tipos de calefactores
- Tipo de leña
- Humedad de la leña
- Parque de vehículos
- Tipo de vehículos
- Incendios controlados
- Comportamiento poblacional
- Uso de leña
- otros

Del Censo de 2017 y anteriores se rescató la información de población y vivienda, tanto cantidad, tasa de crecimiento y tipologías, con esto se pudo calcular la cantidad de habitantes por viviendas y conocer la tasa de crecimiento poblacional tanto regional como comunal y elegir la que sea más representativa para la proyección de viviendas, esto será explicado en detalle en la metodología.

Del estudio de INFOR de 2020 se obtuvo la cantidad de calefactores por comuna y tipología, también el tipo de leña utilizado y su representatividad, otra información relevante entregada en este estudio es la cantidad de kilogramos de leña y pellet promedio utilizado anualmente por vivienda en la zona, además se realiza un análisis de consumo energético total segregado por tipología por comuna.

Para conocer el parque vehicular de la comuna se descargaron desde el Servicio de Impuestos Internos los permisos de circulación por comuna de 2016 a 2021, de esta información podemos obtener tipología de vehículo, tipo de combustible y si es catalítico o no catalítico.

La contraparte técnica nos facilitó unos informes de la CONAF con la cantidad de quema controlada en ambas comunas, complementariamente se trabajó con la información disponible en la página web de la institución donde se pueden obtener los registros de incendios forestales históricos para cada comuna del país.

Para conocer la humedad de la leña utilizada por tipología en la zona se utilizó el estudio realizado en la CDT en 2015 el cual se complementará con el estudio del INFOR de 2020.

Para el análisis de las fuentes fijas se recopilo el registro histórico de emisiones al aire de fuentes fijas del registro de emisiones y transferencia de contaminantes, RETC del Ministerio del Medio Ambiente.

Finalmente, hay que mencionar que se utilizó la proyección de población realizada por el INE para cada comuna estudiada.

Para conocer la información histórica de calidad del aire se utilizará la base de datos pública entregada por la plataforma SINCA del MMA.

Además, se estudiaron las medidas que ha adoptado el Ministerio del Medio Ambiente para mejorar la contaminación en el sur, es la aplicación de un Programa de Recambio de Calefactores en diversas ciudades. En los primeros años del programa de recambio, se realizó el retiro y chatarrización de un calefactor a leña de baja eficiencia y altamente contaminante y cambio por calefactores a leña o pellet con mejores características técnicas y menos contaminante. Posteriormente, se realizaron recambios por estufas a pellet, kerosene, gas o electricidad y desde el año 2017, no se realizaron recambios por estufas a leña.

4.2.1.2 Metodología de cálculo de emisiones provenientes de quema de leña

La metodología de cálculo de emisiones utiliza una ecuación utilizada globalmente[7], y que se muestra a continuación:

$$E_{ca} = FE_{ca} \times N_a \times A_c \quad (1)$$

Donde:

E_{ca}*:* Emisiones del contaminante "c" provenientes del artefacto "a" [ton/año]
FE_{ca}*:* Factor de emisión del contaminante "c" para el artefacto "a" por hora [g/hr], o por unidad de combustible [g/kg]
N_a: Número de artefactos del tipo "a".
A_{ca}: nivel de actividad para el contaminante "c" y el artefacto tipo "a" definido por el tiempo de uso del artefacto.

La ecuación anterior puede ser modificada porque existen muchas variaciones de los parámetros. Por ejemplo, para las emisiones de leña, pueden existir factores de emisión para cada tipo de leña, para los valores de humedad de ésta, para la operación de la estufa, etc[7]. Además, los factores de emisión cambian de acuerdo con las combinaciones de los

[7] Documento AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA.

parámetros anteriores. Por ello, un método alternativo para escribir la ecuación es considerar un factor de emisión base para cada artefacto y agregar "modificadores" que consideren las distintas variaciones de los parámetros. Una ventaja de este método es que los modificadores pueden ser continuos, es decir tomar valores numéricos intermedios que consideren el comportamiento de la variable. Por ejemplo, existe un factor de emisiones para el uso de estufas con tiraje cerrado y otro con tiraje abierto. Pero si en una población, el 40% utiliza el tiraje cerrado y el 60% el tiraje abierto, no existe un factor de emisión que considere esta situación. Pero si se considera un "modificador" continuo, que varíe linealmente entre el valor con tiraje abierto y tiraje cerrado, se soluciona el problema.

Por estas razones, en el presente estudio, y siguiendo la metodología utilizada en el Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana[8] del año 2014, se van a considerar las emisiones de MP_{10} provenientes del uso de leña en calefacción y cocina se obtienen de la siguiente ecuación:

$$E_{ca} = FE_{ca} \times N_a \times A_{ca} \times M_h \times M_o \times M_l \quad (2)$$

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

Diversos estudios indican que la mayor parte de las emisiones de Material Particulado[7,9,10] de la leña corresponden a $MP_{2,5}$, en que este último representa una fracción entre 90% y 99% del MP_{10}. Por ello, en este estudio, se utilizará un valor intermedio de 95%. Todos los cálculos se hacen para MP_{10} y el 95% de este resultado corresponde a $MP_{2,5}$.

El nivel de actividad se determina para cada tipo de artefacto y es el mismo para todas las comunas. El nivel de actividad se obtiene a partir de encuestas y estudios previos. Para este inventario se utilizaron los resultados del estudio BES[11].

[8] Estudio —Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana, 2014. Elaborado por la Universidad de Santiago.
[9] "Residential Wood Combustion— PM2.5 Emissions", James E. Houck and Paul E. Tiegs, OMNI Environmental Services, Inc. 5465 SW Western Avenue Beaverton, Oregon 97005, http://www.omni-test.com/publications/westar.pdf
[10] Fine particle emissions from combustion of wood and lignite in small furnaces., Michal Branc, Jiri Horak, Tadeas Ochodek, Environment Protection Engineering, (2011) Vol 37, 123 – 132.
[11] "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" Bosques, Energía y Sociedad (BES),

Los demás modificadores en la ecuación (2) son:

A.- M_h: Modificador relacionado con la humedad de la leña. De acuerdo con un estudio de Environment Ontario[12], el factor varía entre 1 y 2 dependiendo de la humedad de la leña. Nota: la leña que es considerada seca tiene entre un 16 y 25% de humedad, y la mayoría de los estudios se realizan con leña entre 16 y 20% de humedad. En casos excepcionales, la leña tiene un 10% de humedad. Además del estudio de Environment Ontario, existen los factores de emisión utilizados por el DICTUC en los diferentes inventarios que ha desarrollado esta institución (ver nota al pie [13] , tabla 6.). En primera instancia el DICTUC solo consideró dos condiciones de humedad, correspondientes a las categorías, seca y semihúmeda (0-20 y 20-30), luego se agregó la condición 30 – 40 % de humedad. Los factores de emisión de todos los artefactos aumentan proporcionalmente la misma cantidad con respecto al factor de emisión con leña seca (25%). Luego es posible obtener el modificador M_h utilizado por el DICTUC, normalizando los factores de emisión por el factor para leña seca. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

La misma tabla muestra los resultados del estudio FONDEF D08I1147 de la Universidad Católica de Temuco[14]. Este trabajo considera leña seca y húmeda (se considera que la leña seca tiene 20% de humedad y la leña húmeda 30% de humedad o más). Se utilizaron varias especies de madera (Eucalipto, Hualle, Aromo, Frutales, Lenga, Ulmo y Canelo) y la estufa se operó con tiraje abierto, cerrado y medio. Al igual que para el estudio del DICTUC, el modificador M_h se obtiene normalizando los factores de emisión por el factor para leña seca. Los resultados se muestran en la tabla 12.

En el estudio de SICAM Ingeniería[13], se realizó un análisis de los estudios de la Universidad Católica de Temuco[14], Universidad de Concepción[15] y la empresa SERPRAM S. A[16]. A partir del análisis, SICAM Ingeniería propuso nuevos factores de emisión para distintas tasas de quemado (tiraje) y humedad de la leña.

Tabla 12. Factor multiplicativo M_H, para las emisiones de acuerdo con la humedad de la leña para varios estudios anteriores

Humedad (%)	M_h^1	M_h^2	M_h^3	M_h^4	M_h^5	M_h^6	M_h^7	M_h^8
10	0,83							

[12] Environment Ontario, "EVALUATION OF METHODS TO DETERMINE THE IMPACT OF RESIDENTIAL WOOD BURNING ON AMBIENT AIR QUALITY", R. A. C. PROJECT NO. 426C, http://archive.org/details/evaluationofmeth00yanduoft

[13] ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, AÑO BASE 2013. Elaborado por SICAM Ingeniería

[14] Proyecto FONDEF D08I1147 "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", UCT, 2014.

[15] Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. UDEC, 2012.

[16] Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006.

20	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1,25	1,6						
40	1,58	4,7	2,7	1,3	3,1	2,2	2,2	2,1
50	2,0							

1: Estudio Environment Ontario (ref. 6).
[2]: Estudios realizado por DICTUC 2005 Región Metropolitana y 2008 Temuco.
[3]: Estudio Fondef D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Tiraje abierto, Salamandra
[4]: Estudio FONDEF D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Tiraje abierto, Estufa con templador
[5]: Estudio FONDEF D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Tiraje cerrado, Salamandra
[6]: Estudio FONDEF D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Tiraje cerrado, Estufa con templador
[7]: Estudio SICAM Ingeniería. Tiraje abierto, Salamandra.
[8]: Estudio SICAM Ingeniería. Tiraje abierto, Estufa con templador.

En la tabla 12, el valor promedio de M_H para 40% de humedad de los primeros 6 estudios, es de 2,6, que es similar a lo sugerido en el estudio de SICAM Ingeniería (dos últimos valores de la tabla). **Luego es razonable utilizar el valor de 2,2 para el modificador M_H para leña con humedad mayor que 30% y el valor de 1 para uso de leña seca.**

El estudio de la CDT[17] del año 2015 y el estudio de SICAM Ingeniería[13] realizaron encuestas para tratar de determinar la humedad de la leña. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de la declaración de los usuarios sólo reflejarían una preferencia de la gente respecto del uso y no los niveles de humedad de la leña usada efectivamente en los hogares. Por ello, se puede utilizar la sugerencia realizada en el estudio de SICAM Ingeniería respecto al porcentaje de humedad de la leña. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Distribución de la población que utiliza leña con distintos contenidos de humedad en Temuco y que se supondrá similar a la de Puerto Aysén

	Leña seca < 25%	Leña semi húmeda 25% < x < 40%	Leña húmeda > 40%
Distribución	22	38	40

Sin embargo, la realidad de Temuco es bastante distinta a la de Puerto Aysén y Cochrane ya que hay muchos proveedores de leña y más capacidad para secarla, lo que no ocurre en Puerto Aysén o Cochrane. Por ello, se utilizará lo sugerido por la contraparte técnica y que se muestra en la tabla 14:

Tabla 14. Distribución estimada de la población que utiliza leña con distintos contenidos de humedad en Puerto Aysén y Cochrane y que se usará en este informe.

	Leña seca < 25%	Leña húmeda > 40%

[17] MEDICIÓN DEL CONSUMO NACIONAL DE LEÑA Y OTROS COMBUSTIBLES SÓLIDOS DERIVADOS DE LA MADERA, CDT 2015, realizado para el Ministerio de Energía.

Distribución	20	80

B.- M_o: Modificador relacionado con la operación del artefacto. Este factor se origina del hecho que cuando la entrada de aire es baja, se produce combustión con poco oxígeno y lo por tanto las emisiones aumentan. Se usarán los mismos factores que los utilizados en estudio "Análisis detallado de medidas para incorporar al Plan de Descontaminación por $MP_{2,5}$ de Temuco y Padre Las Casas" del año 2013, elaborado por DICTUC.

Tabla 15. Modificador relacionado con la operación de la estufa. La equivalencia entre el tiraje y la tasa de quemado se muestra en la tabla.

Tiraje	Tasa de quemado	M_h[1]	M_h[2]	M_h[3]	M_h[4]	M_h[5]	M_h[6]	M_h[7]	Prom
Abierto	> 1,9 kg/hr	1	1	1	1	1	1	1	1
Medio	1,2 – 1,9 kg/hr	2	1,1	1,2	1,47	1,18	7,6	2,2	2,4
Cerrado	<1,2 kg/hr	3	2,3	3,9	2,08	1,41	12,4	6,5	4,5

[1]: Estudio Plan de Descontaminación por $MP_{2,5}$ de Temuco y Padre Las Casas, Elaborado por DICTUC
[2]: Estudio FONDEF D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Leña seca, Estufa con templador.
[3]: Estudio FONDEF D08I1147 Universidad Católica de Temuco, 2014. Leña húmeda, Estufa con templador.
[4]: Estudio para el programa de recambio de Coyhaique. Elaborado por la UCT. Equiv. Salamandra, madera seca
[5]: UCT, 2012. Mediciones del programa de mejoramiento tecnológico. CONAMA-UCT. Estufa baja emisión, madera seca
[6]: UCT, 2012. Medición de material particulado UDEC. Estufa Amesti baja emisión, madera seca.
[7]: UCT, 2012. Medición de material particulado UDEC. Estufa Bosca baja emisión, madera seca.

Otro estudio corresponde al proyecto FONDEF D08I1147 de la Universidad Católica de Temuco[14]. El modificador M_o se obtiene normalizando los factores de emisión por el factor para leña seca o húmeda y estufa con tiraje abierto. Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Otros resultados fueron obtenidos por la Universidad Católica de Temuco[18], a través de su Laboratorio de Emisiones. Se trata del estudio "Medición de emisiones de MP generadas por artefactos de combustión residencial de leña provenientes del programa de recambio de la ciudad de Coyhaique". El modificador M_o se obtiene normalizando los factores de emisión por el factor para leña seca y estufa con tiraje abierto. En este estudio, se midió la tasa de quemado, que está relacionada con el tiraje. Si el tiraje está abierto, existe gran entrada de oxígeno y la tasa de quemado es más alta. En este caso, la relación entre tasa de quemado y tiraje se muestra también en la tabla 15.

[18] Estudio: Medición de emisiones de estufas usadas, provenientes del Programa de Recambio de Calefactores de Coyhaique, 2011. Elaborado por la Universidad Católica de Temuco.

Se incluye también un estudio: Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Elaborado por la Universidad de Concepción[19] el año 2012, cuyos resultados se muestran en la tabla 16.

La siguiente tabla muestra que hay una gran variabilidad en los resultados de los distintos estudios para los modificadores de operación de la estufa. Por ello, se optó por usar un promedio de los resultados de los estudios.

No existe información respecto al modo de operación de las estufas utilizadas en Puerto Aysén o Cochrane. Por lo que se utilizará la recomendación de la contraparte técnica que el tiraje de la estufa es siempre cerrado. Esto está relacionado con la costumbre de la gente de mantener las estufas con tiraje cerrado para que se mantengan encendidas por un tiempo largo. Con esta suposición, el factor M_o = 4,5

C.- M_l: Modificador relacionado con el tipo de leña. Se consideran los presentados en la tabla siguiente. Unidad: adimensional. Al igual que para los otros modificadores, se hará una comparación de los resultados de diversos estudios anteriores y se calcularán los modificadores M_l.

Tabla 16. Factor multiplicativo M_l, para las emisiones de acuerdo con el tipo de leña utilizada en varios estudios previos.

Tipo de combustible	M_h^1	M_h^2	M_h^3	M_h^4	M_h^5	Prom.	Dev. Est.
Pino o Eucaliptus	1	1	1	1	1	1	0
Hualle		1	0,45	0,44	1,32	0,80	0,43
Aromo		1,09	1,28	1,37	1,88	1,41	0,34
Podas, Frutales	1	0,73	0,33	0,37	0,48	0,58	0,28
Lenga		0,60	1,02	1,07	1,27	0,99	0,28
Ulmo		0,58	0,88	1,14	1,23	0,96	0,29
Canelo		1,57	0,52	1,31	0,65	1,01	0,51
Espino	0,87					0,87	
Ramas, hojas	3					3	
Aserrín, despuntes	3					3	
Papel, cartón	3					3	

1: Estudio Environment Ontario (ref. 6)
2: Proyecto FONDEF D08I1147, UCT, 2014. Leña seca, tiraje abierto, Salamandra (ref. 8).
3: Proyecto FONDEF D08I1147, UCT, 2014. Leña seca, tiraje abierto, Estufa con templador (ref. 8).
4: Proyecto FONDEF D08I1147, UCT, 2014. Leña húmeda, tiraje abierto, Salamandra (ref. 8).
5: Proyecto FONDEF D08I1147, UCT, 2014. Leña húmeda, tiraje abierto, Estufa c. templador (ref. 8).

[19] UDEC, 2012. Medición de material particulado, monóxido de carbono y eficiencia térmica para diferentes estufas del mercado nacional. Ejecutado por Laboratorio Optiflama.

Los modificadores de la tabla anterior se grafican en la figura 9. Se puede observan que hay mucha variabilidad en los datos y no hay resultados consistentes. Sin embargo, se utilizará el promedio de los resultados obtenidos por los distintos estudios, considerando que error en el cálculo está dado por la desviación estándar.

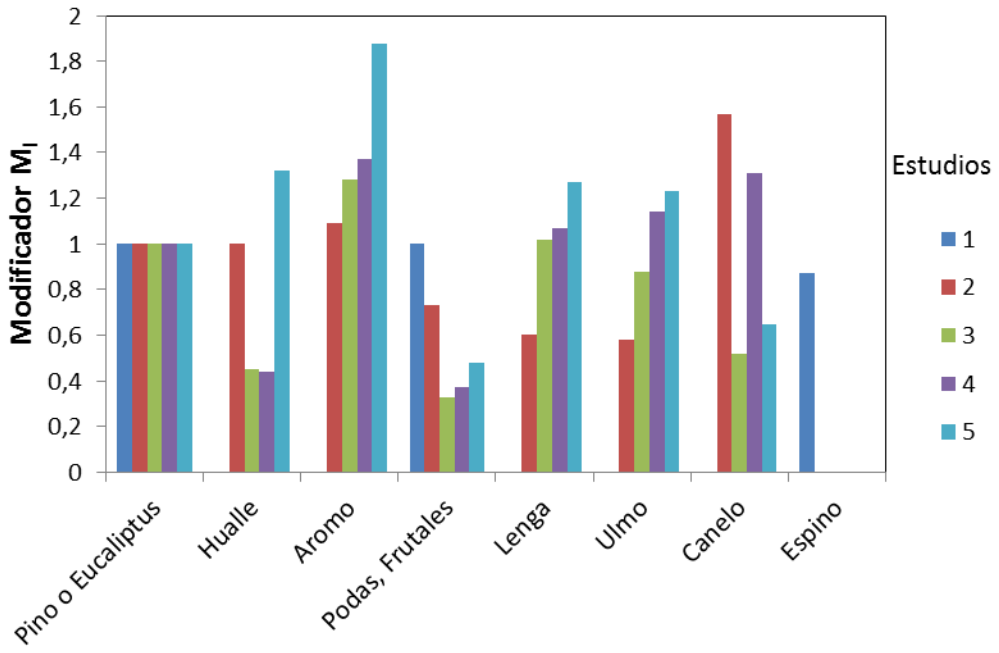


Figura 9. Modificador M_l relacionado con el tipo de leña para distintos estudios.

De acuerdo con lo indicado en el estudio BES[11] la mayor parte de la leña utilizada en Puerto Aysén y Cochrane es Lenga. En la Tabla 16 se puede ver que el modificador promedio para Lenga es M_l = 0,99; que será utilizado para el cálculo de las emisiones.

La revisión y análisis de los factores de emisión provenientes de quema de leña se encuentran en el Anexo 2.

4.2.1.3 Comparación con factores de emisión utilizados en estudios anteriores.

A continuación, se hará una comparación con los factores de emisiones utilizados en el estudio en Temuco de SICAM Ingeniería[13] (ver tablas 17 y 18 del Capítulo I). Para comparar con el estudio anterior, los factores de emisión calculados en este estudio se escriben multiplicando por los modificadores correspondientes. La equivalencia de las estufas entre los estudios es la siguiente:

- Combustión lenta S/T ----- Estufa simple
- Combustión lenta C/T------ Estufa con templador

Tabla 17. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña seca (Eucaliptus) y tiraje abierto.

Factores de emisión (gr/kg)	MP_{10}		$MP_{2,5}$	
Artefacto	SICAM Ing.[13]	Este estudio	SICAM Ing.[13]	Este estudio
Salamandra	12,7	15,3	11,8	14,5
Estufa simple	6,2	15,3	5,8	14,5
Estufa con templador	5,2	9,8	4,9	9,3
Chimenea abierta	10,1	17,3	9,2	16,4
Cocina a leña	7,5	15,3	7,0	14,5
Estufa a pellet	1,9	2,1	1,8	2,0

Tabla 18. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña húmeda (Eucaliptus) y tiraje abierto.

Factores de emisión (gr/kg)	MP_{10}		$MP_{2,5}$	
Artefacto	SICAM Ing.[13]	Este estudio	SICAM Ing.[13]	Este estudio
Salamandra	28,5	33,7	34,1*	32,0
Estufa simple	11,8	33,7	11,0	32,0
Estufa con templador	11,0	21,6	10,2	20,5
Chimenea abierta	28,5	38,1	26,6	36,2
Cocina a leña	13,9	33,7	13,0	32,0
Estufa a pellet	-	-		

*: Hay un error en la tabla 20 del estudio SICAM Ingeniería, ya que el factor de emisión para $MP_{2,5}$ no puede ser mayor que el de MP_{10}.

Tabla 19. Comparación con los factores de emisión utilizados en el estudio de SICAM Ingeniería[13] para leña seca (Eucaliptus) y tiraje cerrado (mala operación).

Factores de emisión (gr/kg)	MP_{10}		$MP_{2,5}$	
Artefacto	SICAM Ing.[13]	Este estudio	SICAM Ing.[13]	Este estudio
Salamandra	-	68,9		65,5
Estufa simple	42,6	68,9	42,6	65,5
Estufa con templador	27,5	44,1	27,5	41,9
Chimenea abierta	-	77,9		74,0
Cocina a leña	31,5	68,9	31,5	65,5

Estufa a pellet	-			

Lo factores de emisión generados por la quema de leña, para otros contaminantes no están separados por tipo de estufa en la compilación AP42 de la EPA[7]. Por ello, se van a utilizar los factores sugeridos por SICAM Ingeniería en las siguientes tablas del Capítulo I[13]. Al igual que para las emisiones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ se utilizarán los modificadores para calcular las emisiones con condiciones distintas a leña seca, Eucaliptus y tiraje abierto (buena operación). Estos factores se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 20. Factores de emisión provenientes de la quema de leña para otros contaminantes para leña seca (Eucaliptus), tiraje abierto.

Artefacto	Factor de emisión (g/kg)			
	CO	NO_x	COV	SO_x
Salamandra	309,9	7,7	114,5	0,2
Estufa simple	207,1	2,0	26,5	0,1
Estufa con templador	129,1	1,9	26,5	0,1
Chimenea abierta	126,3	1,3	114,5	0,2
Cocina a leña	305,4	2,1	114,5	0,2
Estufa a pellet	10	1,9	26,5	0,1

4.2.1.4 Emisiones provenientes de quema de otros combustibles para calefacción.

Las emisiones provenientes de otros combustibles usados en calefacción residencial se describen a continuación. En términos generales la tabla 21 muestra los factores de emisión de varios tipos de combustible por unidad de calor generada (BTU: British thermal unit). Los factores de emisión fueron obtenidos del Inventario de Emisiones[20] del año 2014 generado por la Universidad de Santiago para el Ministerio de Medio Ambiente. Los factores de emisión han sido normalizados por la unidad de calor generada. Los factores utilizados[21] son: GLP: 24,174 x 10^6 BTU/m^3, GN: 0,036 x 10^6 BTU/m^3, Leña y pellet: 17,3 x 10^6 BTU/ton, parafina: 37 x 10^6 BTU/m^3.

Tabla 21. Factores de emisión de estufas con combustible GLP (Gas licuado de petróleo), GN (gas natural) y parafina (kerosene).

Emisiones por combustible (kg/10^6Btu)			
Contaminante	GLP	GN	Parafina
$MP_{2,5}$	0,00138	0,0051	0,0081

[20] Inventario de Emisiones del Ministerio de medio Ambiente. https://sustempo.com/inventario-de-emisiones-usach-2014tempo.com/inventario-de-emisiones-usach-2014

[21] EPA, AP-42 Compilación de factores de emisión para contaminantes del aire.

CO	0,0092	0,0178	0,0162
NO_2	0,045	0,0417	0,0582

4.2.1.5 Incendios forestales y quemas agrícolas. Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión.

Las quemas agrícolas son procesos de combustión de menor escala como quema de rastrojos, de ramas y materiales leñosos. Estas quemas se clasifican en legales (autorizadas) e ilegales. Las quemas ilegales corresponden a quemas agrícolas no permitidas que se llevan a cabo principalmente entre mayo y septiembre de cada año. Las quemas legales corresponden a las que se realizan para anunciar la quema de rastrojos agrícolas y que están autorizadas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Los incendios forestales son procesos de combustión incontrolados, de gran tamaño que consumen vegetación de variadas especies y tamaños en un área geográfica.

En este inventario, se han calculado emisiones utilizando una metodología (ver ecuación siguiente) que multiplica la superficie afectada o quemada (por comuna) por el factor de emisión, correspondiente al factor promedio indicado por la EPA[22] en su informe del año 1999, asociado a "grass and woodland".

La ecuación siguiente resume la estimación de emisiones:

$$\mathrm{E} = \mathrm{S} \times F_E \qquad (3)$$

Dónde:
E: emisiones anuales [ton/año].
S: Superficie en hectáreas consumidas por incendios forestales.
F_E: factor de emisión del contaminante considerado.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones del inventario son los indicados por la EPA[22]

Tabla 22. Factores de emisión para quemas agrícolas e incendios forestales.

Contaminante	Factor de emisión[1] (kg/ha) Incendios forestales	Factor de emisión[2] (kg/ha) Quemas agrícolas
$MP_{2,5}$	324	27,26
CO	2.670	248,38
NO_x	76	11,79
COV	458	19,9

1: AP-42, Chapter 13.1 Wildfires and prescribed burning

[22] AP-42, Chapter 13.1 Wildfires and prescribed burning.

4.2.1.6 Transporte vehicular. Metodología de cálculo[23] de emisiones y factores de emisión.

La metodología general para estimar las emisiones vehiculares en ruta consiste en estimar los niveles de actividad de las diferentes categorías vehiculares y asociarlo a cada una de ellas un nivel de emisión promedio o factor de emisión. Ninguna de las ciudades consideradas en este estudio (Puerto Aysén o Cochrane) cuentan con un modelo de flujos vehiculares desarrollado por SECTRA, por ello, se utilizará una metodología simplificada similar a lo indicado en la referencia 23 y en la Guía de la CONAMA[24] para estimación de emisiones.

Para los vehículos motorizados, el nivel de actividad es representado, básicamente, por el kilometraje recorrido por el vehículo en el tiempo y área donde se desarrolla el inventario, mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación. Ver la siguiente ecuación[24]:

$$E_i = \sum_k NA_k \times FE_{ik} \quad (4)$$

Dónde:
E_i: Emisiones [gr] del contaminante considerado i
NA_k: Nivel de actividad de la categoría vehicular k
FE_{ik}: Factor de emisión del contaminante i para la categoría k evaluada [gr/km]

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes puede ser obtenido de una manera desagregada y en detalle estimando directamente la información a partir de datos de flujo vehicular (modelos de transporte, conteos vehiculares, etc.). Sin embargo, muchas veces estos datos no están disponibles y es necesario estimar el nivel de actividad vehicular de forma más agregada con la ayuda de otros parámetros alternativos, tales como las estadísticas de consumo de combustible regionales, caracterización detallada del parque y/o encuestas directas a usuarios, o bien aplicar una metodología alternativa de asignación de flujo a la red vial, como en el caso del presente estudio.

Dentro de las fuentes móviles en ruta, considerando los datos de las flotas locales de Puerto Aysén y Cochrane, se agruparon en las tipologías de vehículos indicadas en la tabla 23. Además, se separan las categorías en vehículos bencineros o diésel. De acuerdo al catastro de permisos de circulación, la cantidad de vehículos no catalíticos es solo el 1% o menor de

[23] ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, DICTUC, 1 feb. 2008
[24] GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES, CONAMA 2009.

los vehículos catalíticos, luego para simplificar los cálculos, se supondrá que solo hay vehículos catalíticos o diésel.

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones[24], la velocidad promedio de los vehículos y los kilómetros recorridos por año también se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23. Valores de kilómetros promedios y velocidades promedio, obtenidas para el año 2007 en ciudades con modelo de trasporte y parque vehicular menor o igual a 25.000 vehículos.

Tamaño del parque de la ciudad: "p"	Tipo Vehículo: "i"	Kilómetros/Vehículo	Velocidad Promedio
<= 25.000	Bus	30212	20
<= 25.000	Camión Liviano - Mediano	3789	31
<= 25.000	Camión Pesado	24445	35
<= 25.000	Comerciales	7990	36
<= 25.000	Motos	1796	35
<= 25.000	Particulares	5592	35
<= 25.000	taxi - taxi colectivo	31677	27

Fuente: estudios CONAMA 2009, AMBIOSIS S.A.

4.2.1.6.1 Factores de emisión

Los factores de emisión corresponden a una tasa másica de emisiones de contaminantes en gramos por kilómetro recorrido (g/km), elaborados a partir de análisis empíricos. En general, estas tasas son representadas como una función dependiente de la velocidad promedio del vehículo, como ocurre en los factores de emisión propuestos por las metodologías COPERT. Los Factores de emisión propuestos para el desarrollo del inventario R.M. 2010, corresponden a los factores Copert IV, y Copert III para evaluar la estimación de emisiones.

Los factores Copert IV se desarrollaron dentro del marco del proyecto Artemis25, estudio financiado por la Comisión Europea cuyo objetivo fue la unificación del estado del arte en la estimación de emisiones vehiculares, generando factores de emisión una gran cantidad de categorías vehiculares y tecnológicas, a partir de cientos de ensayos de laboratorio y ensayos en terreno26. Para la estimación con Copert III27 se utilizaron los factores medidos por el Laboratorio de Termodinámica Aplicada de la Aristotle University Thessaloniki[28]. Los

[25] http://www.trl.co.uk/artemis/
[26] http://www.inrets.fr/ur/lte/publi-autresactions/fichesresultats/ficheartemis/artemis.html
[27] http://www.eea.europa.eu/publications/Technical_report_No_49/
[28] http://lat.eng.auth.gr/

factores de emisión han sido tomados del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana[29] y que a su vez se fue tomado del documento AP-42 de la EPA.

Tabla 24. Factores de emisión para distintos tipos de vehículos tomados del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana30 y que a su vez se fue tomado del documento AP-42 de la EPA.

Categoría	Contaminante	Factor de emisión (g/km)
Vehículo particular con conv. catalítico	CO	$0,0037*V^2-0,5215*V+19,127$
	NO_x	$0,0000755*V^2-0,009*V+0,666$
Vehículo particular o comercial liviano diesel	MP_{10}	$0,0000125*V^2 – 0,000577*V + 0,2880$
	CO	$0,00018286*V^2-0,02132*V+0,88232$
	NO_x	$0,00020244*V^2-0,0267204*V+1,66025$
Motos	CO	$-0,001*V^2+0,172*V+18,1$
	NO_x	$0,00003*V^2-0,002+V+0,064$
Taxi, colectivo con convertidor catalítico	CO	$0,0037*V^2-0,5215*V+19,127$
	NO_x	$0,0000755*V^2-0,009*V+0,666$
Taxi, colectivo diesel	MP_{10}	$0,0000125*V^2 – 0,000577*V + 0,2880$
	CO	$0,00018286*V^2-0,02132*V+0,88232$
	NO_x	$0,00020244*V^2-0,0267204*V+1,66025$
Comerciales gasolina (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	$3,14436*V^{-0.7070}$
	CO	$23,6012*V^{-0,7447}$
	NO_x	$44,587*V^{-0,5185}$
Comerciales diesel (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	$12,09253*V^{-0.7070}$
	CO	$59,003*V^{-0,7447}$
	NO_x	$89,174*V^{-0,5185}$
Camión liviano diesel	MP_{10}	$4,5563*V^{-0,707}$
	CO	$37,280*V^{-0,6945}$
	NO_x	$50,305*V^{-0,7708}$
Camión pesado diesel	MP_{10}	$10,933*V^{-0,7054}$
	CO	$37,280*V^{-0,6945}$
	NO_x	$116,16*V^{-0,5859}$
Bus diesel	MP_{10}	$12,09253*V^{-0.7070}$

[29] ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA 2005. Elaborado por DICTUC.

[30] ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA 2005. Elaborado por DICTUC.

	CO	$59{,}003*V^{-0{,}7447}$
	NO_x	$89{,}174*V^{-0{,}5185}$

Respecto a la especiación de material particulado emitido por los vehículos diésel, es decir la fracción de MP_{10} y de $MP_{2.5}$, se consideran los perfiles de especiación del AP-42 de la EPA, valores que se resumen como sigue.

- 92% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$

Debido a que los vehículos bencineros emiten muy poco material particulado, se considera que las emisiones son cero.

4.2.2 Desarrollar un inventario de emisiones, año base 2021, para toda el área de estudio, identificando además las potenciales nuevas fuentes, para los próximos 15 años. El inventario debe incluir a lo menos las siguientes fuentes.

Antecedentes en Anexo 2.

4.2.2.1 Fuentes fijas.

Las emisiones provenientes de fuentes fijas, es posible obtenerlas directamente de la página Web del RETC[31]. En esta página se listan las fuentes y las emisiones anuales por fuente. Luego, no es necesario hacer el cálculo utilizando ecuaciones de emisiones, sino recabar la información de la página Web.

4.2.2.1.1 Puerto Aysén

Monóxido de carbono

Tabla 25. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
129,7	195,4	130,5	99,7	201,5	756,8

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

NOx

Tabla 26. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
651,4	899,6	562,1	419,5	898,8	3431,4

[31] RETC, Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

MP_{10}

Tabla 27. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
9,9	0,9	24,2	19,5	36,2	90,7

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

$MP_{2.5}$

Tabla 28. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
9,7	0,0	9,1	8,0	11,5	38,3

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

Dióxido de azufre

Tabla 29. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	46,6	42,0	72,0	160,6

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

4.2.2.1.2 Cochrane

Monóxido de carbono

Tabla 30. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
1406,8	6,1	5,9	5,9	7,4	1432,1

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

NOx

Tabla 31. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
22,2	23,7	17,9	18,1	26,9	108,7

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

MP_{10}

Tabla 32. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	1,5	1,5	1,6	4,6

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

$MP_{2.5}$

Tabla 33. Emisiones de $MP_{2.5\ en}$ comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	0,9	0,9	0,8	2,6

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

Dióxido de azufre

Tabla 34. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,1	0,0	1,0	1,0	1,4	3,4

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

Graficas se pueden ver en Anexo 3.

4.2.2.2 Fuentes areales: Emisiones por combustión residencial de leña

4.2.2.2.1 Puerto Aysén

Penetración y consumo de sector residencial urbano de Puerto Aysén

Tabla 35. Penetración y consumo de leña en el sector residencial urbano de Puerto Aysén.

Localidad	Penetración (sin deptos.)	Consumo (m^3 sol/viv/año)	Error estándar	porcentaje usado para cocina
Puerto Aysén	94%	17	1	48%

Fuente: INFOR 2020.

Cantidad de calefactores a leña y pellet por comuna en sector residencial urbano de Puerto Aysén

Tabla 36. Cantidad de calefactores a leña y pellet en sector residencial urbano Puerto Aysén.

Comuna	Cocina leña	Calefactor leña	Calefactor pellet	Otros equipos a leña	Total
Puerto Aysén	4020	5575	668	176	10439

Fuente: INFOR 2020.

Cantidad de Calefactores para Puerto Aysén

Tabla 37. Cantidad de calefactores para la comuna de Puerto Aysén.

Puerto Aysén	Nomenclatura	Urbano	Total, Comunal	Urbano	Total, Comunal
Cocina Leña	C1	4020	5147	39%	41%
Calefactor Leña	C2	5575	6543	53%	52%
Calefactor Pellet	C3	668	677	6%	5%
Otros Equipos	C4	176	209	2%	2%
Total		**10439**	**12576**	**100%**	**100%**

Fuente: INFOR 2020.

Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano de Puerto Aysén

Tabla 38. Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano.

Comuna	Consumo y composición (m^3 sólidos/año)									
	Lenga	**Ñirre**	**Coigüe**	**Tepa**	**Tepú**	**Otras nativas**	**Pino**	**Otras exóticas**	**No sabe**	**Total**
Aysén	93.010	2.051	12.116	-	-	11.917	2.627	-	576	122.298

Fuente: INFOR 2020.

Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano

Tabla 39. Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano.

Comuna	Consumo en (GWH/año)							
	Gas licuado	**Leña**	**Pellet**	**Kerosene**	**Gasolina**	**Electricidad**	**Total**	**% del total regional**
Aysén	28	298	10	8	-	17	361	31

Fuente: INFOR 2020.

De acuerdo con la encuesta Casen, el metro cúbico de leña corresponde a 578 kg de leña.

Finalmente, de acuerdo con el estudio BES[11], el consumo promedio anual de pellet por vivienda en Puerto Aysén es de 3.262 kg. El mismo estudio no tiene información de Cochrane, pero se supondrá que el consumo promedio por vivienda es el mismo.

Con estos valores, el consumo anual de combustible en Puerto Aysén, por tipo de estufas se puede calcular y se obtiene lo indicado en la tabla 40.

Tabla 40. Consumo promedio anual de combustible por artefacto

Artefacto	Consumo anual (kg)
	Puerto Aysén
Estufa comb. lenta	54.779.950
Cocina leña	39.500.520
Estufa pellet	2.179.016
Otros[1]	1.729.376

[1]Ver definiciones al final de esta sección.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener las emisiones, se debe utilizar la ecuación (2), los datos mencionados anteriormente, los modificadores que fueron determinados en la sección 4.2.1.2 y los factores de emisión de la EPA de la Tabla 149 . Un resumen se muestra a continuación:

- Humedad de la leña, 20% utiliza leña seca (M_H = 1) y 80% leña húmeda (M_H = 2,2)
- Operación del artefacto. Se utiliza el tiraje cerrado, Mo = 3,2.
- Tipo de leña. Se utiliza Lenga, M_I = 0,99.

Con los valores anteriores, se obtienen los factores de emisión que se muestran en la Tabla 41. En la misma tabla se hace una comparación con el estudio de Coyhaique, ubicado a 65 km de Puerto Aysén y el Inventario de Emisiones de Temuco.

Tabla 41. Factores de emisión de MP_{10} para estufas con tiraje cerrado (considerando los modificadores) usados en el presente estudio y comparación con factores de otros estudios.

	Factor de emisión MP_{10} (g/kg)			
Artefacto	Este estudio Leña seca[&]	Este estudio Leña húmeda[&]	Inv. Emisiones Coyhaique*	Inv. Emisiones Temuco[%]
Estufa comb. lenta	31,0	68,3	76,0	29,5
Cocina leña	48,5	106,6	97,1	33,8
Estufa pellet	2,1	2,1		1,9
Otros[1]	54,8	120,6	87,7	45,8

[&] Mala operación, tiraje cerrado

* Análisis de emisiones atmosféricas en Coyhaique. EnviroModeling Ltda. 2009 (mala operación, tiraje cerrado, leña húmeda).

[%] Actualización de inventario de emisiones Temuco, 2013. Sicam Ingeniería Ltda (mala operación, tiraje cerrado, leña húmeda).

Es importante mencionar que hay una gran variación en los factores de emisión debido a la operación de la estufa y la humedad de la leña. Tal como se ve en la Tabla 41, a la fecha no existe consenso respecto a los valores a utilizar.

Con los datos de las tablas anteriores, se pueden obtener las emisiones de material particulado MP_{10} para Puerto Aysén y que se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42. Emisiones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ provenientes de calefactores a biomasa en Puerto Aysén.

Puerto Aysén	MP_{10} (ton/año)	$MP_{2,5}$ (ton/año
Estufa combustión lenta	3.333	3.166
Estufa a pellet	4,6	4,4
Cocina a leña	3.753	3.565
Otros*	186	177
Total	7.276	6.912

*. Salamandra, chimenea, estufa hechiza

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, el 95% de las emisiones de MP_{10} corresponden a $MP_{2,5}$, luego, el 95% de los valores de la Tabla 42, corresponden a esta fracción del material particulado.

Para las emisiones de otros contaminantes gaseosos, se obtiene:

Tabla 43. Emisiones de contaminantes gaseosos provenientes de calefactores a biomasa en Puerto Aysén.

Otras emisiones (ton/año)	Puerto Aysén			
	CO	NO_x	COV	SO_x
Estufa combustión lenta	22.404	330	4.599	17,4
Estufa a pellet	69	13	183	0,7
Cocina a leña	38.217	263	14.328	25,0
Otros	1.698	42	627	1,1
Total	62.388	648	19.737	44,2

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones anuales de las fuentes fijas de Puerto Aysén se obtuvieron del Registro de emisiones y transferencias de contaminantes, RETC. Las fuentes son múltiples y corresponden principalmente a calderas, hornos para variados usos. Se presenta a continuación los resultados del año 2020 consolidados para Puerto Aysén.

Tabla 44. Emisiones consolidadas de fuentes fijas en Puerto Aysén para el año 2020

Contaminante	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	9,9
$MP_{2,5}$	9,7
CO	129,6
NOx	651,4
SO_2	0,02

Fuente: RETC, Registro de emisiones y transferencias de contaminantes.

4.2.2.2.2 Cochrane

Penetración y consumo de sector residencial urbano de Cochrane

Tabla 45. Penetración y consumo de leña en el sector residencial urbano de Cochrane.

Localidad	Penetración (sin deptos.)	Consumo (m^3 sol/viv/año)	Error estándar	Porcentaje usado para cocina
CP- Cochrane	98%	15,8	0,9	54%

Fuente: INFOR 2020.

Cantidad de calefactores a leña y pellet por comuna en sector residencial urbano de Cochrane

Tabla 46.Cantidad de calefactores a leña y pellet en sector residencial urbano Cochrane.

Comuna	Cocina leña	Calefactor leña	Calefactor pellet	Otros equipos a leña	Total
Cochrane	770	1023	13	13	1818

Fuente: INFOR 2020.

Cantidad de Calefactores en Cochrane

Tabla 47. Cantidad de calefactores en la comuna de Cochrane.

Cochrane	Nomenclatura	Urbano	Total, comunal	Urbano	Total, comunal
Cocina Leña	C1	770	1075	42%	45%
Calefactor Leña	C2	1023	1251	56%	53%
Calefactor Pellet	C3	13	13	1%	1%
Otros Equipos	C4	13	31	1%	1%
Total		**1819**	**2370**	**100%**	**100%**

Fuente: INFOR 2020.

Consumo y composición del consumo de leña por comuna en el sector residencial urbano de la región de Aysén

Tabla 48. Consumo y composición del consumo de leña en el sector residencial urbano de Cochrane.

Comuna	Consumo y composición (m^3 sólidos/año)

	Lenga	Ñirre	Coigüe	Tepa	Tepú	Otras nativas	Pino	Otras exóticas	No sabe	Total
Cochrane	12.337	6.169	1.393	-	-	-	-	-	-	19.899

Fuente: INFOR 2020.

Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano

Tabla 49. Consumo y composición del consumo de energía sector residencial urbano en Cochrane.

Comuna	Consumo en (GWH/año)							
	Gas licuado	Leña	Pellet	Kerosene	Gasolina	Electricidad	Total	% del total regional
Cochrane	4	48	0	0	-	3	55	5

Fuente: INFOR 2020.

De acuerdo con la encuesta Casen, el metro cúbico de leña corresponde a 578 kg de leña.

Finalmente, de acuerdo con el estudio BES, el consumo promedio anual de pellet por vivienda en Puerto Aysén es de 3.262 kg. El mismo estudio no tiene información de Cochrane, pero se supondrá que el consumo promedio por vivienda es el mismo.

Con estos valores, el consumo anual de combustible, por tipo de estufas se puede calcular y se obtiene lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 50. Consumo promedio anual de combustible por artefacto

Artefacto	Consumo anual (kg)
	Cochrane
Estufa comb. lenta	9.342.445
Cocina leña	7.031.948
Estufa pellet	42.406
Otros[1]	118.721

[1]Ver definiciones al final de esta sección.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener las emisiones, se debe utilizar la ecuación (2), los datos mencionados anteriormente, los modificadores que fueron determinados en la sección 4.2.1.2 y los factores de emisión de la EPA de la Tabla 149. Un resumen se muestra a continuación:

- Humedad de la leña, 20% utiliza leña seca (M_H = 1) y 80% leña húmeda (M_H = 2,2)
- Operación del artefacto. Se utiliza el tiraje cerrado, M_o = 4,5.
- Tipo de leña. Se utiliza Lenga, M_l = 0,99.

Con los datos de las tablas anteriores, se pueden obtener las emisiones de material particulado MP_{10} para Cochrane y que se muestran en la tabla 50.

Tabla 51. Emisiones de MP_{10} provenientes de calefactores a biomasa en Cochrane

Artefacto	Emisiones MP_{10} (ton/año)	Emisiones $MP_{2,5}$ (ton/año)
Estufa combustión lenta	569	541
Estufa a pellet	0,09	0,1
Cocina a leña	668	635
Otros*	13	12
Total	1.249	1.187

*. Salamandra, chimenea, estufa hechiza

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, el 95% de las emisiones de MP_{10} corresponden a $MP_{2,5}$, luego, el 95% de los valores de la Tabla 49 corresponden a esta fracción del material particulado.

Para las emisiones de otros contaminantes gaseosos, se obtiene:

Tabla 52. Emisiones de contaminantes gaseosos provenientes de calefactores a biomasa en Cochrane.

Otras emisiones (ton/año)	Cochrane			
	CO	NO_x	COV	SO_x
Estufa combustión lenta	3.821	56	784	3,0
Estufa a pellet	1	0	4	0,0
Cocina a leña	6.803	47	2.551	4,5
Otros	117	3	43	0,1
Cocina a leña	10.742	106	3.382	7,5
Total	21.484	212	6.764	15

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones anuales de las fuentes fijas de Cochrane se obtuvieron del Registro de emisiones y transferencias de contaminantes, RETC. Las fuentes son múltiples y corresponden principalmente a calderas, hornos para variados usos. Se presenta a continuación los resultados del año 2020 consolidados para Cochrane.

Tabla 53. Emisiones consolidadas de fuentes fijas en Cochrane para el año 2020

Contaminante	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	0,002
$MP_{2,5}$	0,001
CO	1.406

NOx	22,18
SO_2	0,058

Fuente: RETC, Registro de emisiones y transferencias de contaminantes.

4.2.2.3 Fuentes reales: Emisiones por quemas controladas

La contraparte técnica solicito a CONAF un informe de las quemas controladas en las comunas de Puerto Aysén y Cochrane, el cual se encuentra en Anexo 5.
Utilizando los documentos enviados directamente por la CONAF y datos obtenidos de la página Web se obtiene lo siguiente:

4.2.2.3.1 Puerto Aysén

Haciendo un análisis de los últimos 5 años en los sectores cercanos a Pto. Aysén, se logró concluir que sólo se han efectuado 3 quemas controladas dentro de la zona saturada, las cuales fueron realizadas por el mismo usuario. Como se puede ver en la siguiente figura, las quemas se realizan en sectores cercanos al polígono urbano.

Figura 10. Quemas controladas sector Puerto Aysén.

Para estimar las emisiones provenientes de quemas controladas, se hará la suposición que cada quema ocurre en un terreno de dimensiones acotadas de aproximadamente 0,5 Ha y duración de 1 día. Con esto, se puede obtener para Puerto Aysén:

Tabla 54. Cantidad de quemas controladas en Puerto Aysén y superficie afectada.

COMUNA	Número de quemas anualmente	Superficie total afectada (Ha)
P. AYSEN	3	1,5

Fuente: CONAF

Utilizando la ecuación (3), los factores de emisión de la Tabla 22 y la superficie total afectada de la tabla 51 se obtiene que, para Puerto Aysén, las emisiones provenientes de quemas controladas son:

Tabla 55. Emisiones provenientes de quemas controladas en Puerto Aysén

	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	0,043
$MP_{2,5}$	0,041
CO	0,372
NO_x	0,018
COV	0,030

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3.2 Cochrane

Con respecto a Cochrane el número de quemas aledañas al borde urbano son de 248 en los últimos 5 años.

Figura 11. Quemas controladas sector Cochrane.

De acuerdo con la información entregada directamente por la CONAF, el número de quemas controladas en Cochrane es de 248, tal como se muestra en la Tabla 53.

Tabla 56. Cantidad de quemas controladas en Cochrane y superficie afectada.

COMUNA	Número de quemas anualmente	Superficie total afectada (Ha)
Cochrane	248	124

Fuente: CONAF.

Utilizando la ecuación (3), los factores de emisión de la Tabla 22 y la superficie total afectada de la Tabla 56 se obtiene que, para Cochrane, las emisiones provenientes de quemas controladas son:

Tabla 57. Emisiones provenientes de quemas controladas en Cochrane

	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	3,56
$MP_{2,5}$	3,38
CO	30,80
NO_x	1,46

COV	2,47

Fuente: CONAF.

4.2.2.4 Fuentes areales: Emisiones por Incendios forestales

Para conocer la cantidad de incendios forestales históricos que han afectado a las comunas de Puerto Aysén y Cochrane se consultaron las estadísticas históricas de incendios forestales disponibles en la página web de CONAF, específicamente el documento "TABLA10_OcurrenciayDañoporComuna1985a2021_12.09.2022_versión2022, el cual entrega información respecto a cantidad de sucesos por año por cada comuna de chile, sucesos por superficie total y por tipología de suelos entre los años 1985 a 2022.

De este documento se utilizó para el inventario de emisiones la información histórica de 2010 a la fecha, obteniendo:

4.2.2.4.1 Puerto Aysén

Tabla 58. Registro de incendios forestales históricos en comuna de Puerto Aysén.

Fecha	COMUNA	NUMERO INCENDIOS	VEGETACIÓN NATURAL				TOTAL FORESTAL	OTROS DAÑOS		TOTAL OTRAS SUPERFICIES	TOTAL, SUPERFICIE AFECTADA
			ARBOLADO	MATORRAL	PASTIZAL	TOTAL		AGRICOLA	DESECHOS		
2021-2022	AYSEN	1	0	0,015	0,015	0,03	0,03	0	0	0	0,03
2020-2021	AYSEN	4	0,141	0,015	1,656	1,812	1,812	0	0,313	0,313	2,125
2019-2020	AYSEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018-2019	AYSEN	2	0,002	0	0,001	0,003	0,003	0	0,014	0,014	0,017
2017-2018	AYSEN	3	0,28	1,127	0,01	1,417	1,417	0	0	0	1,417
2016-2017	AYSEN	2	1	2,0144	0,0289	3,0433	3,0433	0	1,0144	1,0144	4,0577
2015-2016	AYSEN	5	0,0689	1,7286	0	1,7975	1,7975	0	0,6	0,6	2,3975
2014-2015	AYSEN	1	0	0,03	0	0,03	0,03	0	0	0	0,03
2013-2014	AYSEN	3	2,2	0,6	0	2,8	2,8	0	1	1	3,8
2012-2013	AYSEN	3	23,75	23,8	0,02	47,57	47,57	0	0	0	47,57

2011-2012	AYSEN	4	4,82	3,93	3,84	12,59	12,59	0	0	0	12,59
2010-2011	AYSEN	3	18,8	37,6	77,9	134,3	134,3		0,01	0,01	134,31

Fuente: https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/

Los incendios forestales en Puerto Aysén se muestran en la siguiente tabla entre los años 2011 y 2021.

Tabla 59. Cantidad de incendios y superficie afectada en la provincia de Puerto Aysén.

Fecha	Comuna	Numero incendios	Superficie afectada (Ha)
2021-2022	AYSEN	1	0,03
2020-2021	AYSEN	4	2,13
2019-2020	AYSEN	0	0,00
2018-2019	AYSEN	2	0,02
2017-2018	AYSEN	3	1,42
2016-2017	AYSEN	2	4,06
2015-2016	AYSEN	5	2,40
2014-2015	AYSEN	1	0,03
2013-2014	AYSEN	3	3,80
2012-2013	AYSEN	3	47,57
2011-2012	AYSEN	4	12,59
2010-2011	AYSEN	3	134,31
Promedio		2,58	17,36

Fuente: CONAF.

Utilizando la ecuación (3), se pueden obtener las emisiones anuales que se muestran a continuación:

Tabla 60. Emisiones anuales de MP_{10}, $MP_{2,5}$, CO, NO_x y COV provenientes de los incendios forestales en Puerto Aysén.

	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	5,93
$MP_{2,5}$	5,63
CO	46,36
NO_x	1,32
COV	7,95

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.4.2 Cochrane

Tabla 61. Registros de incendios forestales históricos en comuna de Cochrane.

Fecha	COMUNA	NUMERO INCENDIOS	SUPERFICIE TOTAL						TOTAL, FORESTAL	OTROS DAÑOS		TOTAL, OTRAS SUPERFICIES	TOTAL, SUPERFICIE AFECTADA
			PLANTACIONES FORESTALES		VEGETACIÓN NATURAL								
			PINO INSIGNE 0- 10 AÑOS	TOTAL	ARBOLADO	MATORRAL	PASTIZAL	TOTAL		AGRICOLA	DESECHOS		
2021-2022	COCHRANE	3	0	0	38,016	547,252	1091,55	1676,818	1676,818	0	0,302	0,302	1677,12
2020-2021	COCHRANE	3	0	0	0,023	0,043	0	0,066	0,066	0	0,014	0,014	0,08
2019-2020	COCHRANE	2	0	0	0	0	5,2	5,2	5,2	0	0,01	0,01	5,21
2018-2019	COCHRANE	1	0	0	5800	6507	2564	14871	14871	0	274	274	15145
2017-2018	COCHRANE	2	0	0	5,53	2,47	0	8	8	0	2	2	10
2016-2017	COCHRANE												
2015-2016	COCHRANE	5	0	0	0,858	83,635	77,205	161,698	161,698	0	0	0	161,698
2014-2015	COCHRANE	2	0	0	31,8	102,4	0	134,2	134,2	0	0	0	134,2
2013-2014	COCHRANE	2	0	0	72,7	419,1	2472,1	2963,9	2963,9	0	40,1	40,1	3004
2012-2013	COCHRANE	4	77,7	77,7	29,4	198,15	0,45	228	305,7	0	0	0	305,7
2011-2012	COCHRANE	3	0	0	0	53	10	63	63	0	0	0	63
2010-2011	COCHRANE			0				0	0			0	0

Fuente: https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/

Los incendios forestales en Cochrane se muestran en la tabla 61Tabla 59 entre los años 2011 y 2021.

Tabla 62. Cantidad de incendios y superficie afectada en la provincia de Puerto Aysén

Fecha	Comuna	Numero incendios	Superficie afectada (Ha)
2021-2022	COCHRANE	3	1.677,12
2020-2021	COCHRANE	3	0,08
2019-2020	COCHRANE	2	5,21
2018-2019	COCHRANE	1	15.145,00
2017-2018	COCHRANE	2	10,00

2016-2017	COCHRANE		
2015-2016	COCHRANE	5	161,70
2014-2015	COCHRANE	2	2,00
2013-2014	COCHRANE	2	2,00
2012-2013	COCHRANE	4	4,00
2011-2012	COCHRANE	3	3,00
2010-2011	COCHRANE		0,00
Promedio*		2,70	186,51

* Sin considerar el año 2019-2019 por ser un caso extremo.

Fuente: CONAF.

Utilizando la ecuación 6, se pueden obtener las emisiones anuales para Cochrane que se muestran a continuación:

Tabla 63. Emisiones anuales de $MP_{2,5}$, CO, NO_x y COV provenientes de las quemas controladas e incendios forestales en Cochrane.

	Emisiones (ton/año)
MP_{10}	63,61
$MP_{2,5}$	60,43
CO	497,98
NO_x	14,17
COV	85,42

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.5 Fuentes móviles: Emisiones provenientes del parque vehicular

Para cuantificar el parque vehicular tanto de Puerto Aysén como de Cochrane se revisaron los permisos de circulación de ambas comunas entregados por el SII, donde objetivo cantidad de vehículos por año, tipología y si son catalíticos o no catalíticos.

Inicialmente se agruparon las tipologías de vehículos en 3:

A. Automóvil, station wagon, todo terreno, Taxi
B. Furgón, minibús, camioneta, bus colectivo
C. Camión, tracto camión, tractor agrícola

Estas tipologías fueron definidas en base al tamaño de los vehículos y no a su uso, ya que el tamaño es mejor indicador de las emisiones de cada categoría.

En Anexo 6 se puede observar el parque vehicular para Puerto Aysén y Cochrane entre 2016 y 2021.

Para efectos de cálculo de las emisiones vehiculares, se consideran las tipologías dadas en la GUÍA[24] METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES, CONAMA 2009. La tipología es la siguiente:

Tabla 64. Tipología de vehículos utilizado para calcular las emisiones, de acuerdo con lo indicado en la Guía Conama[24]

Descripción	Numeración CONAMA	Categoría Conama[24]
Automóvil, Station Wagon y Todo Terreno	1	Particulares
Jeep, furgón, minibús, camioneta, furgón escolar, mini bus trabajadores	2, 3, 4	Comerciales
Motos y similares	5	Motos
Bus articulado, bus colectivo, bus escolar y trabajadores	10, 11	Bus
Camión simple	12	Camión liviano
Tracto camión	13	Camión pesado
Taxi, colectivo.	7, 8,9	Taxi

4.2.2.5.1 Puerto Aysén

Utilizando los permisos de circulación de Puerto Aysén entregados por el SII y la clasificación de la tabla 63, se obtiene:

Tabla 65. Cantidad de vehículos por tipo y combustible en Puerto Aysén.

Categoría	Catalítico	No Catalítico	Diesel
Particulares	3.963	57	1.874
Comerciales	556	35	2.044
Motos	104	3	0
Bus	0	0	93
Camión liviano	0	40	372
Camión pesado	0	0	73
Taxi	216	0	9

Fuente: INE.

Las emisiones son calculadas de acuerdo con la ecuación (4), la tabla 62, los factores de emisión de la Tabla 24, los kilómetros recorridos y la velocidad media indicada en la Tabla 235. Con esto se obtiene lo siguiente:

Tabla 66. Emisiones provenientes del parque vehicular en Puerto Aysén

Categoría	Contaminante	Emisiones (ton/año
Vehículo particular con	CO	119,83

conv. catalítico	NO_x	9,83
Vehículo particular o comercial liviano diesel	MP_{10}	2,97
	CO	3,77
	NO_x	10,20
Motos	CO	4,28
	NO_x	0,01
Taxi, colectivo con convertidor catalítico	CO	52,97
	NO_x	3,27
Taxi, colectivo diesel	MP_{10}	0,08
	CO	0,13
	NO_x	0,31
Comerciales gasolina (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	1,11
	CO	7,27
	NO_x	30,89
Comerciales diesel (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	15,68
	CO	66,82
	NO_x	227,16
Camión liviano diesel	MP_{10}	0,57
	CO	4,84
	NO_x	5,03
Camión pesado diesel	MP_{10}	1,60
	CO	5,63
	NO_x	25,82
Bus diesel	MP_{10}	4,09
	CO	17,81
	NO_x	53,00

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de $MP_{2,5}$ se pueden calcular de acuerdo con lo indicado en la sección 4.2.1.6, es decir el 92% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$.

Tabla 67. Emisiones del parque vehicular en Puerto Aysén

Emisiones (ton/año)			
MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x
26,1	24,7	283,3	365,5

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.5.2 Cochrane

Utilizando los permisos de circulación de Cochrane entregados por el SII y la clasificación de la Tabla 64, se obtiene:

Tabla 68. Cantidad de vehículos por tipo y combustible en Cochrane.

Categoría	Catalítico	No Catalítico	Diesel
Particulares	397	18	170
Comerciales	173	17	349
Motos	29	0	0
Bus	2	0	24
Camión liviano	0	10	74
Camión pesado	0	1	5
Taxi	5	0	0

Fuente: INE.

Las emisiones son calculadas de acuerdo con la ecuación (4), la Tabla 65, los factores de emisión de la Tabla 24, los kilómetros recorridos y la velocidad media indicada en la Tabla 235. Con esto se obtiene lo siguiente:

Tabla 69. Emisiones provenientes del parque vehicular en Cochrane

Categoría	Contaminante	Emisiones (ton/año
Vehículo particular con conv. catalítico	CO	12,00
	NO_x	0,98
Vehículo particular o comercial liviano diesel	MP_{10}	0,27
	CO	0,34
	NO_x	0,92
Motos	CO	1,19
	NO_x	0,00
Taxi, colectivo con convertidor catalítico	CO	1,23
	NO_x	0,08
Taxi, colectivo diesel	MP_{10}	0,00
	CO	0,00
	NO_x	0,00
Comerciales gasolina (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	0,35
	CO	2,26
	NO_x	9,61

Comerciales diesel (Minibus, Furgón, camioneta)	MP_{10}	2,68
	CO	11,41
	NO_x	38,79
Camión liviano diesel	MP_{10}	0,11
	CO	0,96
	NO_x	1,00
Camión pesado diesel	MP_{10}	0,11
	CO	0,39
	NO_x	1,77
Bus diesel	MP_{10}	1,05
	CO	4,60
	NO_x	13,68

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de $MP_{2,5}$ se pueden calcular de acuerdo con lo indicado en la sección 4.2.1.6, es decir el 92% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$.

Tabla 70. Emisiones del parque vehicular en Puerto Aysén

Emisiones (ton/año)			
MP_{10}	**$MP_{2,5}$**	**CO**	**NO_x**
4,57	4,20	34,38	66,83

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Proyección de emisiones para un horizonte de evaluación de 15 años.

4.2.3.1 Proyección de población

La evolución de la población en la Región de Aysén la podemos ver en la siguiente imagen, donde también podemos observar la disminución en la tasa de crecimiento intercensal.

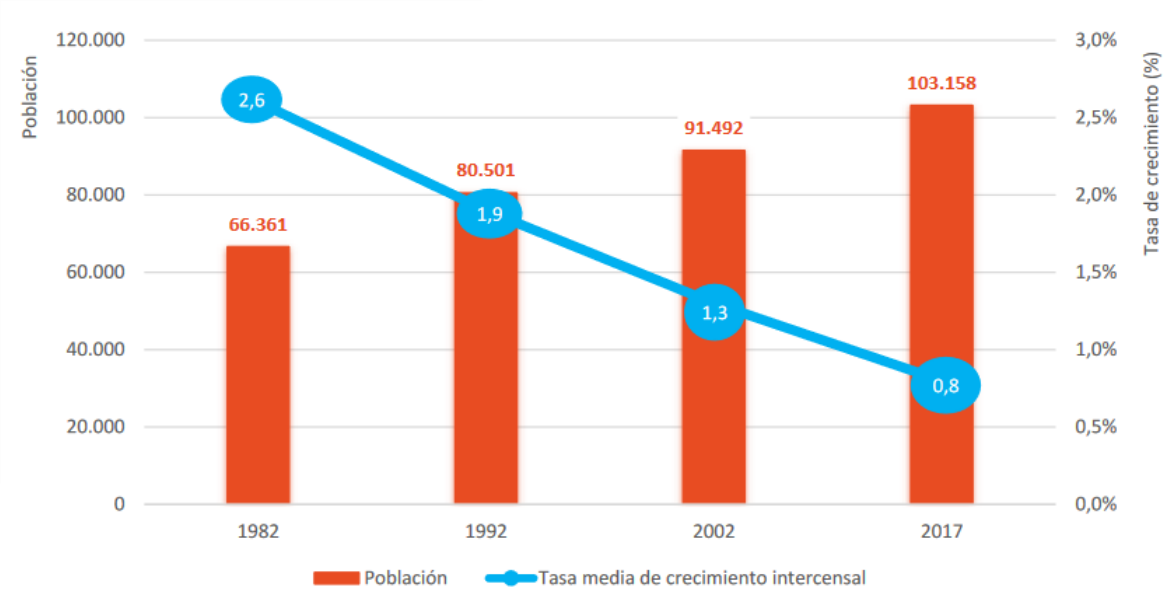


Figura 12. Evolución de la población y tasa de crecimiento intercensal, Censos 1982-2017.

Fuente: Síntesis de resultados Censo 2017, Región de Aysén. Instituto nacional de estadísticas https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-xi/banco-datos-r11/estad%C3%ADsticas-demogr%C3%A1ficas-y-vitales/s%C3%ADntesis-censo-2017-ays%C3%A9n.pdf?sfvrsn=1d185950_6

Para la proyección de población se utilizó la proyección poblacional realizada por el INE, se descargó para cada comuna y como la proyección realizada por el INE es por edad se sumaron todas las proyecciones referentes al mismo año y se sacaron las proyecciones anuales.

El lento crecimiento poblacional en la Región de Aysén se debe al descenso de la fecundidad y el aumento de la mortalidad, principalmente por la mayor cantidad de personas en edades avanzadas.

Tabla 71. Población proyectada comuna de Puerto Aysén

Puerto Aysén																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Población proyectada	25.002	25.085	25.138	25.180	25.218	25.250	25.277	25.297	25.310	25.315	25.314	25.307	25.295	25.277	25.249	25.215

Fuente: INE.

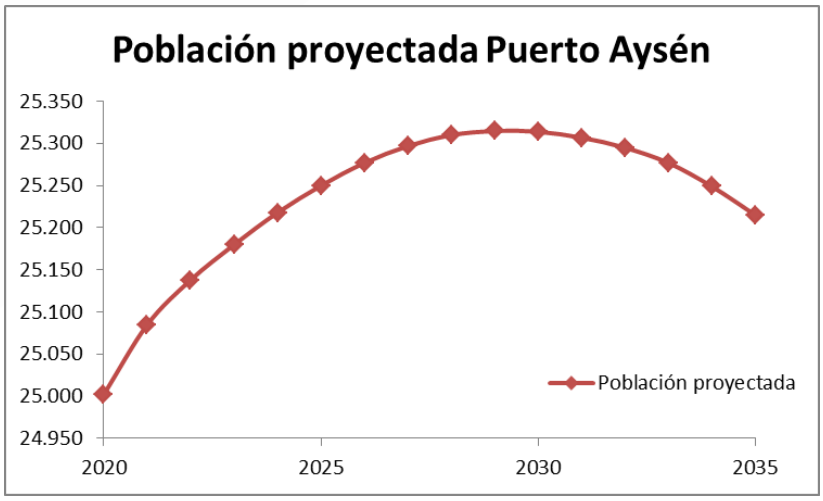


Figura 13. Proyección de población para comuna de Puerto Aysén.

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion
Fuente: https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1rea_s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5

Tabla 72. Población proyectada comuna de Cochrane.

Cochrane																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Población proyectada	3.685	3.704	3.718	3.731	3.741	3.751	3.759	3767	3773	3778	3781	3783	3784	3784	3783	3780

Fuente: INE.

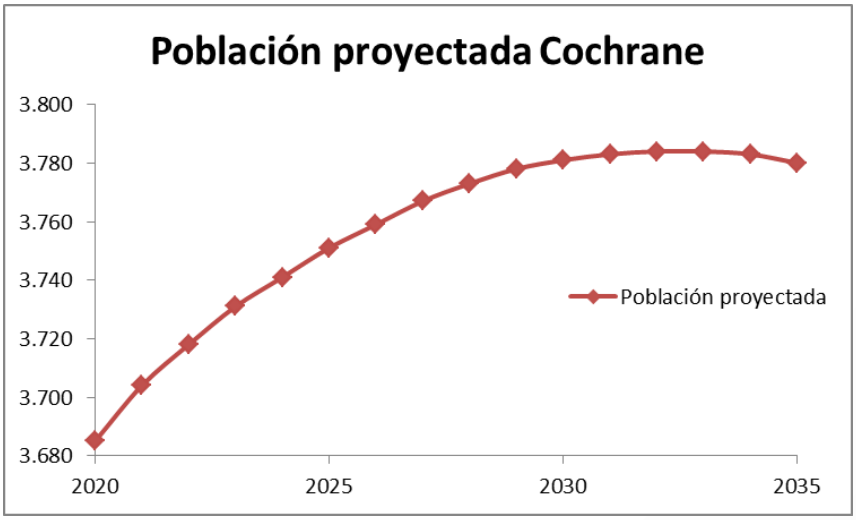


Figura 14. Proyección de Población para comuna de Cochrane.

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion
Fuente: https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1rea_s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5

4.2.3.2 Proyección de viviendas

Según la información entregada en el documento "Síntesis de resultados Censo 2017, Región de Aysén" del Instituto nacional de estadísticas INE (2019), podemos ver la evolución de las viviendas en la Región de Aysén:

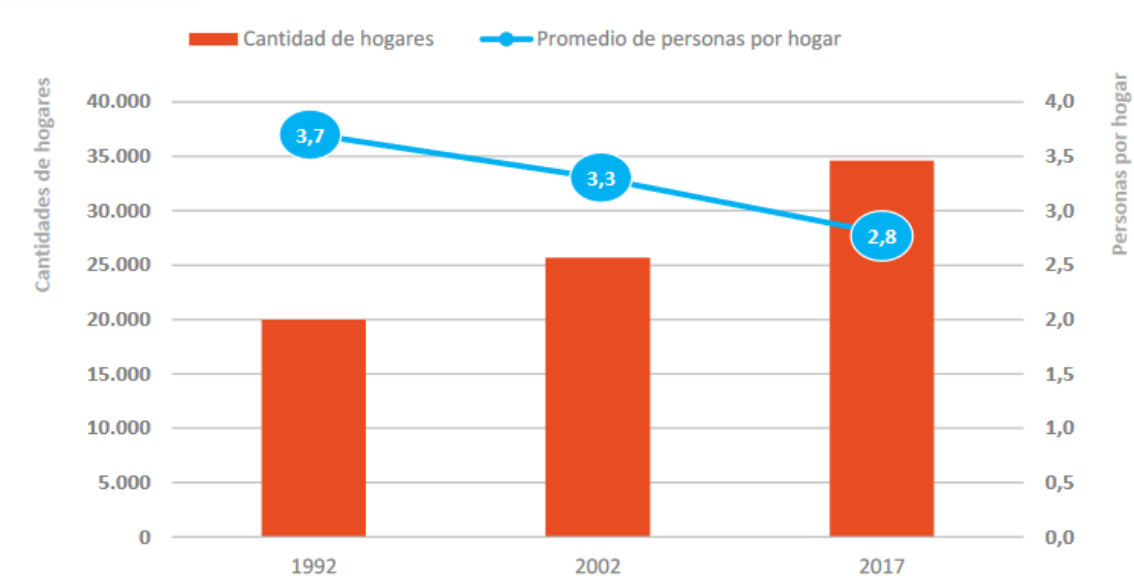


Figura 15.Cantidad de hogares y personas en la región de Aysén, por hogar según censos 1992 – 2017.

Fuente: Síntesis de resultados Censo 2017, Región de Aysén. Instituto nacional de estadísticas https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-xi/banco-datos-r11/estad%C3%ADsticas-demogr%C3%A1ficas-y-vitales/s%C3%ADntesis-censo-2017-ays%C3%A9n.pdf?sfvrsn=1d185950_6

Al igual que la población, la cantidad de hogares ha seguido creciendo en el tiempo. Sin embargo, considerando desde el Censo de 1992 al 2017, el tamaño medio del hogar, en la Región de Aysén ha disminuido, pasando de 3,7 personas por hogar en 1992 a 2,8 en 2017.

Para la proyección de viviendas se utilizó la proyección de población del INE y se calculó el índice de habitante por vivienda de la siguiente forma:

Del Censo de 2017 se tiene que:

Tabla 73. Cantidad de viviendas totales por comuna en la región de Aysén.

Viviendas	2017
Comuna	**Total**
Aysén	8.878
Cochrane	1.602

Fuente: CENSO 2017.
Tabla 74. Cantidad de población total por comuna en la región de Aysén.

Población	2017
Comuna	**Total**
Puerto Aysén	23.959
Cochrane	3.490

Fuente: CENSO 2017.

Por lo tanto, la ecuación para calcular la cantidad de habitantes por vivienda para cada comuna está dada por:

$$Habitantes\ x\ vivienda = \frac{Población\ total}{cantidad\ de\ viviendas\ totales} \quad (1)$$

Con esto se obtiene que los habitantes por vivienda de cada comuna son:

Tabla 75. Cantidad de habitantes por vivienda para cada comuna.

Cantidad de habitantes por vivienda	2017
Comuna	**Total**
Aysén	2,70
Cochrane	2,18

Fuente: CENSO 2017.

Teniendo este indicador podemos calcular la cantidad de viviendas por comuna proyectada de la siguiente forma:

$$Cantidad\ de\ vivienda\ anual = \frac{Población\ proyectada}{Habitantes\ por\ vivienda} \quad (2)$$

Con esta fórmula obtenemos la cantidad de viviendas al año 2021 y la podemos proyectar a 15 años dado que tenemos la proyección de población.

Para la proyección de viviendas se observa que, así como la población en la Región de Aysén (por ende, en las comunas de Aysén) disminuye con los años, al realizar el cálculo de proyección de viviendas, estas disminuyen en son de la disminución de población por ende se considerarán 2 escenarios de proyección:

1. Las viviendas en uso decrecen respecto al decrecimiento de población.
2. Las viviendas totales se consideran constantes desde el peack de crecimiento alcanzado con la ecuación 2.

De todas maneras, para los cálculos posteriores se utilizará la proyección de viviendas del escenario 1, ya que para los fines de este estudio nos interesan las viviendas en uso.

4.2.3.2.1 Puerto Aysén

Para la proyección de viviendas considerando el escenario 1 se tiene:

Tabla 76. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 1.

Puerto Aysén																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda, escenario N°1	9264	9295	9315	9330	9345	9356	9366	9374	9379	9380	9380	9378	9373	9366	9356	9343

Fuente: Elaboración propia.

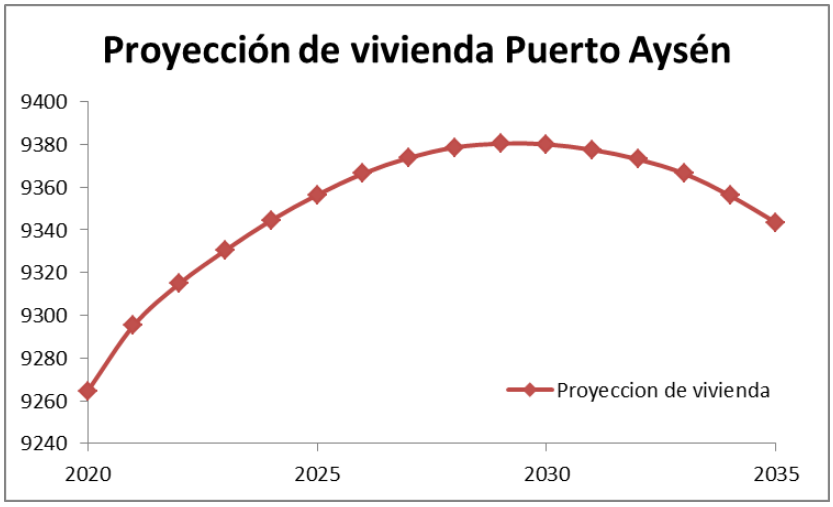


Figura 16. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 1.

Para la proyección de viviendas considerando el escenario 2, se tiene que:

Tabla 77. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 2.

Puerto Aysén																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda, escenario N°2	9264	9295	9315	9330	9345	9356	9366	9374	9379	9380	9380	9380	9380	9380	9380	9380

Fuente: Elaboración propia.

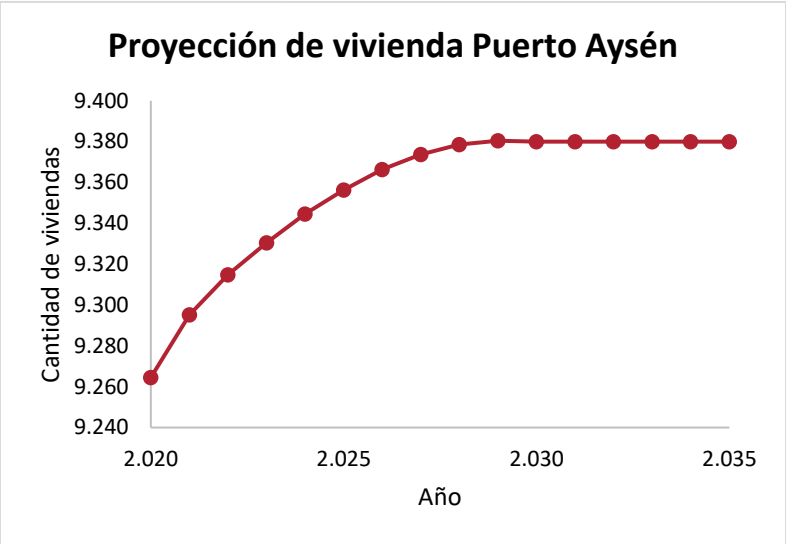


Figura 17. Proyección de viviendas Puerto Aysén para escenario 2.

4.2.3.2.2 Cochrane

Para la proyección de viviendas considerando el escenario 1, se tiene que:

Tabla 78. Proyección de viviendas comuna de Cochrane para escenario 1.

Cochrane																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda	1692	1700	1707	1713	1717	1722	1725	1729	1732	1734	1736	1736	1737	1737	1736	1735

Fuente: Elaboración propia.

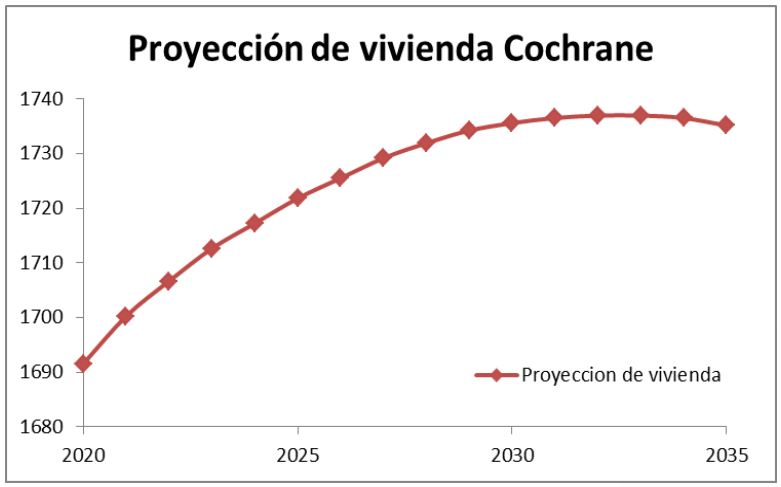


Figura 18. Proyección de vivienda comuna de Cochrane para escenario 1.

Para la proyección de viviendas considerando el escenario 2, se tiene que:

Tabla 79. Proyección de viviendas comuna de Cochrane para escenario 2.

Cochrane																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda	1692	1700	1707	1713	1717	1722	1725	1729	1732	1734	1736	1736	1737	1737	1737	1737

Fuente: Elaboración propia.

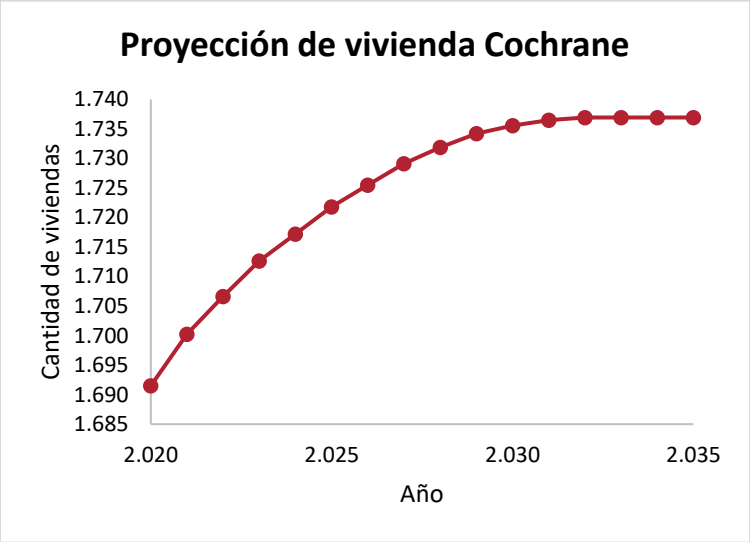


Figura 19. Proyección de vivienda comuna de Cochrane para escenario 2.

Para realizar el inventario de emisiones con proyección de 15 años se consideraron las siguientes fuentes:

4.2.3.3 Tipología de viviendas

Estimación de tipologías de vivienda

Para la estimación de tipologías de vivienda se utilizó un muestreo por conglomerados en una etapa en base a la información del censo 2017 a nivel de manzanas para las comunas de Aysén y Cochrane.

El muestreo por conglomerados es un procedimiento de muestreo probabilístico en el que se seleccionan aleatoriamente varios grupos (llamados conglomerados, cúmulos o áreas) conformados por elementos heterogéneos de la población, pero que tienen algo en común. El muestreo por conglomerados nos ayuda cuando es imposible o poco práctico crear un marco de muestreo de una población objetivo debido a que está muy dispersa geográficamente y el costo de la recopilación de datos es relativamente alto.

Fuente: https://es.surveymonkey.com/mp/que-es-el-muestreo-por-conglomerados/
https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-por-conglomerados/

Figura 20: Manzanas seleccionadas comuna de Aysén.

Figura 21: Manzanas seleccionadas comuna de Cochrane

En este tipo de muestreo se seleccionan de forma aleatoria subunidades de la población en las cuales se conocen ciertas características como el número total de casas por manzana. Una vez seleccionada la manzana se verifica la variable de interés en cada uno de los elementos del conglomerado. En este caso se busca estimar la proporción de casas de dos

pisos, proporción de casas pareadas y proporción de viviendas con piso ventilado, variables claves para la estimación de los gastos energéticos de las viviendas.

Un estimador de la proporción poblacional en este tipo de muestreo es:

$$\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \quad (3)$$

Dónde:
a_i: Número de elementos que presentan la característica en estudio.
m_i: Número de elementos del conglomerado i con $i = 1 \dots N$

El estimador de la varianza es:

$$V(\hat{p}) = \left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2}\right) \sum_{i=1}^{n} (a_i - \hat{p}m_i)^2/(n-1) \quad (4)$$

N: Número de conglomerados en la población.
n: Número de conglomerados seleccionados mediante muestreo aleatorio simple
$\bar{M}^2$: Tamaño medio del conglomerado en la población

A continuación, se muestran los resultados para la estimación de la proporción poblacional y sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 80: Resultados de la estimación de la proporción poblacional

Comuna	Proporción viviendas de dos pisos	Proporción de viviendas pareadas	Proporción viviendas piso ventilado
Aysén	39,7%	49,6%	37,7%
Cochrane	32,8%	1,5%	3,8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81: Estimación de la desviación estándar poblacional

Comuna	Proporción viviendas de dos pisos	Proporción de viviendas pareadas	Proporción viviendas piso ventilado
Aysén	4%	7,5%	5,3%
Cochrane	17%	1,6%	2,6%

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a este análisis se consideró la información entregada por SII (https://www4.sii.cl/sismunInternet/?caller=DETALLE_CAT_Y_ROL_COBRO) que especifica

por cada vivienda materialidad, año de construcción, metros cuadrados de la vivienda y tipo de uso.

4.2.3.3.1 Puerto Aysén

Para Puerto Aysén se tiene que el 95% de las viviendas son de madera, un 4% es de perfiles metálicos y un 1% es de albañilería de ladrillo de arcilla, piedra, bloque de cemento u hormigón celular.

Dado que la materialidad predominante en la comuna de Puerto Aysén es madera, trabajaremos con ese universo, obteniendo de la información entregada por SII lo siguiente:

Tabla 82. Distribución de viviendas por metros cuadrados en la comuna de Puerto Aysén.

M^2	%	Cantidad
0-50 m^2	71%	6856
50-100 m^2	23%	2189
100 + m^2	6%	584

Fuente: SII.

Tabla 83.Distribución de viviendas por año de construcción en la comuna de Puerto Aysén.

Año	%	Cantidad
Pre-2000	56%	5426
2000-2007	17%	1615
Post- 2007	27%	2588

Fuente: SII.

Dada la información que tenemos para definir las tipologías predominantes de la comuna tenemos lo siguiente:

Tabla 84. Primera distribución de viviendas en la comuna de Puerto Aysén.

Puerto Aysén	Pareada	Piso radier	1 piso	pre-2000	7%
				post 2000	5%
			2pisos	pre-2000	10%
				post 2000	8%
		Piso ventilado	1 piso	pre-2000	4%
				post 2000	3%
			2pisos	pre-2000	6%
				post 2000	5%
		Piso radier	1 piso	pre-2000	7%
				post 2000	5%
			2pisos	pre-2000	11%

	Aislada			post 2000	8%
		Piso ventilado	1 piso	pre-2000	4%
				post 2000	3%
			2pisos	pre-2000	6%
				post 2000	5%

Fuente: Elaboración propia.

Dado que esta subdivisión posee porcentajes muy pequeños, podemos agruparlos y buscar la mayor representatividad. Dado que las viviendas de piso ventilado son un menor porcentaje, solo diferenciaremos si son pareadas o aisladas, ya que, es un factor predominante para la proyección de emisiones, más allá del año de construcción de la vivienda.

Tabla 85. Distribución de tipologías de viviendas para la comuna de Puerto Aysén.

Puerto Aysén	Pareada	Piso radier	1 piso	12%	T1
			2pisos	19%	T2
		Piso ventilado		19%	T3
	Aislada	Piso radier	1 piso	12%	T4
			2pisos	19%	T5
		Piso ventilado		19%	T6

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, las tipologías serian:

T1: Vivienda pareada con piso de radier de 1 piso.
T2: Vivienda pareada con piso de radier de 2 piso.
T3: Vivienda pareada de piso ventilado.
T4: Vivienda aislada con piso de radier de 1 piso.
T5: Vivienda aislada con piso de radier de 2 pisos.
T6: Vivienda aislada con piso ventilado.

4.2.3.3.2 Cochrane

Para Cochrane se tiene que la materialidad de las viviendas se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 86. Distribución de viviendas por materialidad para la comuna de Cochrane.

Materialidad	Cantidad	%
Albañilería de ladrillo	197	11%
Madera	1.514	86%
Perfiles metálicos	52	3%
Total	1.763	100%

Fuente: SII.

Tabla 87. Distribución de viviendas por año de construcción para la comuna de Cochrane.

Año	Cantidad	%
Pre-2000	786	52%
2000-2007	193	13%
Post-2007	535	35%
Post-2000	728	48%
Total	1.514	100%

Fuente: SII.

Tabla 88. Distribución de viviendas por metros cuadrados para la comuna de Cochrane.

M^2	Cantidad	%
0-50	1.257	83%
50-100+	257	17%
Total	1.514	100%

Fuente: SII.

Dada la información que tenemos para definir las tipologías predominantes de la comuna y considerando que la materialidad de viviendas de perfiles metálicos solo corresponde a un 3% del universo total, no será considerado en la definición de tipologías, por lo tanto, tenemos lo siguiente:

Tabla 89. Primera distribución de viviendas en la comuna de Cochrane.

Cochrane	Madera	Aislada	Radier	1 piso	Pre-2000	31%
					Post-2000	29%
					Pre-2000	15%

				2 pisos		
					Post-2000	14%
	Albañilería de ladrillo				Pre-2000	6%
					Post-2000	6%

Fuente: Elaboración propia.

Dado que esta subdivisión posee porcentajes muy pequeños, podemos agruparlos y buscar la mayor representatividad. En el caso de la tipología 4 (T4) no se segregó por el año de construcción de la vivienda ya que los porcentajes representativos de esta categoría son pequeños.

Tabla 90. Distribución de tipologías de viviendas para la comuna de Cochrane.

Cochrane	Madera	Aislada	Radier	1 piso	Pre-2000	31%	T1
					Post-2000	29%	T2
				2 pisos	Pre-2000	29%	T3
					Post-2000		
	Albañilería de ladrillo					12%	T4

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, las tipologías serian:

T1: Vivienda de madera, aislada con piso de radier de 1 piso pre-2000.
T2: Vivienda de madera, aislada con piso de radier de 1 piso post-2000.
T3: Vivienda de madera, aislada con piso de radier de 2 pisos.

T4: Vivienda de albañilería de ladrillo.

Las tipologías de viviendas establecidas tanto para Puerto Aysén como para Cochrane son representativas a cada comuna más allá de la ubicación geográfica de cada vivienda, ya que, para la estimación de viviendas pareadas, aisladas, de 1 piso, 2 pisos y tipo de suelo (piso radier o ventilado) se realizó un muestreo por conglomerados, es decir, se seleccionaron cierta cantidad de manzanas de cada comuna al azar que sean estadísticamente representativas para asegurar representatividad de la comuna, con estas manzanas definidas se procede a visualizar a través de Street view de Google cada una de las viviendas de las manzanas seleccionadas y categorizarlas en las clasificaciones antes mencionadas (viviendas pareadas, aisladas, de 1 piso, 2 pisos y tipo de suelo (piso radier o ventilado).

Posteriormente, para la estimación por metros cuadrados construidos, año de construcción y materialidad se utilizó la información del Catastro de bienes raíces nacional del SII, donde dado que tenemos la información de cada vivienda inscrita a la fecha en la comuna tenemos total representatividad.

4.2.3.4 Proyección de Calefactores

Para la proyección de calefactores se observó el parque de calefactores por comuna:

Tabla 91.Cantidad de calefactores para la comuna de Puerto Aysén.

Puerto Aysén	Nomenclatura	Urbano	Total, Comunal	Urbano	Total, Comunal
Cocina Leña	C1	4020	5147	39%	41%
Calefactor Leña	C2	5575	6543	53%	52%
Calefactor Pellet	C3	668	677	6%	5%
Otros Equipos	C4	176	209	2%	2%
Total		**10439**	**12576**	**100%**	**100%**

Fuente: INFOR 2020.

Cantidad de Calefactores

Tabla 92. Cantidad de calefactores para la comuna de Cochrane.

Cochrane	Nomenclatura	Urbano	Total, comunal	Urbano	Total, comunal
Cocina Leña	C1	770	1075	42%	45%
Calefactor Leña	C2	1023	1251	56%	53%

Calefactor Pellet	C3	13	13	1%	1%
Otros Equipos	C4	13	31	1%	1%
Total		**1819**	**2370**	**100%**	**100%**

Fuente: INFOR 2020.

Teniendo esto se realizaron supuestos para la distribución de calefactores en el parque de viviendas actuales, estos supuestos están basados en las características de cada tipología de vivienda y en cuántos calefactores (incluida cocina a leña) "serian" necesarios para calefaccionar esa tipología de viviendas.

Tabla 93. Supuesto de distribución del parque de calefactores por tipología de viviendas para la comuna de Puerto Aysén.

	C1	C2	C3	C4
T1	0,0	0,9	0,6	0,0
T2	0,0	1,0	0,0	0,0
T3	0,8	0,9	0,0	0,0
T4	1,0	0,0	0,0	0,0
T5	0,7	1,0	0,0	0,0
T6	0,8	0,3	0,0	0,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94. Supuesto de distribución del parque de calefactores por tipología de viviendas para la comuna de Cochrane.

	C1	C2	C3	C4
T1	0,210	0,250	0	0,009
T2	0,220	0,240	0,008	0
T3	0,200	0,150	0	0
T4	0,009	0,090	0	0,010

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, para la proyección de viviendas se establecen estos supuestos de ingreso y salida de calefactores los cuales se encuentran en Anexo 7.

4.2.3.5 Proyección de las emisiones contaminantes por uso de calefactores en el sector urbano.

4.2.3.5.1 Puerto Aysén

Con los supuestos anteriores, las emisiones cambian de acuerdo con la evolución del número de viviendas. Para Puerto Aysén, en el sector urbano, esto se muestra en la Tabla 95 y las figuras siguientes

Tabla 95. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña. Año base 2020.

	Emisiones (ton/año)					
Año	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x	COV	SO_x
2020	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2021	10.300	9.785	88.025	914	27.848	62,32
2022	10.322	9.806	88.211	916	27.907	62,45
2023	10.339	9.822	88.358	917	27.953	62,55
2024	10.355	9.837	88.491	919	27.995	62,65
2025	10.368	9.849	88.604	920	28.031	62,73
2026	10.379	9.860	88.699	921	28.061	62,79
2027	10.387	9.868	88.769	922	28.083	62,84
2028	10.392	9.873	88.814	922	28.098	62,88
2029	10.394	9.875	88.832	922	28.103	62,89
2030	10.394	9.874	88.828	922	28.102	62,89
2031	10.391	9.872	88.804	922	28.094	62,87
2032	10.386	9.867	88.762	922	28.081	62,84
2033	10.379	9.860	88.699	921	28.061	62,79
2034	10.367	9.849	88.600	920	28.030	62,72
2035	10.353	9.836	88.481	919	27.992	62,64

Fuente: Elaboración propia.

Un gráfico de la proyección de emisiones para MP_{10} y $MP_{2,5}$ se muestra en la Figura 22.

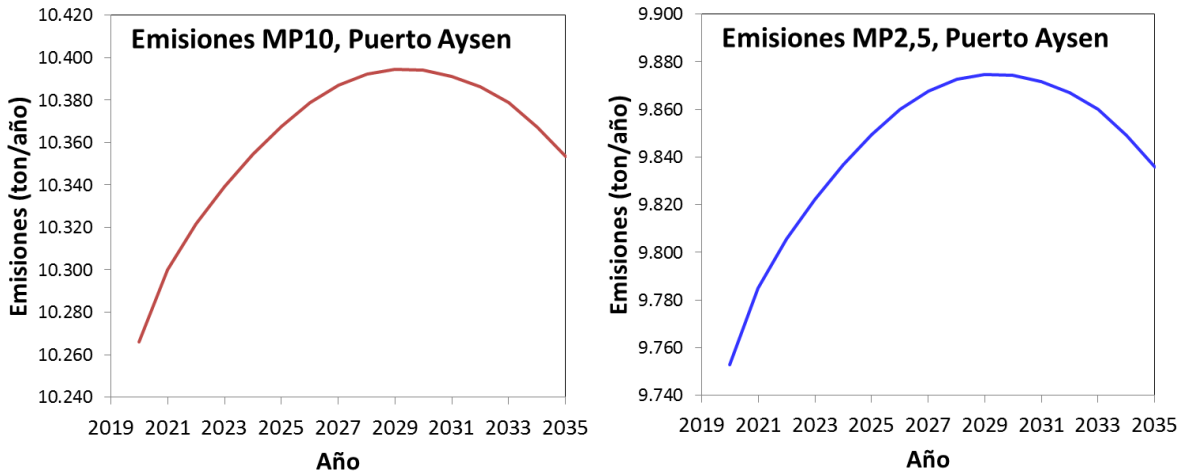


Figura 22. Proyección de emisiones de MP_{10} en Puerto Aysén provenientes de estufas a combustión tomando el año 2020 como base.

La proyección de emisiones para CO, NOx, COV y SOx, cuyos datos están en la Tabla 95, tiene la misma forma que la Figura 22, por lo que no se muestra.

La proyección de emisiones para Puerto Aysén, tomando como base el promedio de los años 2020 – 2022 se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 96. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña. Año base 2020 - 2022.

	Emisiones (ton/año)					
Año	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x	COV	SO_x
2020	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2021	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2022	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2023	10.309	9.793	88.101	915	27.872	62,37
2024	10.324	9.808	88.234	916	27.914	62,47
2025	10.338	9.821	88.346	917	27.949	62,54
2026	10.349	9.831	88.440	918	27.979	62,61
2027	10.357	9.839	88.510	919	28.001	62,66
2028	10.362	9.844	88.556	920	28.016	62,69
2029	10.364	9.846	88.573	920	28.021	62,71
2030	10.364	9.846	88.570	920	28.020	62,70
2031	10.361	9.843	88.545	919	28.013	62,69
2032	10.356	9.838	88.503	919	27.999	62,66
2033	10.349	9.831	88.440	918	27.979	62,61
2034	10.337	9.820	88.342	917	27.948	62,54
2035	10.323	9.807	88.223	916	27.911	62,46

Fuente: Elaboración propia.

Un gráfico de la proyección de emisiones para MP_{10} y $MP_{2,5}$ se muestra en la Figura 23.

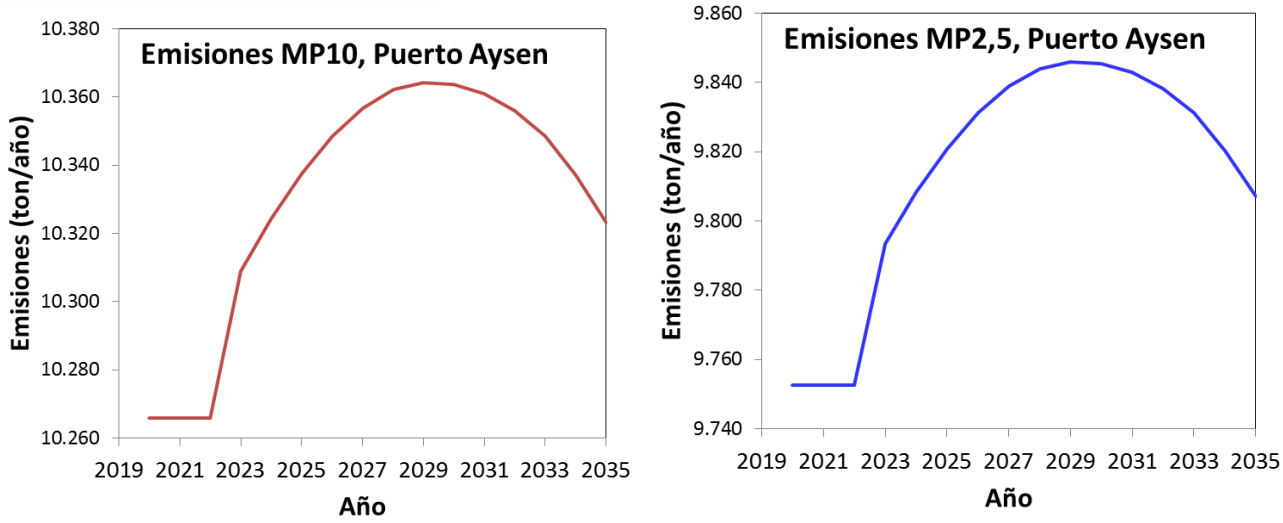


Figura 23. Proyección de emisiones de MP_{10} en Puerto Aysén provenientes de estufas a combustión, tomando como base el promedio de los años 2020 -2022.

Las figuras y las tablas anteriores muestran que no habrá cambios significativos en las emisiones en Puerto Aysén hasta el año 2035. Esto se debe a que las proyecciones de cambio de población son muy pequeñas y si no cambian los porcentajes de uso de estufas en la población, entonces no debería haber cambio en las emisiones.

4.2.3.5.2 Cochrane

Con los supuestos anteriores, las emisiones cambian de acuerdo con la evolución del número de viviendas. Para Cochrane, esto se muestra en la tabla 97 y las figuras siguientes.

Tabla 97. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña en Cochrane. Año base 2020.

	Emisiones (ton/año)					
Año	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x	COV	SO_x
2020	1.758	1.670	15.106	149	4.755	11
2021	1.767	1.678	15.184	150	4.780	11
2022	1.773	1.685	15.242	151	4.798	11
2023	1.780	1.691	15.295	151	4.815	11
2024	1.784	1.695	15.336	152	4.828	11
2025	1.789	1.700	15.377	152	4.841	11
2026	1.793	1.703	15.410	152	4.851	11
2027	1.797	1.707	15.443	153	4.861	11
2028	1.800	1.710	15.467	153	4.869	11
2029	1.802	1.712	15.488	153	4.876	11
2030	1.803	1.713	15.500	153	4.879	11
2031	1.804	1.714	15.508	153	4.882	11

2032	1.805	1.715	15.512	153	4.883	11
2033	1.805	1.715	15.512	153	4.883	11
2034	1.804	1.714	15.508	153	4.882	11
2035	1.803	1.713	15.496	153	4.878	11

Fuente: Elaboración propia.

Un gráfico de la proyección de emisiones para MP_{10} y $MP_{2,5}$ se muestra en la siguiente figura.

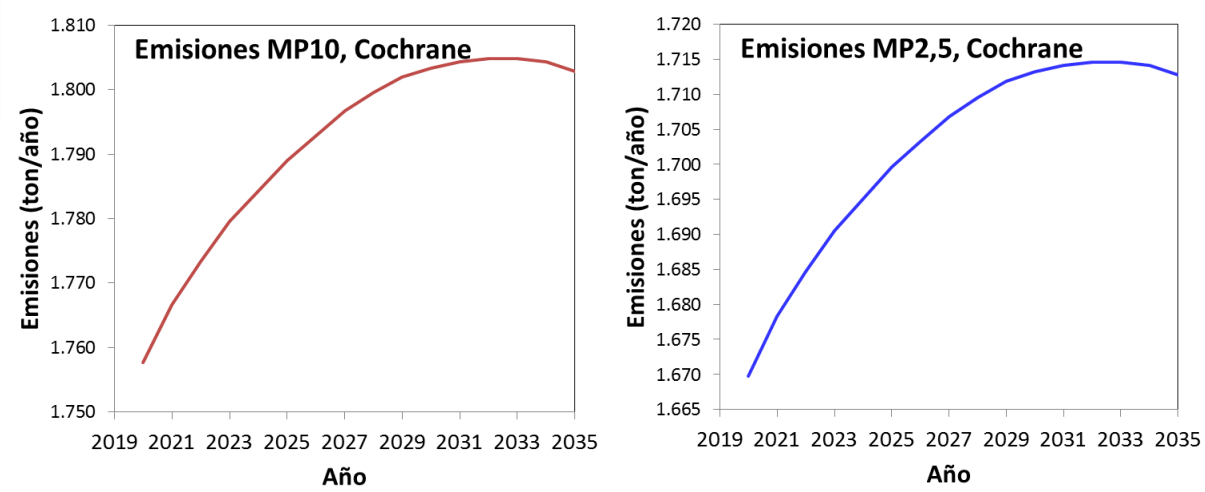


Figura 24. Proyección de emisiones de MP_{10} en Cochrane provenientes de estufas. Año base 2020.

La proyección de emisiones para Puerto Aysén, tomando como base el promedio de los años 2020 – 2022 se muestra en la tabla 95.

Tabla 98. Proyección de emisiones provenientes de estufas a leña en Cochrane. Año base 2020 – 2022.

	Emisiones (ton/año)					
Año	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x	COV	SO_x
2020	1.758	1.670	15.106	149	4.755	11
2021	1.767	1.678	15.184	150	4.780	11
2022	1.773	1.685	15.242	151	4.798	11
2023	1.780	1.691	15.295	151	4.815	11
2024	1.784	1.695	15.336	152	4.828	11
2025	1.789	1.700	15.377	152	4.841	11
2026	1.793	1.703	15.410	152	4.851	11
2027	1.797	1.707	15.443	153	4.861	11
2028	1.800	1.710	15.467	153	4.869	11
2029	1.802	1.712	15.488	153	4.876	11
2030	1.803	1.713	15.500	153	4.879	11
2031	1.804	1.714	15.508	153	4.882	11
2032	1.805	1.715	15.512	153	4.883	11

2033	1.805	1.715	15.512	153	4.883	11
2034	1.804	1.714	15.508	153	4.882	11
2035	1.803	1.713	15.496	153	4.878	11

Fuente: Elaboración propia.

Un gráfico de la proyección de emisiones para MP_{10} y $MP_{2,5}$ tomando como base los años 2020 – 2022, se muestra en la figura 23.

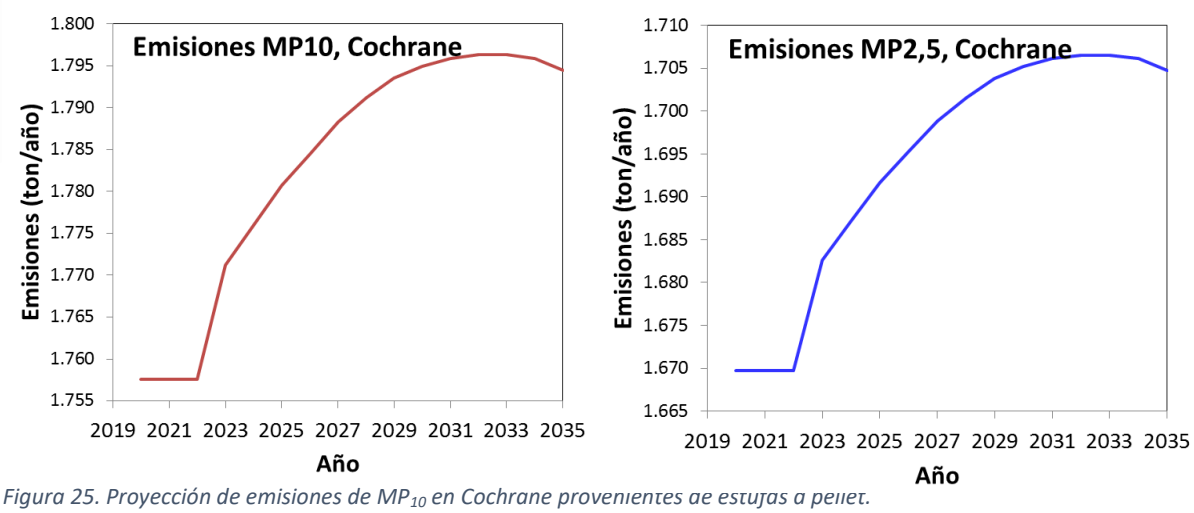


Figura 25. Proyección de emisiones de MP_{10} en Cochrane provenientes de estufas a pellet.

Al igual que para Puerto Aysén, las figuras anteriores, muestran que no habrá cambios significativos en las emisiones en Cochrane hasta el año 2035. Esto se debe a que las proyecciones de cambio de población son muy pequeñas y si no cambian los porcentajes de uso de estufas en la población, entonces no debería haber cambio en las emisiones. Por ello sería importante implementar programas de reemplazo de calefactores, para disminuir el número total de estufas y cocinas a leña.

4.2.3.6 Proyección de las emisiones por incendios forestales.

4.2.3.6.1 Puerto Aysén

De acuerdo con los datos recogidos de la Corporación Nacional Forestal, la superficie total quemada en Puerto Aysén se muestra en la siguiente tabla.

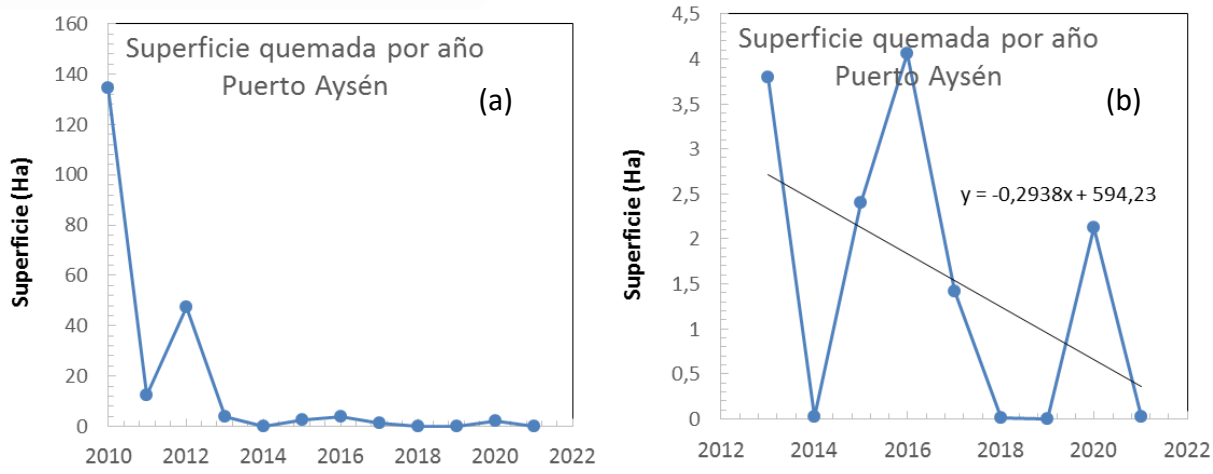


Figura 26. Superficie total quemada en Puerto Aysén desde el año 2010. b) Mismos datos que en a) pero graficados desde 2013 en adelante para calcular la tendencia.

Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra que los incendios en los años 2010 y 2012 fueron mucho más altos que en los años siguientes, esto no permite calcular tendencias con precisión. Por ello, la parte derecha de la imagen anterior muestra la superficie quemada desde el año 2013 en adelante. Este gráfico parece indicar una tendencia a la baja en la cantidad de superficie quemada anualmente. Sin embargo, la variabilidad es tan alta, que no permite calcular curvas de tendencia, sino que solamente permite estimar que superficie total quemada va a ser menor que ~ 3,5 Ha por año.

4.2.3.6.2 Cochrane

Para Cochrane, los datos de la CONAF indican lo que se muestra en la figura 25. En este caso, la superficie es mucho más alta por año que Puerto Aysén y parece indicar una tendencia al aumento. Pero hay una gran variabilidad en los datos, por lo que no es posible determinar una línea de tendencia.

Por esto, sólo se puede decir que la superficie quemada anualmente en Cochrane va a ser aproximadamente de 1800 Ha (promedio de los últimos 10 años.).

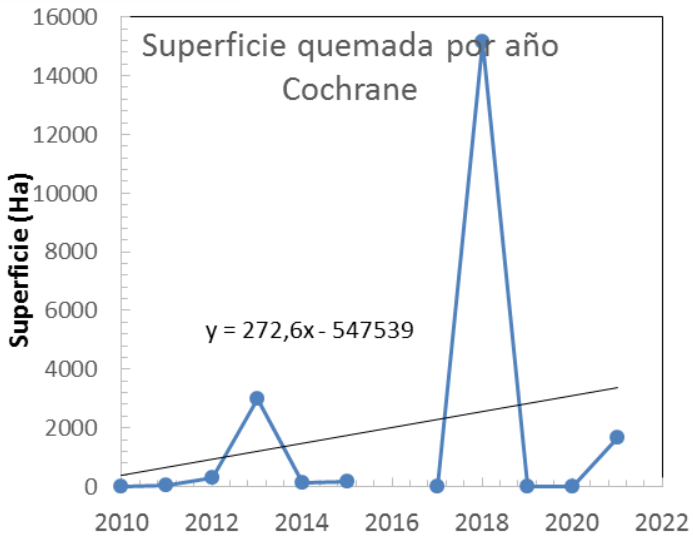


Figura 27. Superficie total quemada en Cochrane desde el año 2010.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.7 Proyección de las emisiones vehiculares.

A partir de los datos de permisos de circulación de los últimos años, se puede establecer la tendencia en la cantidad de vehículos.

4.2.3.7.1 Puerto Aysén

Para Puerto Aysén la figura siguiente muestra el cambio en el número de permisos de circulación de vehículos, desde donde se puede extrapolar la tendencia hasta el año 2035.

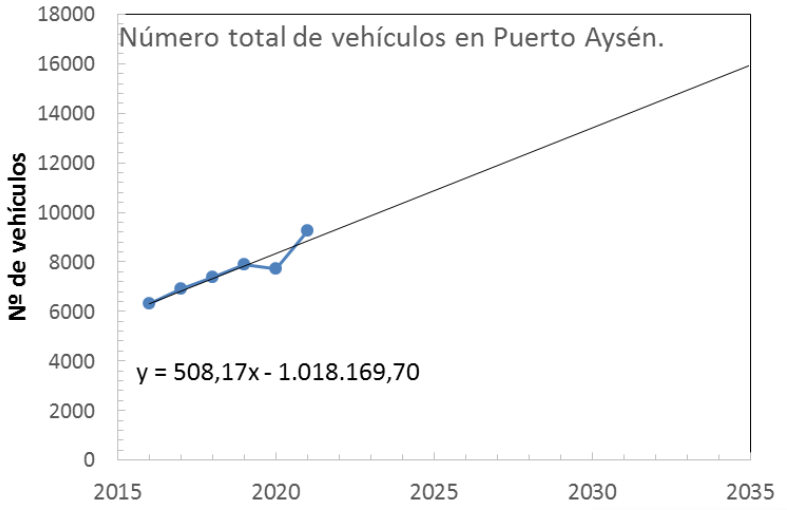


Figura 28. Número total de vehículos en Puerto Aysén y proyección hasta el año 2035.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos de la figura 26 es posible determinar que existe una tendencia al alza en el número total de vehículos. Esta tendencia es de aproximadamente 500 vehículos anuales. Suponiendo que esta tendencia se mantiene, entonces las emisiones de los vehículos van a cambiar proporcionalmente con el aumento en el número de éstos. Utilizando los datos de la Tabla 67, se puede obtener la tendencia en las emisiones, y que se muestran en las figuras siguientes.

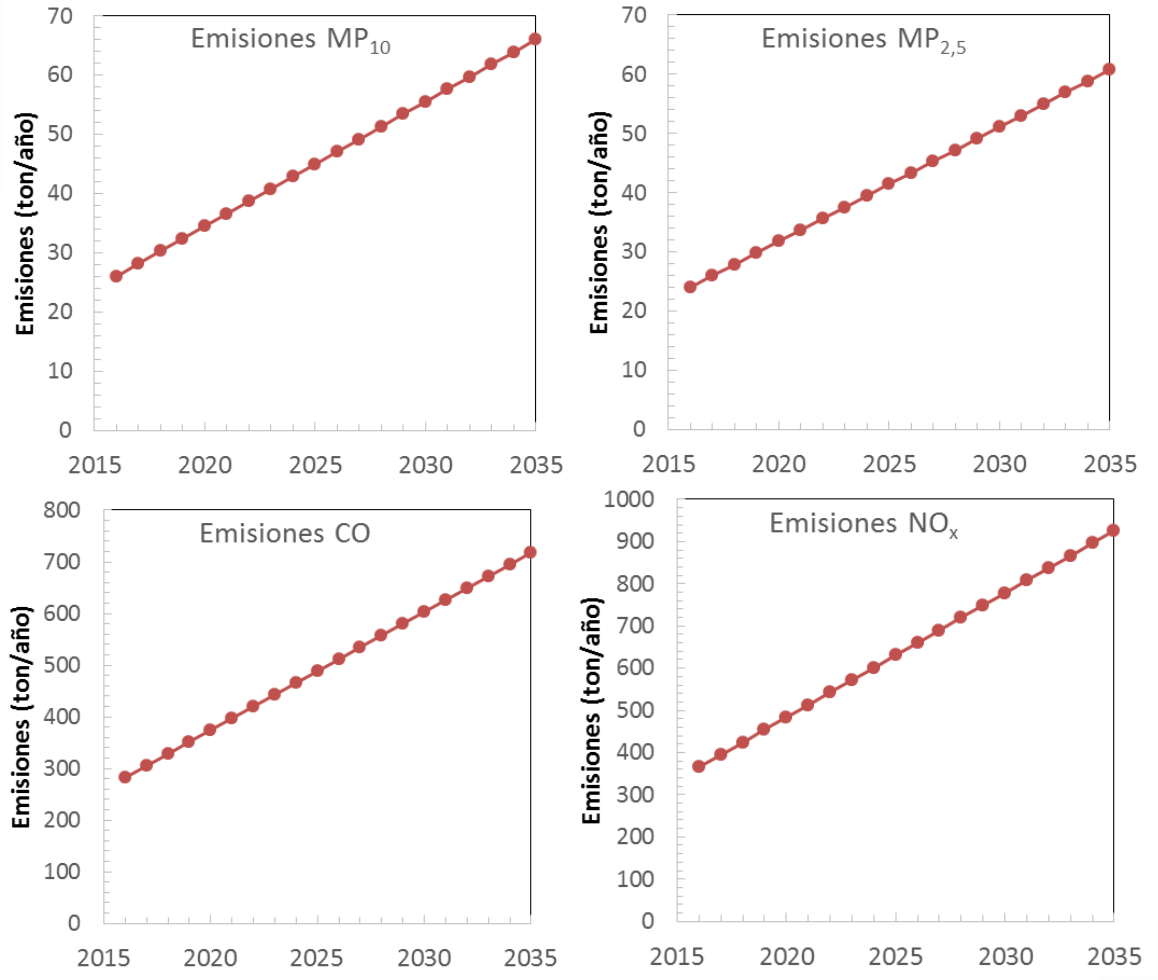


Figura 29. Proyección de las emisiones vehiculares en Puerto Aysén, suponiendo que son proporcionales al aumento en el número de vehículos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.7.2 Cochrane

Para Cochrane la figura siguiente muestra el cambio en el número de permisos de circulación de vehículos, desde donde se puede extrapolar la tendencia hasta el año 2035.

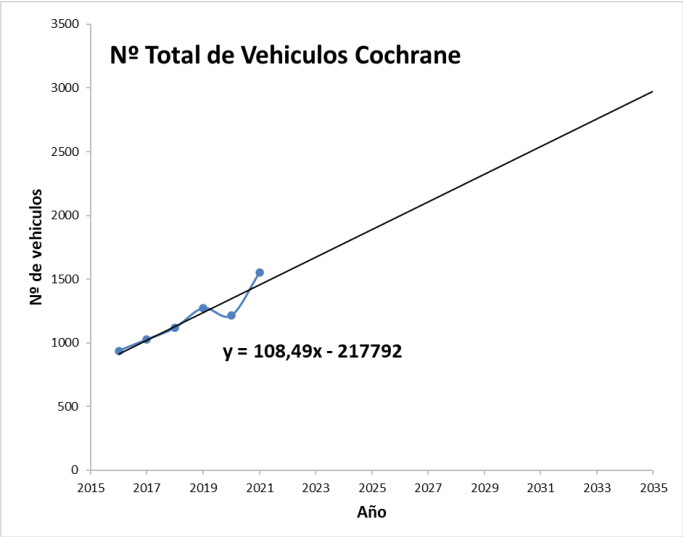
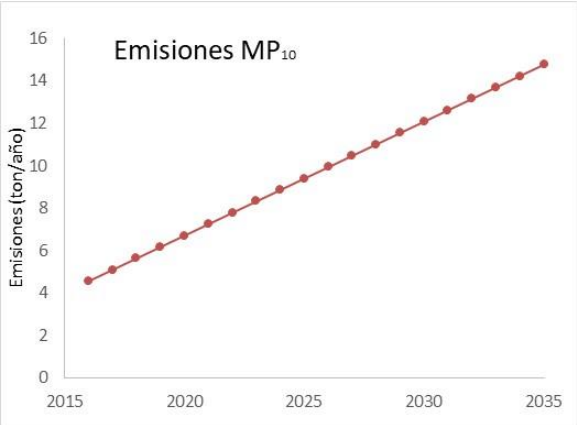
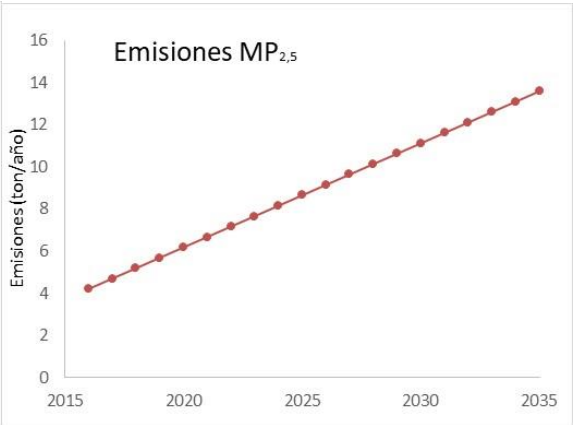


Figura 30. Número total de vehículos en Cochrane.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos de la Figura 28 es posible determinar que existe una tendencia al alza en el número total de vehículos. Esta tendencia es de aproximadamente 100 vehículos anuales. Suponiendo que esta tendencia se mantiene, entonces las emisiones de los vehículos van a cambiar proporcionalmente con el aumento en el número de éstos. Utilizando los datos de la Tabla 66, se puede obtener la tendencia en las emisiones, y que se muestran en las figuras siguientes.





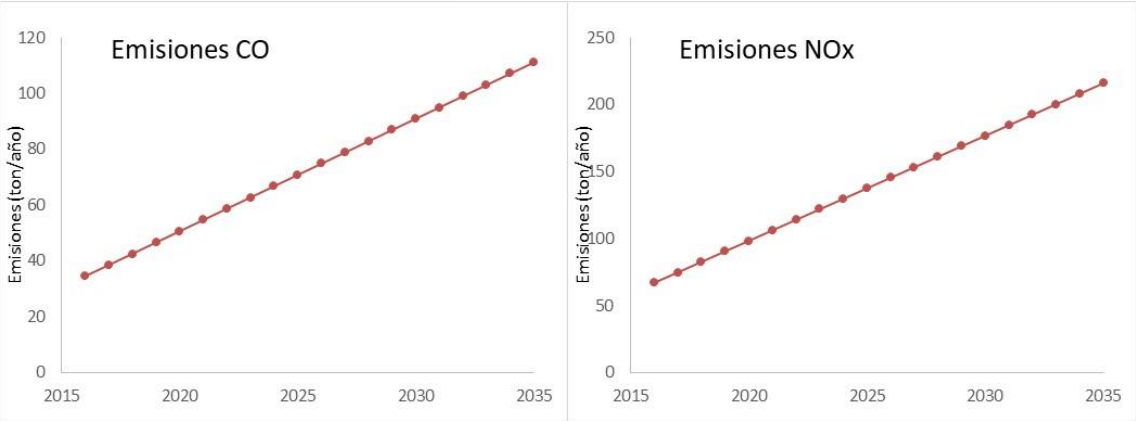


Figura 31. Proyección de las emisiones vehiculares en Cochrane, suponiendo que son proporcionales al aumento en el número de vehículos.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Se deberá presentar la memoria de cálculo de los inventarios de emisiones actual y proyectado

Adjunto a este informe se entregará un Excel llamado "Modelo de Proyecciones" el cual contiene toda la información utilizada para el modelo y las proyecciones de este.

4.2.4.1 Resumen de emisiones.

Se presenta a continuación una tabla con el resumen de las emisiones calculadas para Puerto Aysén.

Tabla 99. Resumen de las emisiones en Puerto Aysén

	Emisiones (ton/año)					
Fuente	**MP_{10}**	**$MP_{2,5}$**	**CO**	**NO_x**	**COV**	**SO_x**
Combust. Leña	7.276 99,4%	6.912 99,4%	62.388 99,3%	648 38,9%	19.737 100,0%	44,2 100,0%
Quemas cont.	0,043 0,0%	0,041 0,0%	0,372 0,0%	0,018 0,0%	0,03 0,0%	
Incendios	5,93 0,1%	5,63 0,1%	46,36 0,1%	1,32 0,1%	7,95 0,1%	
Vehículos	26,1 0,4%	24 0,3%	283,3 0,5%	365,5 21,9%		
Fuentes fijas	9,9 0,1%	9,7 0,1%	129,6 0,2%	651,4 39,1%		0,02 0,0%
Total	**7.318**	**6.951**	**62.848**	**1.666**	**19.745**	**44**

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta a continuación una tabla con el resumen de las emisiones calculadas para Cochrane.

Tabla 100. Resumen de las emisiones en Cochrane

	Emisiones (ton/año)					
Fuente	**MP_{10}**	**$MP_{2,5}$**	**CO**	**NO_x**	**COV**	**SO_x**
Combust. Leña	1.249 94,6%	1.187 94,6%	21.484 91,6%	212 67,0%	6.764 98,7%	15 99,6%
Quemas cont.	3,56 0,3%	3,38 0,3%	30,8 0,1%	1,46 0,5%	2,47 0,0%	
Incendios	63,61 4,8%	60,43 4,8%	497,98 2,1%	14,17 4,5%	85,42 1,2%	
Vehículos	4,57 0,3%	4,2 0,3%	34,38 0,1%	66,83 21,1%		
Fuentes fijas	0,002 0,0%	0,001 0,0%	1.406 6,0%	22,18 7,0%		0,058 0,4%
Total	**1.321**	**1.255**	**23.453**	**317**	**6.852**	**15**

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4.2 Resumen de Proyección de emisiones.

Se presenta a continuación una tabla resumen de la proyección de emisiones calculadas para Puerto Aysén del año 2020 a 2035.

Tabla 101. Proyección de emisiones Puerto Aysén (ton/año), base 2020-2022.

Proyección de emisiones Puerto Aysén (ton/año), base 2020-2022.						
Año	**MP_{10}**	**$MP_{2,5}$**	**CO**	**NO_x**	**COV**	**SO_x**
2020	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2021	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2022	10.266	9.753	87.734	911	27.756	62,11
2023	10.309	9.793	88.101	915	27.872	62,37
2024	10.324	9.808	88.234	916	27.914	62,47
2025	10.338	9.821	88.346	917	27.949	62,54
2026	10.349	9.831	88.440	918	27.979	62,61
2027	10.357	9.839	88.510	919	28.001	62,66
2028	10.362	9.844	88.556	920	28.016	62,69
2029	10.364	9.846	88.573	920	28.021	62,71
2030	10.364	9.846	88.570	920	28.020	62,70
2031	10.361	9.843	88.545	919	28.013	62,69
2032	10.356	9.838	88.503	919	27.999	62,66
2033	10.349	9.831	88.440	918	27.979	62,61
2034	10.337	9.820	88.342	917	27.948	62,54
2035	10.323	9.807	88.223	916	27.911	62,46

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta a continuación una tabla resumen de la proyección de emisiones calculadas para Cochrane del año 2020 a 2035.

Tabla 102. Proyección de emisiones Cochrane (ton/año), base 2020-2022.

Proyección de emisiones en Cochrane (ton/año), base 2020-2022.						
Año	MP_{10}	$MP_{2,5}$	CO	NO_x	COV	SO_x
2020	1.758	1.670	15.106	149	4.755	11
2021	1.758	1.670	15.106	149	4.755	11
2022	1.758	1.670	15.106	149	4.755	11
2023	1.771	1.683	15.223	150	4.792	11
2024	1.776	1.687	15.264	151	4.805	11
2025	1.781	1.692	15.305	151	4.818	11
2026	1.785	1.695	15.338	152	4.828	11
2027	1.788	1.699	15.370	152	4.839	11
2028	1.791	1.702	15.395	152	4.846	11
2029	1.794	1.704	15.415	152	4.853	11
2030	1.795	1.705	15.427	152	4.857	11
2031	1.796	1.706	15.436	153	4.859	11
2032	1.796	1.707	15.440	153	4.860	11
2033	1.796	1.707	15.440	153	4.860	11
2034	1.796	1.706	15.436	153	4.859	11

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Objetivo específico Nº3

4.3.1 Analizar las medidas que se encuentran en el PDA de Coyhaique, Temuco – Padre Las Casas, Valdivia y Osorno, con énfasis en las medidas asociadas a la combustión residencial de leña.

4.3.1.1 Comparativa de Planes de descontaminación

Para la comparación se considerarán los planes de descontaminación ambiental de Coyhaique, Temuco- Padre las Casas, Valdivia y Osorno.

Tabla 103. Comparativa de los planes de descontaminación ambiental de Coyhaique, Temuco-Padre las Casas, Valdivia y Osorno.

Medida	Temuco- Padre las Casas	Osorno	Valdivia	Coyhaique
Nº de subsidios de viviendas	40.000	15.000	18.000	7.000
Estándar aislación Térmica	U Techumbre 0,25 U Muro 0,45 U Ventana 3,6 U Puerta 1,7 U Piso Ventilado 0,5 Infiltraciones 7 Grado estanqueidad 10	U Techumbre 0,33 U Muro 0,40 U Ventana U Puerta Infiltraciones 5	U Techumbre 0,28 U Muro 0,4 U Ventana 3,6 U Puerta 1,7 U Piso Ventilado 0,39 Infiltraciones 5 Grado estanqueidad 7	U Techumbre 0,25 U Muro 0,35 U Ventana 3,6 U Puerta 1,7 U Piso Ventilado 0,32 Infiltraciones 4 Grado estanqueidad 7
Nº Recambios	27.000	25.000	26.000	15.000
Leña seca	No hay	100% (no se cumplió)	No hay medida asociada a stock de laña seca	100.000 m^3 de leña seca anual
Incentivo Calefacción distrital	Estudio evaluación con MINVU/ Exento de paralizar en GEC	No tiene	Estudio para diseño de proyecto en la zona saturada (MMA- Energía y MINVU)	Se eximen de compensar proyectos inmobiliarios que entrar al SEIA/ SEREMI MMA dará continuidad al proyecto CD con fondos Gore
Ordenanza de leña	Tiene desde antes del PDA	No tiene	Hay propuesta por PDA, pero no fue publicada	Hay propuesta por PDA, pero aún no se publica
Prohibición artefactos a leña por sector	01/01/2016 uso de calefactores unitarios a leña en establecimientos comerciales y de servicios 17/11/2016 uso de calefactores a leña en Organismos de Administración del Estado	Desde el 2 do año artefactos a leña en edificios del estado y municipales y establecimientos comerciales Desde el 3er año, artefactos unitarios a leña en edificios y condominios sociales	A partir del 1 01 2018 se prohíbe la utilización de calefactores unitarios a leña en el interior de establecimientos comerciales, que no cumplan con la Norma de Emisión A partir del 1 01 2018 se prohíbe el uso de calefactores unitarios a leña que no cumplan con la norma de emisión, en todos los organismos e instituciones de la Administración Pública, tanto del Estado como Municipal	En medidas permanentes de GEC
Prohibición artefactos a leña según tecnología	2015 chimeneas 2018 hechizas, salamandras y	Desde publicación, chimeneas hogar abierto 2016	Desde la vigencia del plan se prohíbe el uso de chimeneas de hogar abierto Desde el 1 01 2022 se	A partir de la entrada en vigencia del presente decreto, la utilización de chimeneas de

	cámara simple; 2020 calefactores no certificados; 2023 cocinas que no cumplan norma INN	Desde el 9 no año, calefactores a leña no certificados	prohíbe el uso de calefactores cámara simple, salamandras y hechizos Desde el 1 01 2025 se prohíbe el uso de todos los calefactores a leña que no cumplan con el DS 39 2011 del MMA	hogar abierto y 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 A partir del 1 de enero de 2021 el uso de calefactores a leña del tipo hechizo y salamandras A partir del 1 de enero de 2025 el uso de calefactores a leña del tipo cámara simple
Reporte de leña y pellets	Lo realiza SEREMI MMA	No tiene	Art 18 La SEREMI de MA, en conjunto con SERNAC, darán a conocer mensualmente los establecimientos formales que cuentan con stock de leña seca	Lo realiza la SEREMI de Energía
Restricciones a actividades deportivas en GEC	La SEREMI de Educación podrá suspender las actividades físicas y deportivas al aire libre para la totalidad de la comunidad escolar de las comunas de la zona saturada en aquellos días en que se declare un episodio crítico	No tiene	No tiene	Recomendaciones de actividad física de baja intensidad
Fiscalización GEC	SEREMI SALUD	SEREMI SALUD	ORGANISMOS COMPETENTES	No considera fiscalización en la GEC, pero Seremi Salud lo hace en el marco de las alertas sanitarias
Fiscalización PDA	SMA	SMA	SMA	SMA
Programas complementarios	Actualización inventario emisiones cada 3 años SEREMI del Medio Ambiente se coordinará con el Gobierno Regional de la Araucanía para promover la investigación y desarrollo en las áreas de	No tiene	No tiene	Incorpora en el SNCAE y FPA la temática de calidad del aire. Por 5 años SEREMI de Agricultura establecerá un programa de arborización urbana dentro de la zona saturada.

	mejoramiento tecnológico de artefactos. Diseño de sistemas de calefacción innovadores de bajas emisiones y de alta eficiencia energética Tecnologías alternativas y de bajo costo de aislación de viviendas y uso eficiente de la energía en la vivienda. Arborización urbana 3 mil árboles anuales Auditoría PDA al 4to año			
Medidas permanentes en GEC	1) Desde 17 11 2020 Prohibición de humos visibles todo el día 2) sólo uso de leña seca 3) sólo venta de leña seca	Plan comunicacional	La SEREMI de Educación podrá suspender las actividades físicas y deportivas al aire libre y recintos cerrados, para la totalidad de la comunidad escolar de la zona saturada en aquellos días en que se declare un episodio crítico	Se prohíbe en forma permanente la utilización de calefactores a leña en establecimientos comerciales y en dependencias de organismos de la Administración del Estado y municipales Se entiende por establecimiento comercial aquel establecido con patente comercial
Alerta	Recomendaciones a la salud Prohibición de funcionamiento de más de 1 calefactor a leña por vivienda entre 18 y 6 hrs	No se permitirán en las zonas territoriales que la autoridad determine, entre las 00 y las 24 hrs, humos visibles	Prohibición del uso de más de un calefactor a leña por vivienda las 24 horas. Se sugiere aplicar "Guía de recomendaciones de Actividad Física con Alerta Ambiental"	Recomendaciones a la salud. Prohibición de funcionamiento de más de 1 calefactor a leña por vivienda durante las 24 horas
Preemergencia	Desde 2020 prohibición de uso de calefactores a leña de 18 hrs a 06 am. Prohibición de uso de calderas domiciliarias a leña (menor a 75 kwt). Prohibición de calderas con emisiones sobre 50 mg/m 3 en zona saturada por 24 hrs.	Desde el 2022 no se permitirán en las zonas territoriales que la autoridad determine, entre las 00 00 y las 24 00 horas, humos visibles Se prohíbe el uso simultáneo de dos o más artefactos a leña por vivienda, durante todo el día 00 a 24 hrs.	Prohibición del uso de más de un calefactor a leña por vivienda las 24 horas. Esta medida se aplicará por zona territorial. Prohibición del uso de los calefactores y cocinas a leña desde las 18 hasta las 06 hrs. Prohibición, entre las 18 hasta las 6 hrs del funcionamiento de calderas a leña con una	Recomendaciones a la salud. Prohibición de funcionamiento de más de 1 calefactor a leña por vivienda. Fiscalización humos visibles en zonas territoriales. Prohibición de funcionamiento de calderas con emisiones mayores a 50 mg/Nm^3 desde las 06 y hasta las 18 hrs.

			potencia térmica nominal menor a 75 kWt. Prohibición, entre las 18 hasta las 06 hrs del funcionamiento de calderas que presenten emisiones mayores o iguales a 30 mg/Nm^3 de material particulado. Se sugiere aplicar "Guía de recomendaciones de Actividad Física con Alerta Ambiental"	
Emergencia	Desde 2020 prohibición de uso de calefactores a leña por 24 hrs en zona saturada prohibición de uso de calderas domiciliarias (menor a 75 kwt) prohibición de calderas industriales y de calefacción con emisiones sobre 50 mg/m^3 en zona saturada.	No se permitirán en las zonas territoriales que la autoridad determine, entre las 18 y las 24 horas, humos visibles. Se prohibirá en la zona saturada, entre las 18 y las 06 horas, el funcionamiento de calderas que presenten emisiones mayores o iguales a 50 mg/m^{3}N de material particulado.	Prohibición del uso de más de un calefactor a leña por vivienda las 24 horas. Esta medida se aplicará por zona territorial. Prohibición del uso de los calefactores y cocinas a leña desde las 18 hasta las 06 hrs. Prohibición, entre las 18 hasta las 6 hrs del funcionamiento de calderas a leña con una potencia térmica nominal menor a 75 kWt. Prohibición, entre las 18 hasta las 06 hrs del funcionamiento de calderas que presenten emisiones mayores o iguales a 30 mg/Nm^3 de material particulado. Se sugiere aplicar "Guía de recomendaciones de Actividad Física con Alerta Ambiental"	Recomendaciones a la salud. Prohibición de funcionamiento de más de 1 calefactor a leña por vivienda.

4.3.1.2 Reacondicionamiento térmico

A continuación, se analiza el efecto de los requerimientos de la envolvente térmica de los planes de descontaminación.

Los elementos principales para considerar en el análisis son la aislación de muros, techos, ventanas y hermeticidad (o nivel de infiltraciones).

En este análisis no se considera la aislación de las puertas ya que son elementos de poca superficie y en general; por lo mismo, tienen bajos estándares en los PDA y aportan poco a la disminución de la demanda. Además, el grado de estanqueidad no se considera en forma independiente ya que está incluido en forma implícita en la hermeticidad de la vivienda. En efecto, la hermeticidad e infiltraciones se deben considerar en forma simultánea ya que ambas tienen influencias entre sí, y por tanto en este análisis se trabajan en conjunto. Esto implica, por ejemplo, qué según la hermeticidad exigida se tiene una ventilación de 0,25 ren/h, pero según la ventilación requerida del punto de vista higiénico se requieren 0,7 ren/h, para el cálculo energético se considera el valor mayor, es decir en este caso 0,7 ren/h.

Para este estudio, se definen una serie de tipologías para hacer un análisis detallado de la situación que se tendría en Puerto Aysén y Cochrane. En esta parte se consideran 4 de estas tipologías, la 1, 5, 6 y 7. En Anexo 8 se detallan las tipologías y se explican sus orígenes, los que provienen de estudios previos en la zona y también de información indicada previamente en este estudio.

El primer análisis que se hace es respecto de las viviendas nuevas. Es decir, cuanto mejora la reducción estimada de demanda y por tanto en la reducción de consumo de energía y de emisiones en función de los diferentes estándares de construcción. Se entiende por estándares de construcción a los estándares impuestos por la O.G.U.C. y los PDA. En esta parte se realizará un análisis más bien genérico y más adelante se hace un análisis más detallado aplicado específicamente y con más detalle a las zonas en estudio.

En el Anexo 9 se muestran los resultados con la estimación de la demanda de energía en calefacción para las viviendas que cumplen con la O.G.U.C. y la demanda estimada con los estándares PDA.

En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de ahorro respecto a la referencia y los niveles de calificación estimados que obtendría en la CEV para cada caso.

Tabla 104. % de ahorro respecto a la OGUC y nivel de calificación estimado para cada tipología en las diferentes localidades.

	Temuco	Valdivia	Osorno	Coyhaique
T1	57% (B)	55% (B)	53% (C)	44% (C)
T5	60% (B)	59% (B)	60% (B)	40% (D)

T6	66% (B)	53% (C)	53% (C)	30% (D)
T7	56% (B)	54% (C)	54% (C)	39% (D)

El análisis a través de los niveles de calificación no es tan preciso, ya que la calificación o "letra" se genera a través de rangos y esto puede causar algunas confusiones. Los rangos que se consideran en la CEV son los siguientes:

Tabla 105. Definición del nivel de calificación (letra) en función del porcentaje de ahorro en energía respecto al caso que cumple justo con la OGUC.

Nivel	Rango % de ahorro
A+	85 a 100%
A	85 a 70%
B	70 a 55%
C	55 a 40%
D	40 a 20%
E	20 a -10%
F	-10 a -35%
G	-35 a -

Como se ve, una vivienda que tenga un 55.1% de ahorro obtiene una B y una que tenga un 54.9% obtiene C.

El análisis más preciso corresponde al comparar los niveles de ahorro que se obtiene al diseñar y construir una vivienda con el estándar PDA de la cuidad, respecto a lo que se obtendría si se construye solo con estándar OGUC. La figura siguiente muestra los resultados.

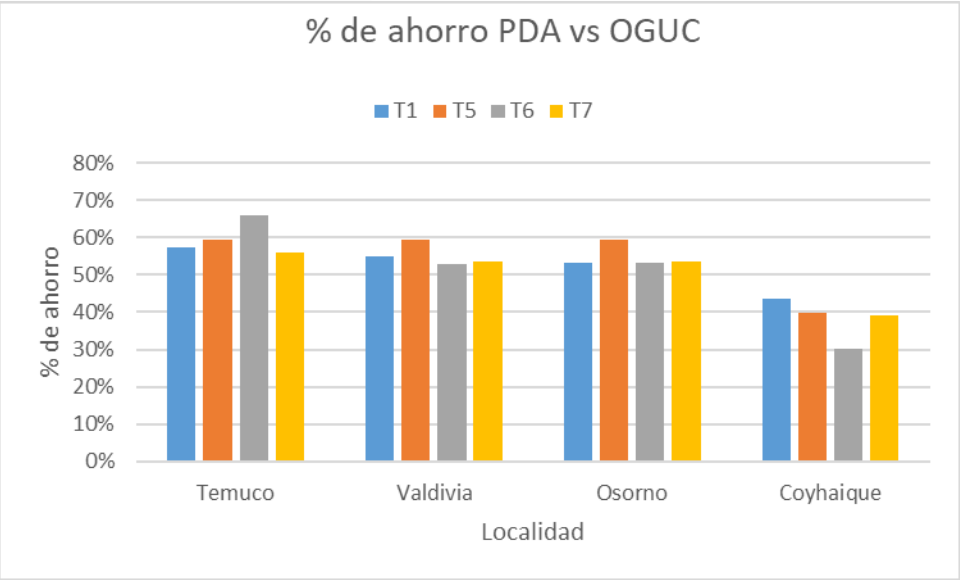


Figura 32. Porcentaje de ahorro para las diferentes tipologías en las diferentes ciudades.

Los ahorros dependen tanto de los estándares de la OGUC como de los estándares definidos en los PDA. Cada tipología tiene diferentes niveles de ahorro, ya que depende de cuál es el estándar OGUC y como se mejoró en el PDA en relación con el componente involucrado. Por ejemplo, la reducción en el consumo generado por un aumento en la aislación del techo tiene menor efecto en una vivienda de 2 pisos que en la de un piso, ya que para el caso de la vivienda de 2 pisos la superficie de techo es menor.

Notar que los ahorros menores se obtienen para la zona de Coyhaique, esto no es por una deficiencia en los requerimientos del PDA de Coyhaique, sino que por que los estándares de la OGUC ya eran muy exigentes para esta zona y por tanto cuesta mucho más cuando se parte de un estándar más exigente. Por otra parte, los ahorros respecto al estándar OGUC son mayores para el caso de Temuco esto es principalmente por que los estándares PDA para Temuco son más estrictos ya que han sido revisado recientemente.

Si se toma el caso de la vivienda existente y se hace una intervención para dejarlas en estándar PDA, los ahorros serían los que se muestran en la figura siguiente.

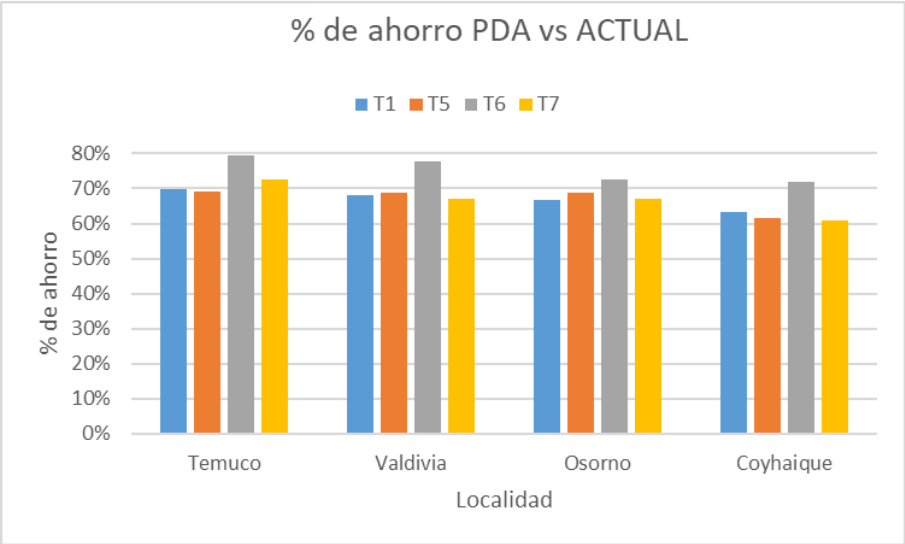


Figura 33. Porcentaje de reducción de la demanda energética en calefacción en relación al consumo de las viviendas actuales.

En el Anexo 9 se indica cómo se estima el consumo actual, que en pocas palabras corresponde a un promedio ponderado entre viviendas sin ninguna aislación con viviendas con estándar OGUC. Debido a esto, es que los ahorros en Coyhaique aumentan más que para el resto de las localidades (respecto al ahorro) con la OGUC, debido a que el efecto de la OGUC se diluye para este caso.

Hay que tener mucho cuidado al interpretar el gráfico anterior, ya que, por ejemplo, en términos relativos la tipología 1 en Temuco tiene una disminución de 58% cuando se comprara con la OGUC y de cerca de 70% cuando se compara con las viviendas existentes. Viendo estas cifras, podría tenderse a pensar que no hay tanta diferencia entre intervenir una vivienda con estándar OGUC que una vivienda existente sin estándar. Este análisis no puede hacerse ya que esto no se puede analizar en términos relativos, sino que debe hacerse en términos absolutos. En efecto la demanda de la tipología 1 baja en 3,658 kWh/año cuando se pasa de un estándar OGUC a PDA, pero baja en 6.278 kWh/año cuando pasa de una vivienda previa a la OGUC a una vivienda PDA.

Por tanto, para mayor detalle se recomienda ver las tablas en los anexos donde se tienen los valores absolutos de las reducciones.

Hay que tener en cuenta que los cálculos son solo teóricos, con los errores propios de la teoría. Además, en estudios previos[32] se ha visto gran dispersión en los resultados de mediciones de consumo de energía en calefacción en viviendas que aparentemente parecen similares. Se estima que esto se debe principalmente a las costumbres y usos que le da la gente al sistema de calefacción. Por tanto, no se espera que estos resultados sean muy válidos para una vivienda específica, pero si se espera que represente en buena forma el promedio para un número grande de viviendas.

[32] Piloto Nacional de Calefacción Eléctrica. InData. 2023.

Además, se debe tener en cuenta que en otros estudios anteriores[33] se ha demostrado que los ahorros que se calculan en forma teórica cuando se interviene una vivienda no se traducen directamente en disminución del consumo energético, sino que una parte se va un ahorro efectivo y otra parte se va a una mejora en la habitabilidad.

Finalmente, se sabe que a medida que las viviendas tienen más aislación los modelos teóricos se alejan más de la realidad ya que por una parte los defectos en la ejecución práctica de la construcción toman un papel más importante y, por otra parte, los modelos teóricos son menos eficientes en estas condiciones ya que los fenómenos físicos que ocurren son más complejos.

Todos estos últimos comentarios sirven para reforzar el hecho de que los resultados que se presentan acá son más bien referenciales y puede que los ahorros que se mencionan acá seguramente no serán exactamente los que se presentan en la práctica, pero muestran los caminos a seguir y eventualmente se deben adoptar factores de seguridad para asegurar el cumplimiento de los objetivos.

4.3.1.3 Recambio de calefactores

Por otra parte, si se mantiene el estándar de la envolvente y se hace un recambio de equipos también se puede lograr una disminución en las emisiones de material particulado. Para analizar esto se estudian los siguientes escenarios.

1. Recambio 100% eléctrico
2. 75% de las viviendas 100% eléctrico
3. 75% de las viviendas con 50% eléctrico y 50% pellets
4. 50% de las viviendas con 50% eléctrico y 50% pellets

Como no se tienen detalles de la configuración de tipologías, ni de los equipamientos de la zona en estudio, se hará un cálculo genérico por kW de energía útil y se utilizaran además algunos datos generales del resto del estudio.

Los escenarios anteriores consideran 2 tipos de combustible que emiten material particulado. Por tanto, lo primero que se hace es estimar en general, la cantidad de material particulado que emite cada combustible por kWh útil de energía aportada a la calefacción.

Para el caso de la leña, se considera un poder calorífico de 4,01 kWh/kg, una eficiencia media obtenida para Puerto Aysén de 51,8 % y una emisión de 9,8 gr/kg de MP, lo que genera una cantidad de 4,8 g/kWh útil. La eficiencia media de 51,8 % se detalla más adelante en el estudio.

[33] Evaluación Independiente del Reacondicionamiento Térmico de Viviendas. Adelqui Fissore y Paula Colonelli. 2013.

Por su parte, para el Pellet se considera un poder calorífico de 5,02 kWh/kg, una eficiencia del calefactor de 90% y una tasa de emisión de 2,1 gr/kg de MP. Con estos datos, se tiene una emisión de 0,46 gr/kWh útil.

Por cierto, se considera que la electricidad no emite material particulado, al menos no en el entorno inmediato donde se tiene el problema específico de alto nivel de material particulado que se desea resolver.

Notar que, a diferencia de la parte inicial del estudio, en esta parte las emisiones se calculan a partir de los consumos estimados de leña y pellet y no del número de horas de uso de los equipos, ya que es la única forma de hacer una buena estimación en los casos en que se desee, por ejemplo, calcular la disminución de emisiones a partir de una mejora en la envolvente térmica de la vivienda.

Si se consideran los diferentes escenarios se tiene la siguiente tabla.

Tabla 106. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados.

	% leña	% Elect.	% Pellet	MP emitido por KWh energía útil (gr/kWh)	Ahorro de MP en relación con el caso base.
base	100%	0%	0%	4,21	
1	0%	100%	0%	0,00	100,0%
2	25%	75%	0%	1,05	75,0%
3	25%	38%	38%	1,25	70,3%
4	50%	25%	25%	2,24	46,9%

La figura siguiente muestra los mismos resultados en forma gráfica.

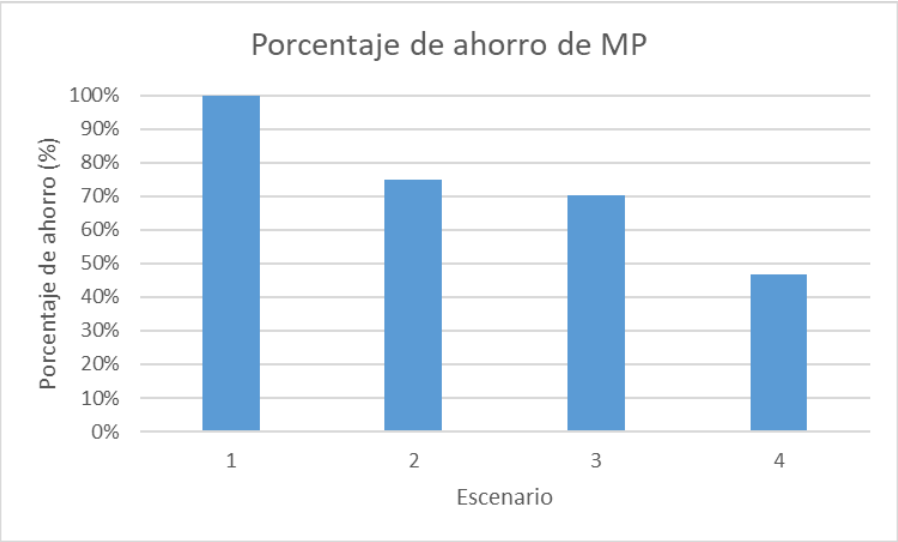


Figura 34. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados

Los resultados de las emisiones para Puerto Aysén en ton/año, se muestran gráficamente en la siguiente figura.

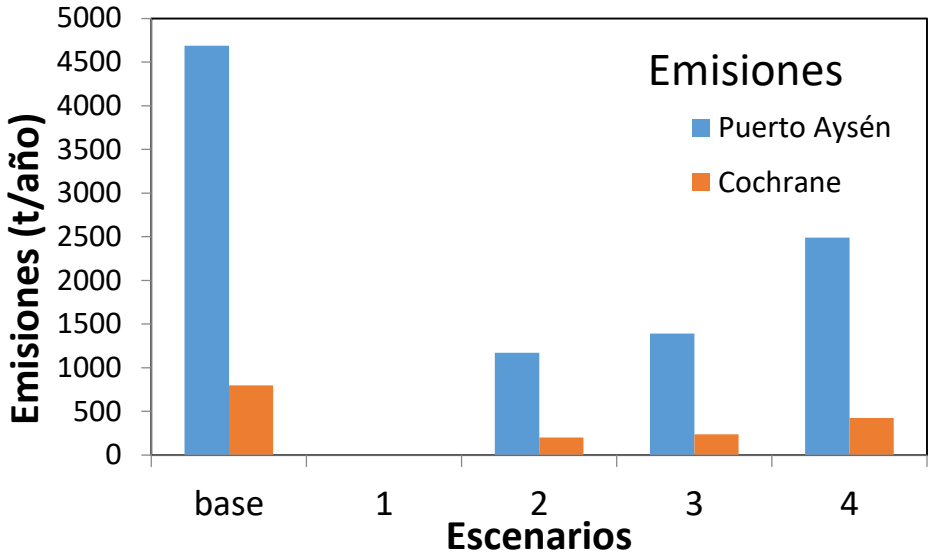


Figura 35.- Reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados.

Notar que los ahorros van de 100% (solo eléctrico) a 47% en el caso 4. Lo único que elimina completamente la emisión de MP es el uso de electricidad. Notar también que las reducciones son muy similares al porcentaje de reducción de leña, ya que en general el Pellet tiene una emisión de MP mucho menor que con leña.

En rigor, acá faltaría otro escenario que es uso 100 % de pellet, que generaría una disminución de MP de 89%. Evidentemente, tiene una reducción menor que el caso 100 de bomba de calor, pero de todas formas es alto. El problema es que como se verá más

adelante, hoy en día la calefacción a pellet tiene un costo de operación significativamente más alto que para el caso de la electricidad con bomba de calor.

Este análisis se hará con más detalle cuando se vea el problema específico en Puerto Aysén y Cochrane.

4.3.2 Comparar distintos escenarios en cuanto a su costo efectividad, respecto de las intervenciones en viviendas y calefacción.

4.3.2.1 Parque de viviendas

4.3.2.1.1 Región de Aysén

En la Región de Aysén según la información entregada por el Censo respecto a viviendas efectivamente censadas se tiene que:

Tabla 107. Viviendas Región de Aysén según Censo.

Viviendas	Censo 1992	Censo 2002	Censo 2017
Totales	21.779	30.012	44.721
Tasa de crecimiento	2,9	3,2	2,7
Porcentaje de Particulares Ocupadas	87,9%	86,0%	86,5%
Porcentaje de particulares desocupadas	11,1%	12,6%	12,3%
Porcentaje de viviendas colectivas	0,9%	1,4%	1,3%

En el total de viviendas se observa un aumento de viviendas, entre los datos censales de 2002 y 2017 (14.709 viviendas más). En el Censo 2017, del total de viviendas (particulares y colectivas) 12,3% corresponden a viviendas desocupadas y 87,7% a ocupadas, porcentajes que se mantuvieron constantes respecto a 2002. Según el Censo de 2017 se identificó un total de 44.721 viviendas en la región de las cuales 44.131 son particulares y 568 son colectivas.

El total de vivienda por área según el Censo:

Tabla 108. Totalidad de viviendas por área según Censo.

Área	Censo 1992	Censo 2002	Censo 2017
Total de viviendas particulares	21.576	29.583	44.153
Urbana	14.257	21.378	31.721
Rural	7.319	8.205	12.432

Según el censo 2017, las viviendas particulares crecieron 49,3% respecto a 2002, pasando de 29.538 a 44.153. Si se realiza una comparación a nivel de áreas geográficas, el aumento de las viviendas particulares en el área urbana fue 48,4% y en las zonas rurales el crecimiento en la cantidad de viviendas superó al urbano, llegando a 51,5%.

El Censo también expone el índice de materialidad de las viviendas, el cual indica las condiciones materiales de las viviendas, a partir de los materiales predominantes en paredes exteriores, cubierta de techo y pisos. Cuando en todos ellos los materiales se clasifican como aceptables, se considera que la vivienda tiene un índice aceptable.

Así, el índice de Materialidad es aceptable cuando las personas declaran que sus paredes exteriores se componen de hormigón armado; albañilería: bloque de cemento, piedra o ladrillo, o tabique forrado por ambas caras (madera o acero); la cubierta del techo tiene tejas o tejuelas de arcilla, metálicas, de cemento, de madera, asfálticas o plásticas; losa de hormigón, o planchas metálicas de zinc, cobre o fibrocemento (tipo pizarreño), y el piso está construido con parquet, piso flotante, cerámico, madera, alfombra, flexit, cubrepiso u otro similar; sobre radier o vigas de madera.

El índice de Materialidad es recuperable si para las paredes exteriores se declara tabique sin forro interior (madera u otro) o adobe, barro, quincha, pirca, u otro artesanal tradicional; si en la cubierta del techo se señala fonolita o plancha de fieltro embreado o paja, coirón, totora o caña, y si en el piso se declara radier sin revestimiento, baldosa de cemento o capa de cemento sobre tierra. El índice de Materialidad es irrecuperable si las paredes exteriores tienen materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.); en la cubierta del techo se declara tener materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.), o sin cubierta sólida en el techo, y cuando en el piso se declara tierra.

Tabla 109. índice de materialidad Región de Aysén respecto al Nacional.

Región	Porcentaje de viviendas con Índice de materialidad (IM) aceptable (%)	Porcentaje de vivienda con Índice de materialidad (IM) recuperable (%)	Porcentaje de vivienda con Índice de materialidad (IM) irrecuperable (%)
Aysén	79,6	18,1	2,3
País	83,1	15,4	1,5

La región de Aysén presento 79,6% de viviendas con Índice de Materialidad Aceptable; 18,1% recuperable y 2,3% irrecuperable.

Tabla 110.Totalidad de viviendas en uso según comuna.

Comuna	Total
Aysén	8.878

Cochrane	1.602

A continuación, se observan las características de las comunas de Puerto Aysén y Cochrane.

4.3.2.1.2 Puerto Aysén

Aysén es una comuna que pertenece a la Región de Aysén, tiene una población aproximada de 23.959 habitantes y una superficie[34] de 29.796 km^2. Dentro de la comuna de Aysén se encuentra la ciudad de Puerto Aysén, que concentra a gran población del área urbana de la comuna.

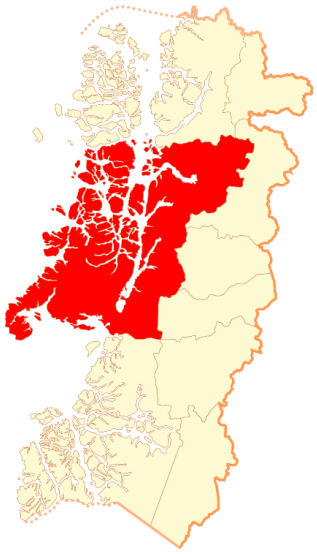


Figura 36. Mapa de la comuna de Aysén.

Tabla 111. Segregación de viviendas según año de construcción, cantidad de pisos de la vivienda, tipo de vivienda, tipo de piso, cantidad de metros cuadrados y materialidad para la comuna de Puerto Aysén.

Año		
Pre-2000	2000-2007	Post-2007
56%	17%	27%
5.426	1.615	2.588
Cantidad de pisos de la vivienda		
1 piso	2 pisos	
60,3%	39,7%	
5.806	3.823	
Tipo de viviendas		
Pareada	Aislada	

[34] Fuente: https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=11201

49,6%	50,4%
4.776	4.853
Tipo de piso	
Ventilado	Radier
37,7%	62,3%
3.630	5.999

Cantidad de metros (m^2)		
0-50	50-100	100+
71%	23%	6%
6.856	2.189	584
Materialidad		
Albañilería de ladrillo	Madera	Perfiles metálicos
108	9629	454

Con la información anterior se establecieron 6 tipologías de viviendas según la mayor representatividad en la comuna para fines de este estudio.

Tabla 112. Tipologías de viviendas utilizadas para el estudio en la comuna de Puerto Aysén.

Puerto Aysén	Pareada	Piso radier	1 piso	12%	T1
			2pisos	19%	T2
		Piso ventilado		19%	T3
	Aislada	Piso radier	1 piso	12%	T4
			2pisos	19%	T5
		Piso ventilado		19%	T6

4.3.2.1.3 Cochrane

La comuna de Cochrane pertenece a la Provincia Capitán Prat en la Región de Aysén. Tiene una superficie aproximada de 8500 km² y una población estimada de 3.490 habitantes, la cual representa el 3% de la población regional. Según datos del Censo de 2017, el 81,4% de la población vive en el área urbana de la comuna.

Figura 37. Mapa para la comuna de Cochrane.

Tabla 113. Segregación de viviendas según año de construcción, cantidad de pisos de la vivienda, tipo de vivienda, tipo de piso, cantidad de metros cuadrados y materialidad para la comuna de Cochrane.

Año de construcción		
Pre-2000	2000-2007	Post-2007
52%	13%	48%
786	193	535
Cantidad de pisos de la vivienda		
1 piso	2 pisos	
67,2	32,8%	
1017	497	
Tipo de viviendas		
Pareada	Aislada	
1,5%	98,5%	
23	1.491	
Tipo de piso		
Ventilado	Radier	
3,8%	96,2%	

58		1.456
Cantidad de metros (m^2)		
0-50		50-100+
83%		17%
1.257		257
Materialidad		
Albañilería de ladrillo	Madera	Perfiles metálicos
11%	86%	3%
197	1.514	52

Con la información anterior se establecieron 4 tipologías de viviendas según la mayor representatividad en la comuna para fines de este estudio.

Tabla 114. Tipologías de viviendas utilizadas para el estudio en la comuna de Cochrane.

Cochrane	Madera	Aislada	Radier	1 piso	Pre-2000	31%	T1
					Post-2000	29%	T2
				2 pisos	Pre-2000	29%	T3
					Post-2000		
	Albañilería de ladrillo					12%	T4

Para fines de este estudio se unificarán las tipologías de la comuna de Puerto Aysén y Cochrane en 8 categorías que se describirán en el siguiente apartado.

4.3.3 En el caso de mejoramiento térmico de viviendas se solicita analizar la reducción de emisiones y los costos de mejoramiento térmico se estime al menos bajo dos escenarios: A) Estándar PDA Coyhaique y B) Estándar PDA Mejorado.

Para analizar el mejoramiento térmico de viviendas se definen 8 tipologías. En todos los casos se considera una vivienda media de 67 m^2 que corresponde al promedio de superficie

de viviendas obtenido de una serie de encuestas aplicadas en la zona en el año 2018 [35] . En el análisis previo de este mismo informe se obtiene por otra vía (datos de SII) una superficie de vivienda menor. Se ha decidido usar este valor ya que se considera más realista, debido a que las ampliaciones en las viviendas no siempre son regularizadas ni se ven reflejadas en los datos del SII.

Las tipologías se diferencian por la materialidad, número de pisos, agrupamiento, etc. La tabla siguiente muestra las características principales de cada tipología.

Tabla 115. Caracteristicas principales de las tipologias y ponderacion para cada uno de las ciudades consideradas.

Tipol.	N Pisos	Agrup.	Tipo Piso	Mat	Ponderación en P. Aisén	Ponderación en Cochrane
T1	1	Pareada	Radier	Madera	12%	0%
T2	2	Pareada	Radier	Madera	19%	0%
T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	19%	0%
T4	1	Aislada	Radier	Madera	12%	59%
T5	2	Aislada	Radier	Madera	19%	29%
T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	19%	0%
T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	0%	6%
T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	0%	6%

Para esta parte del estudio, la definición de las tipologías y la ponderación por localidad difiere un poco a las del análisis anterior, ya que se han considerado los elementos que son realmente relevantes para esta parte del estudio; y, además, tiene el objetivo de mantener el número de tipologías dentro de un valor razonable.

Para el cálculo de la demanda de calefacción se utilizarán varios recursos. En primera instancia se utilizará el modelo de cálculo de la Calificación Energética de Viviendas del MINVU (CEV). Sin embargo, se sabe que esta herramienta sólo debe utilizarse cuando se utiliza como comparativo entre 2 o más viviendas. Por tanto, se utilizará principalmente para ver el efecto que tienen los diferentes estándares de construcción. Sin embargo, en el presente estudio también se requiere tener una estimación del valor absoluto del consumo de combustibles en los diferentes escenarios. Para ello, verificará y se corregirán los valores teóricos con datos de consumo de combustible de la zona que han sido presentado antes en el presente estudio.

Teniendo definidas las tipologías en forma general, para poder calcular la demanda de calefacción, es necesario conocer la superficie de los diferentes elementos de la envolvente, como: superficie de muros, ventanas, techo, etc. Para ello se utiliza el modelo utilizado en proyecto anterior [36] donde se genera esta información para determinar tipologías típicas

[35] informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf (energia.gob.cl)
[36] informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf (energia.gob.cl)

para diferentes zonas del país. Los parámetros del modelo se obtienen a partir de una serie de encuestas para caracterizar las viviendas de cada zona térmica.

Para caracterizar la calidad de la envolvente térmica el procedimiento se basa en los estándares que se tienen en cada caso. Esto sólo es posible usarlo para viviendas construidas con posterioridad a la incorporación de estándares térmicos en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Para las viviendas más antiguas esto es más incierto, ya que por un lado es más difícil estimar los niveles de aislación y por otro lado hay mayor posibilidad de deterioro. Para el procedimiento actual se asume que la demanda de una vivienda construida antes de la OGUC térmica, se obtiene tomando un 80% de una vivienda sin aislación y un 20% de una vivienda de cumple con la OGUC, este valor se obtiene como la proporción que hace igualar los consumos teóricos con los reales obtenidos a partir de la medición del consumo de leña. Por tanto, corresponde a un valor empírico que permite mantener la concordancia entre los consumos calculados en forma teórica y los obtenidos a partir del análisis de la cantidad de leña consumida en la zona. Se debe aclarar entonces que este procedimiento es bastante preciso cuando se comparan los diferentes estándares propuestos (PDA y PDA mejorado) con respecto a los estándares de la OGUC y es un poco menos preciso cuando se compara con viviendas previas a la OGUC o cuando se calculan valores absolutos de consumos energéticos.

La tabla siguiente muestra los valores que definen la calidad de la envolvente utilizados en este estudio.

Tabla 116. Valores que definen la calidad térmica de la envolvente utilizados en el presente estudio.

	Sin aislación	Estándar OGUC	Estándar PDA (Coyhaique)	Estándar PDA mejorado
U muro madera (W/m^2 K)	1,7	0,6	0,35	0,2
U muro ladrillo (W/m^2 K)	2,7	0,6	0,35	0,2
U ventana (W/m^2 K)	5,8	5,8	3,6	3,3
U techo (W/m^2 K)	2,37	0,25	0,25	0,17
U piso vent. (W/m^2 K)	2,55	0,32	0,32	0,32
Hermeticidad (Ren/h a 50 Pa)	-	-	7	7

Fuentes: Sin aislación confección propia, OGUC proviene de OGUC, PDA proviene de Segunda Reunión Comité Operativo PDA Puerto Aysén y PDA mejorado se obtienen de Proyecto CEBE Minvu

El valor de hermeticidad para el caso PDA mejorado, a pesar de que no viene en la propuesta CEBE Minvu, se agrega para mantener los comparativos. No se consideran los niveles de hermeticidad de puertas y ventanas ya que están implícitos en la hermeticidad exigida de la vivienda completa. Para simplificar no se consideran las puertas ya que tienen muy poca influencia en este estudio.

El cálculo de demanda en la CEV arroja resultados muy similares para Puerto Aysén y Cochrane ya que se utiliza el mismo clima (temperaturas ambientales) y lo único que los diferencia es la base de datos de energía solar que utilizan. Previamente se hizo un análisis de los resultados para ambos casos y se encontraron diferencias muy pequeñas. Por tanto, se utilizó el mismo clima para ambas localidades. Esto significa que lo que diferencia los resultados de ambas localidades en el presente estudio es la ponderación de cada vivienda para obtener los valores promedios por zona.

Aplicando la herramienta de cálculo de la CEV para cada caso se obtienen los resultados mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 117. Resultados de las demandas calculadas para cada tipología.

Demanda por tipología (kWh/Viv)				
Tipología	Sin aislación	OGUC	PDA	PDA Mejorado
T1	30.083	9.320	6.720	5.956
T2	21.574	7.698	6.325	4.429
T3	44.756	8.462	6.050	4.998
T4	32.361	9.809	7.236	6.117
T5	23.852	8.985	5.521	4.590
T6	47.101	9.085	6.332	5.126
T7	35.175	14.338	8.275	7.055
T8	25.661	9.025	6.472	5.454
Demanda promedio ponderado por localidad (kWh/Viv)				
Pto Aysén	33.577	8.799	6.278	5.086
Cochrane	29.660	9.795	6.755	5.691

En este punto, falta calcular la demanda de las viviendas actuales, para ello solo se consideran los promedios por localidad, ya que el resto de los aspectos no interviene en el problema ni en la forma de resolverlo. La tabla siguiente muestra el procedimiento para el cálculo de la demanda de las viviendas actuales.

Tabla 118. Procedimiento para el cálculo de la demanda de calefacción en las viviendas actuales.

	Pto Aysén	Cochrane
Demanda sin aislación (kWh/viv)	33.577	29.660
Demanda OGUC (kWh/viv)	8.799	9.795
% sin aislación	70%	70%
Demanda anterior OGUC (kWh/viv)	26.144	23.701
% viv pre OGUC	73,0%	65,0%
Demanda actual (promedio) kWh/viv	21.461	18.833

Las 2 primeras líneas se obtienen de la tabla anterior. La demanda de las viviendas anteriores a la OGUC se obtiene con un promedio ponderado entre las viviendas sin aislación y las viviendas OGUC según ponderación indicada antes. Luego, la demanda actual se obtiene de un promedio ponderado entre las viviendas previas a la OGUC y las viviendas OGUC según una ponderación obtenida del análisis anterior del presente informe. Los resultados previos muestran que en Puerto Aysén el 73% de las viviendas fueron construidas antes de la OGUC y para Cochrane el 65%.

Teniendo las demandas, se calcula ahora los consumos para hacer la corrección con los valores de consumo de leña conocidos. La tabla siguiente ilustra el procedimiento usado para el cálculo de la eficiencia media de los artefactos a leña utilizado en la actualidad para calefacción.

Tabla 119. Procedimiento para el cálculo de la eficiencia promedio de los sistemas que usan leña.

	Puerto Aysén	Cochrane
Eficiencia %		
Calefactor a leña	60	60
Cocina leña	40	40
% de uso		
Calefactor a leña	58,9	57,4
Cocina leña	41,1	42,6
Eficiencia media ponderada para la leña		
	51,8%	51,5%

El procedimiento se basa en obtener un promedio ponderado entre los sistemas de calefacción con calefactores y los que utilizan cocina a leña para calefaccionar.

Los porcentajes de uso de calefactor a leña y cocina a leña se obtiene de la parte previa del presente estudio.

El consumo de energía se calcula como la demanda dividida por las eficiencias de los sistemas. Dado que el uso de otros sistemas de calefacción como pellet y otros es mucho menor a la leña, para el cálculo del consumo se considera sólo la eficiencia media de los sistemas con leña.

De esta forma se obtiene que el consumo teórico medio por vivienda para las viviendas actuales es de 41.451 kWh/año para Puerto Aysén y de 36.377 kWh/año para las viviendas de Cochrane. Del análisis del consumo de leña visto antes en el presente estudio se obtiene que el consumo medio por vivienda para Puerto Aysén es de 44.900 kWh/año. Por tanto, la relación entre el cálculo teórico y el obtenido a partir de la medición de la leña es de 1.08. Por tanto, para el resto del estudio se multiplicarán todas las demandas y consumos teóricos por este factor para aproximarse a demandas y consumos reales.

La tabla siguiente muestra las demandas corregidas por el factor anterior y que serán utilizados en el resto del estudio.

Tabla 120. Demandas de calefacción corregidas

	Pto Aysén	Cochrane
Demanda actual (kWh/viv)	23.246	20.400
Demanda OGUC (kWh/viv)	9.531	10.609
Demanda PDA (kWh/viv)	6.800	7.317
Demanda PDA mejorada (kWh/viv)	5.509	6.164

A partir de los resultados de la tabla anterior se obtiene la tabla siguiente que muestra los porcentajes de en la demanda de calefacción y una estimación de la letra asignada en la etiqueta de la vivienda.

Tabla 121. Porcentajes de ahorro y estimación de la letra de la calificación. Los porcentajes de ahorro son con respecto a la vivienda con estándar OGUC.

	% de ahorro		Calificación CEV estimada	
	Pto Aysén	Cochrane	Pto Aysén	Cochrane
PDA	28,7%	31,0%	D	D
PDA mejorado	42,2%	41,9%	C	C

Si bien, entre el PDA mejorado y el PDA cambia la letra de D a C, esto es meramente circunstancial ya que el límite para el cambio de letra de la calificación en este rango es 40%. Por tanto, con ahorro bajo 40% queda en D y sobre 40% queda en C.

El ahorro medio estimado entre el PDA y PDA mejorado es de 12% de la demanda de la vivienda OGUC. Es decir, el estándar PDA mejorado disminuye en un 12% la emisión de material particulado respecto al PDA de Coyhaique. Notar que el estándar PDA mejorado requiere aumentar el espesor de aislación de los muros de 10 a 20 cm y aumentar el espesor de aislación del techo de 15 a 25 cm. Respecto a las ventanas, la exigencia del PDA corresponde a usar vidrio termopanel con espaciador de 6 mm y para el PDA mejorado usar un espaciador de 6 mm más un marco con rotura de puente térmico.

En este punto es necesario hacer un análisis mucho más profundo y además hacer un análisis más holístico e incorporar el equipo de calefacción. No es posible hacer un análisis correcto del tema tratando en forma separada la envolvente de los equipos. Sin embargo, como ordenamiento del estudio primero se hace un análisis del punto de vista de la envolvente y en la próxima parte de este estudio se hace un análisis de los equipos y recién después del próximo análisis se podrán obtener las conclusiones.

Volviendo al tema de la envolvente, el primer análisis se realiza respecto a la curva de disminución de las pérdidas de calor en un muro con el aumento del espesor de aislación. La figura siguiente muestra esta relación.

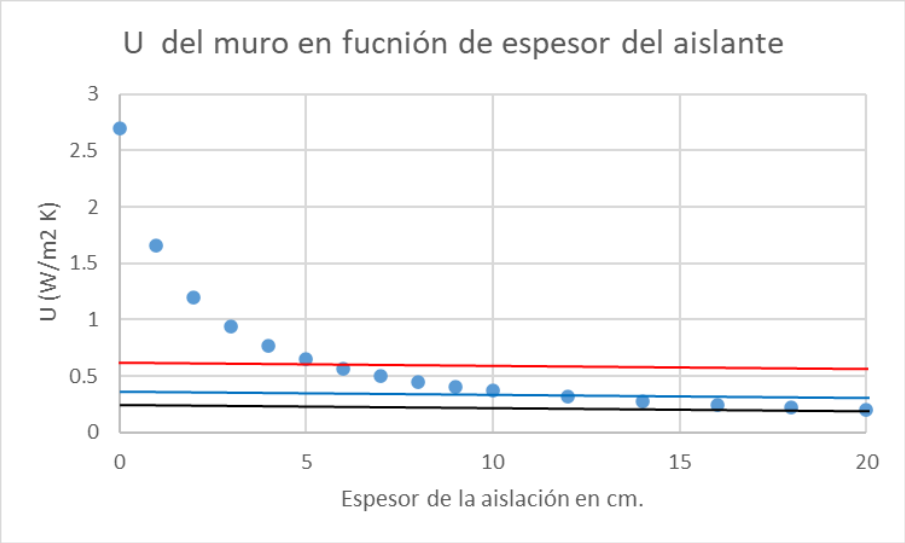


Figura 38. Coeficiente global de transferencia de calor (U) en función del espesor de la aislación para un muro de ladrillo

Como se sabe, el valor de U es directamente proporcional a la pérdida de calor en el muro. Es decir, si el U baja a la mitad, la pérdida de calor también baja a la mitad. La primera línea (roja) corresponde al U de la OGUC (0,6) que requiere un espesor de aislante de 5 cm aproximadamente. La segunda corresponde al PDA de Coyhaique (0,35) que requiere 10 cm de aislante aproximadamente y la última es el PDA mejorado (0,2) que requiere 20 cm de aislante. Por tanto, se debe analizar con mucho cuidado cual es el nivel adecuado de aislación a imponer ya que los últimos 10 cm de aislante aportan en la práctica una reducción muy pequeña en la pérdida de calor del muro.

También es necesario hacer un análisis respecto a la exigencia de hermeticidad de la vivienda. Se realiza el cálculo, en base a la CEV para la tipología 1 con estándar PDA, pero en un caso se considera la hermeticidad exigida y en el otro no. La disminución en la demanda es de 1,3%. Es decir, reduce en 1,3% la emisión de MP cuando se cumple con los estándares de hermeticidad respecto al caso en que no se cumple. Esto pasa porque de todas formas se requiere un nivel mínimo de ventilación de la vivienda (del punto de vista higiénico y de habitabilidad) el cual se asume que se debe proveer de alguna forma. Esto implica que en forma natural (sin elementos de hermeticidad adicionales) la vivienda la cumple más o menos ajustada con la ventilación mínima, por tanto, no se gana mucho con hermetizar la vivienda ya que requeriría de ventilación extra. En el Manual de la CEV se pueden obtener más antecedentes respecto a esto. Sin embargo, si junto con el aumento de la hermeticidad se utiliza un recuperador de calor, la reducción es muy significativa. En efecto, si para el mismo caso anterior se utiliza un recuperador de calor con eficiencia de 75%, se utiliza un control de la ventilación a partir de la medición de CO_2 y se mantiene el requerimiento de hermeticidad se logra un ahorro de 38% en la demanda de energía (o un

38% de reducción de la emisión de MP. Por tanto, la recomendación acá parece clara, si se exige una hermeticidad de 7 ren/hora a 50 Pa, es muy importante exigir también un recuperador de calor controlado por un medidor de CO_2, de lo contrario, en la mayoría de los casos no sería muy efectiva esta medida.

Respecto a la exigencia de un U de la ventana de 3,3 en el PDA mejorado respecto a un U de 3,6 para el PDA, si se realiza la simulación de ambos casos se obtiene una reducción de 1% cuando se aplica a la tipología 1. Recordar que este efecto se obtiene usando marco con rotura de puente térmico en lugar de marco de aluminio sin rotura de puente térmico. Por tanto, del punto de vista reducción del material particulado no es significativo. Sin embargo, si pudiera ser interesante del punto de vista habitabilidad ya que, al tener un marco con rotura de puente térmico, aumenta la temperatura del marco y disminuye los riegos de condensación y corrientes de aire fría. Por otro lado, también se debe tener en cuenta que el precio de un marco de aluminio con rotura de puente térmico es significativamente mayor a uno sin rotura de puente térmico, por tanto, se debe analizar si esta mejora en los aspectos complementarios justifica el aumento en el costo, o se prefiere destinar este aumento en la inversión a otro ítem que tenga un impacto mayor.

4.3.3.1 Reducción de emisiones debido al mejoramiento térmico de las viviendas

Para analizar la reducción en emisiones debido al mejoramiento térmico de viviendas, se supondrá lo indicado en la siguiente tabla, es decir:

- Una fracción de las viviendas cambian a estándar PDA o PDA mejorado, la otra fracción sigue con leña.
- La eficiencia térmica de las estufas no cambia con el menor uso de leña, es decir la energía generada es proporcional al uso de leña.
- El menor uso de energía se traduce en un menor uso de leña, no en la eliminación de las estufas o un cambio por otras menos contaminantes.

De acuerdo a lo anterior, el consumo de leña disminuye el porcentaje indicado en la siguiente tabla, es decir:

Tabla 122. Cambio en el consumo anual de leña por artefacto, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica.

	Consumo actual de leña (kg)		Consumo con estándar PDA		Consumo PDA mejorado	
	Pto Aysén	**Cochrane**	**Pto Aysén**	**Cochrane**	**Pto Aysén**	**Cochrane**
Estufa com. lenta.	54.779.950	9.342.445	39.058.104	6.446.287	22.575.584	3.745.293
Cocina a leña	39.500.520	7.031.948	28.163.871	4.852.044	16.278.717	2.819.038
Total	94.280.470	16.374.393	67.221.975	11.298.331	38.854.302	6.564.330

Al disminuir el consumo de leña en estos artefactos, disminuye la emisión de material particulado proveniente de estos artefactos. De acuerdo a los resultados de la Tabla 42, para Puerto Aysén se tiene:

Tabla 123. Cambio en las emisiones anuales en Puerto Aysén, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica.

	Emisiones base		Emisiones estándar PDA		Emisiones PDA mejorado	
	MP_{10}	$MP_{2,5}$	MP_{10}	$MP_{2,5}$	MP_{10}	$MP_{2,5}$
Estufa com. lenta.	4.688	4.454	3.343	3.176	2.710	2.574
Estufa a pellet	40	38	40	38	40	38
Cocina a leña	5.277	5.013	3.763	3.574	3.050	2.898
Otros	261	248	261	248	261	248
Total	10.266	9.753	7.406	7.036	6.061	5.758

Para Cochrane se tiene:

Tabla 124. Cambio en las emisiones anuales en Cochrane, suponiendo un cambio a PDA o PDA mejorado en la aislación térmica.

	Emisiones		Emisiones estándar PDA		Emisiones PDA mejorado	
	MP_{10}	$MP_{2,5}$	MP_{10}	$MP_{2,5}$	MP_{10}	$MP_{2,5}$
Estufa com. lenta.	799	759	551	524	464	441
Estufa a pellet	0,8	0,76	0,8	0,76	0,8	0,76
Cocina a leña	939	892	648	615	546	518
Otros	18	17	18	17	18	17
Total	1.758	1.670	1.218	1.157	1.029	977

4.3.3.2 Costos de mejoramiento

A continuación, se presentan los costos de mejoramiento de las tipologías constructivas presentes en las ciudades de Puerto Aysén y Cochrane.

Para esto, se consideraron los siguientes paquetes de medidas, tomando en consideración el mejoramiento desde un caso sin aislación, a un estándar PDA o PDA mejorado. De esta forma las medidas aplicadas, consideran:

a) Aislación de muro con sistema de aislación térmica exterior (SATE) o EIFS por sus iniciales en inglés)
b) Aislación de techo, con poliestireno expandido, tanto para viviendas de madera como de ladrillo
c) Aislación de piso ventilado, para viviendas de madera de tipologías 3 y 6
d) Ventana con DVH de distintos espaciados
e) Reemplazo de puertas y sistemas de ventilación

f) Regularización de la vivienda (reparaciones iniciales, tales como estandarización de ampliaciones, dado que gran parte de las viviendas, son antiguas)

De acuerdo con lo anterior, se estiman los costos de las siguientes soluciones:

a) Pack 1: Paso de vivienda a estándar PDA: esto considera aislación de muro con EIFS de 100 mm + aislación de techo de 150 mm (PE), aislación de piso ventilado de 120 mm y ventana de aluminio sin RPT (rotura puente térmico) con vidro DVH (doble vidriado hermético) con espaciador de 6 mm. También incluye reemplazo de puertas y sistemas de ventilación, más un estimativo de regularización
b) Pack 2: Paso de vivienda sin aislación a estándar PDA mejorado: esto considera aislación de muro con PE o EIFS de 200 mm + aislación de techo de 250 mm (PE), aislación de piso ventilado de 120 mm y ventana de aluminio sin RPT (rotura puente térmico) con vidrio DVH (doble vidriado hermético) con espaciador de 10 mm. También incluye reemplazo de puertas y sistemas de ventilación, más un estimativo de regularización

Para efectos de estimar los costos de materiales e instalación se usaron las siguientes fuentes, para febrero 2023:

- Cotización a proveedores de aislación (Aislacel)
- Información de Achival
- Fuentes secundarias, tales como "Tabla de precios referenciales DS27 año 2022" de Minvu compartida por la contraparte técnica.

A continuación, se presentan los costos de reacondicionamiento, para las soluciones descritas anteriormente

Tabla 125:Costos de acondicionamiento Pack 1 en Puerto Aysén (paso a estándar PDA)

Solución	Tipol.	N Pisos	Agrup.	Tipo Piso	Mat	Costo en P. Aysén (UF)
Aislación EIFS muro y Poliestireno techo PDA y Ventana de aluminio sin RPT con vidro DVH con espaciador de 6 mm + recambio de puertas, sistema de ventilación y regularización	T1	1	Pareada	Radier	Madera	**394,2**
	T2	2	Pareada	Radier	Madera	**330,9**
	T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	**410,7**
	T4	1	Aislada	Radier	Madera	**394,2**
	T5	2	Aislada	Radier	Madera	**362,6**
	T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	**442,4**
	T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	**394,2**
	T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	**362,6**

Tabla 126: Costos de acondicionamiento Pack 1 en Cochrane

Solución	Tipol.	N Pisos	Agrup.	Tipo Piso	Mat	Costo en P. Aysén (UF)
Aislación EIFS muro y Poliestireno techo PDA y Ventana de aluminio sin RPT con vidro DVH con espaciador de 6 mm + recambio de puertas, sistema de ventilación y regularización	T1	1	Pareada	Radier	Madera	**512,4**
	T2	2	Pareada	Radier	Madera	**430,2**
	T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	**533,9**
	T4	1	Aislada	Radier	Madera	**512,4**
	T5	2	Aislada	Radier	Madera	**471,4**
	T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	**575,1**
	T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	**512,4**
	T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	**471,4**

Tabla 127: Costos de acondicionamiento Pack 2 en Aysén

Solución	Tipol.	N Pisos	Agrup.	Tipo Piso	Mat	Costo en P. Aysén (UF)
Aislación EIFS muro y Poliestireno techo PDA mejorado y Ventana de aluminio sin RPT con vidro DVH con espaciador de 10 mm + recambio de puertas, sistema de ventilación y regularización	T1	1	Pareada	Radier	Madera	**468,7**
	T2	2	Pareada	Radier	Madera	**375,0**
	T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	**480,9**
	T4	1	Aislada	Radier	Madera	**468,7**
	T5	2	Aislada	Radier	Madera	**411,0**
	T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	**516,9**
	T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	**468,7**
	T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	**411,0**

Tabla 128: Costos de acondicionamiento Pack 2 en Cochrane

Solución	Tipol.	N Pisos	Agrup.	Tipo Piso	Mat	Costo en P. Aysén (UF)
Aislación EIFS muro y Poliestireno techo PDA mejorado y Ventana de aluminio sin RPT con vidro DVH con espaciador de 10 mm	T1	1	Pareada	Radier	Madera	**609,3**
	T2	2	Pareada	Radier	Madera	**487,5**
	T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	**625,2**
	T4	1	Aislada	Radier	Madera	**609,3**

+ recambio de puertas, sistema de ventilación y regularización	T5	2	Aislada	Radier	Madera	**534,3**
	T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	**672,0**
	T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	**609,3**
	T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	**534,3**

De esta forma, los costos de las soluciones van desde los 330 UF a los 672 UF, para las distintas tipologías y alcances.

4.3.4 Comparar los precios de los combustibles a nivel nacional, regional y comunal (considerando Coyhaique, Puerto Aysén y Cochrane) para leña seca, leña certificada, pellets, parafina, gas, energía eléctrica.

Para comparar los precios de los combustibles se consideraron precios a nivel nacional, regional y comunal, consideran la comuna de Coyhaique por ser la más grande de la región. A continuación, se puede ver la comparación de precios de leña seca, leña certificada, pellets, parafina, gas y electricidad con sus respectivas referencias.

Tabla 129. Comparativa de precios de combustibles a nivel nacional, regional y comunal.

	Nacional	Regional	Coyhaique	Puerto Aysén	Cochrane
Leña seca [$/kg]	161,2[37]	95,8[38]	77,5[39]	120[40]	90[41]
Leña certificada [$/kg]	-	-	-	No notificado	No existe
Pellets [$/kg]	373,5[42]	430,4[43]	448,67[44]	442,49[45]	400[46]
Parafina [$/l]	1.181,5[47]	918,7[48]	976[49]	720[50]	1060[51]

[37] Fuente: Sernac, SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía.
[38] Fuente: Sernac, SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía, Proyecto Piloto nacional de calefacción eléctrica.
[39] Fuente: Proyecto Piloto nacional de calefacción eléctrica.
[40] Fuente: Municipalidad de Aysén.
[41] Fuente: Municipalidad de Cochrane.
[42] Fuente: Sernac, SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía.
[43] Fuente: SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía.
[44] Fuente: SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía.
[45] Fuente: SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía, Municipalidad de Aysén.
[46] Fuente: SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía, Municipalidad de Cochrane.
[47] Fuente: https://es.globalpetrolprices.com/Chile/
[48] Fuente: http://www.parafinaenlinea.cl/, Municipalidad de Cochrane, Municipalidad de Aysén.
[49] Fuente: http://www.parafinaenlinea.cl/
[50] Fuente: Municipalidad de Aysén.
[51] Fuente: Municipalidad de Cochrane.

Gas 15[$/kg]	24.788[52]	28.183,3[53]	23.550[54]	29.000[55]	32.000[56]
Energía eléctrica [$/kWh]	142,672[57]	144,9[58]	136,602[59]	148[60]	150[61]

También es importante considerar para el análisis posterior realizado en este informe es la cantidad de horas en que una vivienda se encuentra sin suministro eléctrico, para ello se recopilo información de la página web "Energía abierta" a nivel nacional, regional y comunal para los años 2012 a 2022, como se ve a continuación:

Tabla 130. Cantidad de horas que una vivienda se encuentra sin servicio eléctrico anualmente.

Saidi[62]	Nacional [hr/año]	Región Aysén [hr/año]	Puerto Aysén [hr/año]	Cochrane [hr/año]	Coyhaique [hr/año]
2012	16,83	23,12	27,7	4,21	18,17
2013	14,04	27,91	20,36	19,85	23,42
2014	15,64	26,12	14,22	9	20,68
2015	18,4	29,87	23,16	7,56	34,1
2016	13,51	19,71	25,52	18,21	17,78
2017	18,83	31,17		9,36	27,48
2018	12,72	14,00	13,32	4,26	12,2
2019	13,91	15,08	11,48	7,74	14,87
2020	12,08	13,37	12,41	2	13,67
2021	12,69	13,61			
2022	13,35	15,65	18,22	25,46	13,04
Promedio	14,73	20,87	18,49	10,77	19,54
Total de clientes	7.527.124	47.536	11.040	1.608	26.643

Como se observa de la tabla anterior la cantidad de horas anuales promedio en que una vivienda se encuentra sin suministro eléctrico en Puerto Aysén es de 18,5 horas y en Cochrane es de 10,8 horas.

Esta información será utilizada para los análisis posteriores de este informe.

[52] Fuente: https://chocale.cl/2023/01/cilindros-gas-licuado-precios-descuentos/
[53] Fuente: Promedio entre precios de Abastible y Gasco.
[54] Fuente: Promedio entre precios de Abastible y Gasco.
[55] Fuente: Municipalidad de Aysén.
[56] Fuente: Municipalidad de Cochrane.
[57] Fuente: https://es.globalpetrolprices.com/Chile/electricity_prices
[58] Fuente: Sernac, SEREMI Región de Aysén Ministerio de Energía.
[59] Fuente: https://www.gruposaesa.cl/edelaysen/tarifas-vigentes
[60] Fuente: Municipalidad de Aysén.
[61] Fuente: Municipalidad de Cochrane.
[62] Fuente: Energía Abierta, comisión de nacional de energía (http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/electricidad?_sft_etiquetas-estadistica=saidi)

4.3.5 Alternativas de reemplazo a la leña (tipo de calefactor, potencia y tipo de combustible), según la superficie y el nivel de reacondicionamiento térmico de viviendas para los escenarios descritos en el punto anterior.

En los puntos anteriores se vio el efecto que tenía la envolvente térmica en la reducción de la demanda y de la emisión de material particulado por reducción de la demanda. Como se vio, también se puede lograr una reducción de la emisión de material particulado utilizando otros combustibles diferentes a la leña.

Del punto de vista del equipo de calefacción, basándose en la experiencia de Temuco, no es conveniente hacer recambios de calefactores a leña por otros calefactores a leña más eficientes ni tampoco preocuparse de la calidad de la leña, sino que se recomienda claramente usar otros combustibles. Además, antiguamente las alternativas de uso de otros combustibles (diferentes a la leña) tenían costos de operación mucho más altos. Pero ahora eso ha cambiado y se tienen mejores alternativas. Por tanto, el análisis de esta parte se concentrará en alternativas de uso de otros combustibles para calefacción (diferente a la leña), pero evidentemente comparados con la leña que corresponde al caso base o la situación actual.

A continuación, y antes de realizar el análisis detallado, se presentan los datos generales con que se trabajarán los resultados que se presentan más adelante.

Tabla 131, Eficiencia de los sistemas de calefacción a considerar

	Pto Aysén	Cochrane
Calefactor a leña	0,60	0,60
Cocina a leña	0,40	0,40
Ponderado de leña de la situación actual	0,52	0,51
Calefactor a pellet	0,80	0,80
Calefactor parafina o GLP con chimenea	0,85	0,85
COP Bomba de calor inverter	3,6	3,6

Para el caso de la leña, solo se considera el ponderado de la situación actual ya que no se considera el remplazo por calefactor a leña.

Tabla 132, Poder calorífico de los combustibles a utilizar en el presente estudio.

Poder calorífico		
PC Leña	4,01	kWh/kg
PC Pellet	5,02	kWh/kg
PC Parafina	9,65	kWh/l
PC GLP	12,79	kWh/kg

Tabla 133, Precio de los combustibles a usar,

	Pto Aysén	Cochrane
Leña seca ($/kg)	120	90
Pellets ($/kg)	443	400
Parafina ($/l)	720	1.060
GLP ($/kg)	1.933	2.133
Energía eléctrica ($/kWh)	148	150

Lo anterior es más bien un resumen ya que todos estos valores ya han sido justificados en los puntos anteriores del presente informe.

Como es difícil comparar los precios de los combustibles en diferentes unidades, la tabla siguiente muestra los precios de los combustibles en la misma unidad $/kWh.

Tabla 134, Precios de los combustibles o energéticos en $/kWh

	Pto Aysén	Cochrane
Leña	29,9	22,4
Pellet	88,2	79,7
Parafina	74,6	109,8
GLP	151,2	166,8
Electricidad	148,0	150,0

Finalmente, se puede ver que existe una gran disparidad en la eficiencia de los equipos que va desde 0,4 para la cocina a leña a 3,6 para la bomba de calor. Para tener en cuenta esta disparidad, se agrega la tabla siguiente donde se muestra los costos de la energía en términos de la energía útil, Para esto se dividen los costos de la tabla anterior por la eficiencia de los sistemas, la misma información de la tabla siguiente se muestra como gráfico en la figura siguiente.

Tabla 135, Costo de la energía útil en $/kWh

	Pto Aysén	Cochrane
Leña	57,8	43,6
Calefactor a Pellet	110,3	99,6
Calefactor a parafina	87,8	129,2
Calefactor a GLP	177,8	196,2
Bomba de calor	41,1	41,7
Electricidad directa	148,0	150,0

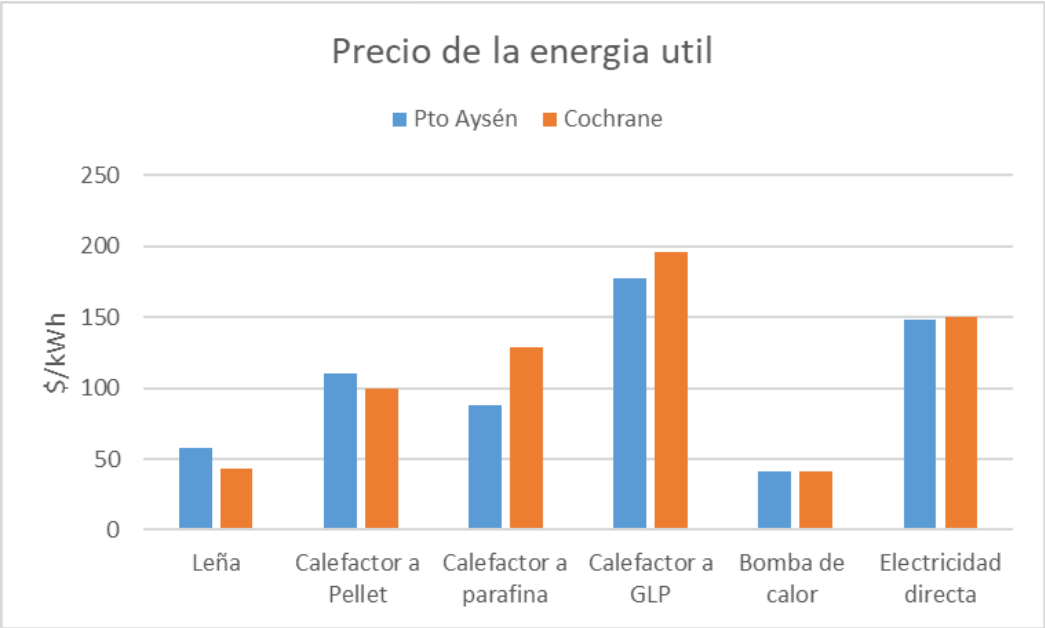


Figura 39. Precio de la energía útil en $/kWh para los diferentes sistemas de calefacción,

Este último gráfico es muy relevante ya que se ve que la bomba de calor claramente es la alternativa más económica a la leña, luego viene el pellet y la parafina como alternativas en el caso de que no se pueda usar la bomba de calor.

Dada la importancia que toma la bomba de calor a partir de la evidencia del gráfico anterior, vale la pena explicar un poco los fundamentos de la bomba de calor y la razón de que se tengan esos costos tan bajos. En palabras simples, lo que hace la bomba de calor usada para calefacción, es extraer el calor del aire exterior, sacarle la energía, entregar la energía al interior y dejar el aire exterior más frio. Por tanto, la energía proviene principalmente del aire exterior. Para lograr pasar calor de una fuente más fría a una fuente más caliente, no se logra en forma simple y natural y se requiere un ciclo de compresión (que es el más usado). Si se piensa en un compresor con aire, el proceso sería tomar el aire exterior que puede estar a 3 ^{o}C por ejemplo y comprimirlo. Al comprimir el aire este se calienta, digamos a 60 ^{o}C. Luego, este aire se lleva al interior del recinto y como está más caliente que el ambiente puede calentar el recinto y el aire de la máquina se enfría. Luego el aire de la máquina se expande y como previamente se le quitó energía, al expandirse se llega a una temperatura menor que la del aire exterior, digamos -20 ^{o}C. Luego este mismo aire se hace pasar por el exterior, como ahora el aire exterior está a mayor temperatura que el aire recientemente expandido, el aire exterior se enfría y le entrega energía a este fluido que está en la máquina, y este calor, tomado del aire exterior sería la principal fuente de energía para calefaccionar el recinto. En la práctica el fluido que pasa por la máquina no es aire, sino que un refrigerante que permite una mayor eficiencia en el proceso, pero el concepto es el mismo. Por tanto, la energía eléctrica solo se usa para comprimir el refrigerante, pero la parte principal de la energía proviene del aire exterior. Hace algunos años atrás, el consumo eléctrico era aproximadamente la mitad del calor que se entrega al recinto (COP=2). Hoy en día, este tipo de equipos ha mejorado mucho su eficiencia y los equipos actuales de buena

calidad llegan a niveles en que para 1 kW de calor a entregar al recinto solo usan 0.2 kW de energía eléctrica (COP=5). Este concepto de tomar la energía principalmente del aire (que es gratuita) y la mejora en la eficiencia de estos equipos en los últimos años, es que ha permitido que esta sea una alternativa muy atractiva para la calefacción.

Hay que considerar también que este gráfico corresponde a la situación de hoy y se sabe que los precios de los combustibles pueden variar en forma importante de un año a otro, por lo que eso también se debe tener en cuanta en el análisis posterior que haga el mandante para definir las estrategias de descontaminación.

Para la implementación masiva de bombas de calor en las regiones australes se debe también tener en cuenta algunas de las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el Estudio Nacional de Calefacción Eléctrica[63]. Entre ellas se encuentra que para localidades aisladas como las del presente estudio se debe considerar que el proveedor u otra empresa mantenga un servicio local de mantenimiento y garantía. También se debe considerar que las eficiencias de estos equipos en lugares fríos son un poco más bajas que en el resto del país, y que la potencia de los equipos también baja en los lugares más fríos respecto al centro del país. Por tanto, el dimensionamiento y selección de estos equipos se debe hacer con mucho cuidado considerando los comentarios anteriores para no sub-dimensionar la capacidad de los equipos y además para no tener problemas como por ejemplo el congela miento frecuente del evaporador por mala selección del equipo. Por seguridad y para que no se desprestigie esta tecnología en la zona, se recomienda partir con un piloto más reducido de recambio con bombas de calor y evaluar el piloto antes de comenzar con recambios más masivos.

Notar también que tanto el calefactor a parafina como el calefactor a GLP corresponden a calefactores con evacuación de los gases de combustión al exterior (con chimenea), por tanto, la comparación de todas las alternativas corresponde a sistemas que no contaminan el interior de la vivienda.

Un análisis que se efectúa en las páginas siguientes, se realizará primero para las condiciones de Puerto Aysén, con todos los detalles y comentarios. Posteriormente se mostrarán los resultados para Cochrane, pero sin comentarios, ya que los resultados y conclusiones son muy similares para ambas localidades.

La tabla siguiente muestra los resultados para el caso con leña y los diferentes estándares de la envolvente de la vivienda. Recordar que la columna “Actual” corresponde a la estimación de los consumos del parque de vivienda actual. Esto se obtiene del cálculo teórico a partir de la herramienta de cálculo de la CEV que es el mismo valor que se obtiene de las encuestas de consumo de leña, ya que el procedimiento incluye una corrección para hacer que estos valores coincidan. Notar también que todos los resultados corresponden al promedio de las tipologías usadas en el estudio.

[63] Piloto Nacional de Calefacción Eléctrica. In-Data. 2023.

Tabla 136, Resumen de resultados para el caso base de calefacción a leña para la localidad de Puerto Aysén,

Caso 1, Leña	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	23246	8.801	6.279	5.087	kWh
Consumo energía	44.900	17.000	12.129	9.826	KWH/viv
Consumo leña	11.197	4.239	3.025	2.450	kg leña / viv
Consumo de leña	19,4	7,3	5,2	4,2	m^3 leña / viv
Gastos pesos	1.007.731	381.540,6	272.215,7	220.523,8	$/viv año
Ahorro			109.325	51.692	$/año

La demanda de esta tabla se obtiene del análisis de los puntos anteriores del estudio. El consumo se obtiene dividiendo la demanda por la eficiencia promedio de los sistemas de leña calculado anteriormente.

El consumo de leña se obtiene dividiendo el consumo de energía por el poder calorífico de la leña.

Los valores de ahorro corresponden al ahorro en gasto en combustible respecto a la columna anterior. Por ejemplo, al tener una vivienda con estándar PDA se ahorra $109.000 al año en relación con la misma casa que solo tiene un estándar OGUC, pero siempre manteniendo la calefacción a leña.

También se puede obtener otro tipo de información importante con relación a esta tabla. Por ejemplo, al tener una vivienda PDA en lugar de una OGUC se ahorra 1.214 Kg de leña (4,239-3,025), lo que corresponde a un ahorro de 28,6% respecto al consumo de la vivienda OGUC.

Si se compara la vivienda PDA mejorada con la PDA se observa que hay una disminución de 575 Kg de leña al año y una disminución de los costos en combustible de 57.600 $/año, se debe recordar eso sí, que esta disminución se produce con un fuerte aumento en los costos de inversión, tal como se vio antes.

Las tablas siguientes muestran la misma información anterior, pero para los diferentes sistemas de calefacción.

Tabla 137, Resumen de resultados para el caso de calefacción a pellet para la localidad de Puerto Aysén.

Caso 2 Pellet	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	23.246	8.801	6.279	5.087	kWh
Consumo energía	25.829	9.779	6.977	5.652	KWH/viv
Consumo pellet	5.145	1.948	1.390	1.126	kg / viv
Gastos pesos	2.279.330	862.986	615.710	498.790	$/viv año
Ahorro			247.276	116.919	$/año

Tabla 138, Resumen de resultados para el caso de calefacción a parafina para la localidad de Puerto Aysén,

Caso 3 Parafina	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	23.246	8.801	6.279	5.087	kWh
Consumo energía	27.348	10.354	7.388	5.985	KWh/viv
Consumo parafina	2.834	1.073	766	620	l / viv
Gastos pesos	2.040.497	772.560	551.194	446.526	$/viv año
Ahorro			221.366	104.668	$/año

Tabla 139, Resumen de resultados para el caso de calefacción a GLP para la localidad de Puerto Aysén,

Caso 4 GLP	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	23.246	8.801	6.279	5.087	kWh
Consumo energía	27.348	10.354	7.388	5.985	KWh/viv
Consumo GLP	2.138	810	578	468	kg / viv
Gastos pesos	4.133.967	1.565.176	1.116.698	904.644	$/viv año
Ahorro			448.479	212.053	$/año

Tabla 140, Resumen de resultados para el caso de calefacción con bomba de calor para la localidad de Puerto Aysén,

Caso 5 Bomba de calor	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	23.246	8.801	6.279	5.087	kWh/año
Consumo	6.457	2.445	1.744	1.413	kWh/año
Gastos pesos	955.672	361.831	258.153	209.132	$/año
Ahorro			701	331	kWh/año
			$103.677	$49.022	$/año

Los casos 3, 4 y 5 son comparables en el sentido de que la emisión de material particulado es nula o muy cercana a cero. Se podría descartar desde ya el uso de calefactores a GLP por su alto costo de operación, ya que por mucho que cambie la relación de precios de los combustibles, parece poco factible que la calefacción mediante GLP sea económicamente atractiva en el corto plazo para la región de Aysén.

Si se desea eliminar completamente la emisión de material particulado bastaría con remplazar los calefactores a leña por bombas de calor o por calefactores a parafina. Los costos de operación con parafina serían mayores a los costos con leña y los costos con bombas de calor serian similares.

Las bombas de calor se podrían instalar sin problemas en viviendas con estándar OGUC, PDA y PDA mejorado. Eso sí, se debe tener cuidado de dimensionarlas adecuadamente para no tener problemas de potencia como se indicó antes.

Sin embargo, no se recomienda el uso de bombas de calor para viviendas antiguas, ya que podrían requerir potencias muy altas que hoy la suplen sin problemas con los calefactores a leña pero que costaría suplirlas con bombas de calor tradicionales que en general son de potencias menores que los calefactores a leña. Por tanto, para esta situación se recomienda hacer un estudio caso a caso, y en el caso en que la calidad de la envolvente de la vivienda sea muy mala, hacer un reacondicionamiento de la envolvente en conjunto con el cambio de equipo.

Haciendo un análisis de sensibilidad, pensando en lo que puede fallar de los números anteriores, y de acuerdo a nuestra experiencia previa, parece ser que lo más incierto son que se tengan los ahorros efectivos (teóricos) con el aumento de los estándares de aislación de las viviendas, ya que mientras más aislada es la vivienda, toman proporcionalmente más importancia los defectos de las construcciones como puentes térmicos. También pasa a tener mayor incidencia el uso que le dan a la vivienda, como por ejemplo dejar ventanas abiertas, lo que proporcionalmente hace aumentar bastante el consumo energético y los costos de operación.

Como contraparte, también se sabe que, en una vivienda muy aislada, si el usuario acepta bajar un poco la temperatura interior, el consumo de energía podría bajar a valores muy pequeños, ya que prácticamente la vivienda podría tener temperaturas cercanas a los 15 ^{o}C prácticamente con las ganancias solares, las ganancias internas y un muy pequeño aporte de calefacción. Temperaturas de este orden, si bien están fuera del nivel de confort no son tan extremas y puede ser una alternativa en el caso que los usuarios pasen por períodos de estrechez económica. Esto se vio en forma práctica en una vivienda de Coyhaique en el marco del estudio de calefacción eléctrica en Chile[64].

El sistema con bombas de calor, además de su bajo costo de operación, posee una característica importante y es que se pueden combinar con sistemas de paneles fotovoltaicos para bajar aún más los costos de operación. Esto es muy útil para proyectos sociales financiado por el estado, ya que puede dejar los costos de calefacción igual a cero, sin tener que intervenir en el mercado de los combustibles.

A continuación, se calcula en forma simplificada y genérica un sistema fotovoltaico para instalar en Puerto Aysén. El cálculo se realiza en base el Explorado Solar [65] del Ministerio de Energía y los resultados se muestran en la tabla siguiente parametrizados por kW pic de potencia del sistema.

Tabla 141, Resultados resumidos de un sistema fotovoltaico en Aysén.

Tamaño del sistema	1	KW pico
Energía anual generada en Puerto Aysén	1001	kWh/año

[64] Piloto Nacional de Calefacción Eléctrica. In-Data. 2023.
[65] Explorador Solar (minenergia.cl)

Costos del equipo instalado (ref 65)	1.980.000	$/kW pic
Vida útil	20	años

Si bien los precios no son tan escalables cuando se baja de 1kWpic, en primera aproximación podríamos considerarlo así. Esto implica por ejemplo que, si quisiera generar toda la energía que hay de diferencia entre el estándar PDA y PDA mejorado, que es de 331 kWh a año, tendría que tener una fracción del equipo anterior, es decir 331/1001=0,33, Si se considera un costo proporcional, el costo de inversión de este equipo sería de $ 653.000. En general el precio de venta de la energía generada en la vivienda es del orden de la mitad del precio de compra y para un sistema relativamente bien dimensionado se tiene que la mitad de la energía captada se usa para evitar el uso de energía de la red y la otra mitad se debe vender. En ese caso, si se quisiera tener un costo cero para los 331 kWh se tendría que instalar un sistema de 470 kWh pic, lo cual costaría del orden de $ 930.000. Finalmente, esto se puede interpretar como que con una inversión de $930.000 se podría suplir a costo cero la diferencia en el consumo de una bomba de calor instalada en una vivienda PDA mejorada comparada con una bomba de calor en una vivienda PDA. En otras palabras, dado que la bomba de calor no emite material particulado, para el caso de emisión cero, desde el punto de vista exclusivo de los costos de operación, y si se va a utilizar bomba de calor, para que sea atractivo a tener una casa con estándar PDA mejorado, la diferencia en la inversión de ambas casas no debería ser superior a 1 millón de pesos. Lo cual se vio que no es así.

En las páginas anteriores se muestran una serie de datos y análisis que claramente van a aportar al buen diseño del plan de descontaminación. Se dejan varias alternativas ya que para el diseño definitivo se deben considerar otros elementos como presupuesto disponible, priorizar el ahorro pasivo frente al ahorro activo, factibilidad técnica específica para cada vivienda de las diferentes soluciones, urgencia de bajar en forma acelerada la contaminación dado un cierto nivel de presupuesto (minimizar inversión) etc. Todos estos elementos adicionales los conoce el mandante mejor que nadie, por tanto, es él quien podrá tomar las decisiones de la mejor forma posible basado en los datos indicados acá y sus propias condiciones de borde.

Resultados para Cochrane

A continuación, se presentan los resultados para la localidad de Cochrane, no se comentan ya que los resultados son muy similares y por tanto los comentarios serían los mismos.

Tabla 142, Resumen de resultados para el caso base de calefacción a leña para la localidad de Cochrane,

Caso 1, Leña	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	20.109	9.797	6.757	5.692	kWh
Consumo energía	39.063	19.031	13.125	11.057	KWH/viv
Consumo leña	9.741	4,.746	3.273	2.757	kg leña / viv
Consumo leña	16,9	8,2	5,7	4,8	m^3 leña / viv
Gasto pesos	1.168.971	569.514	392.781	330.885	$/viv año

Tabla 143, Resumen de resultados para el caso de calefacción a pellet para la localidad de Cochrane

Caso 2 Pellet	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	20.109	9.797	6.757	5.692	kWh
Consumo energía	22.343	10.885	7.507	6.324	KWH/viv
Consumo pellet	4.451	2.168	1.496	1.260	kg / viv
Gasto pesos	1.780.332	867.364	598.202	503.935	$/viv año
Ahorro			269.162	94.267	$/año

Tabla 144, Resumen de resultados para el caso de calefacción a parafina para la localidad de Cochrane

Caso 3 Parafina	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	20.109	9.797	6.757	5.692	kWh
Consumo energía	23.657	11.526	7.949	6.696	KWH/viv
Consumo parafina	2.452	1.194	824	694	l / viv
Gasto pesos	2.598.644	1.266.039	873.160	735.563	$/viv año
Ahorro			392.879	137.597	$/año

Tabla 145, Resumen de resultados para el caso de calefacción a GLP para la localidad de Cochrane

Caso 4 GLP	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	20.109	9.797	6.757	5.692	kWh
Consumo energía	23.657	11.526	7.949	6.696	KWH/viv
Consumo GLP	1.850	901	622	524	kg / viv
Gasto pesos	3.945.994	1.922.458	1.325.877	1.116.939	$/viv año
Ahorro			596.580	208.938	$/año

Tabla 146, Resumen de resultados para el caso de calefacción con bomba de calor para la localidad de Cochrane

Caso 5 Bomba de calor	Actual	OGUC	PDA	PDA mejor	
Demanda	20.109	9.797	6.757	5.692	kWh/año
Consumo	5.586	2.721	1.877	1.581	kWh/año
Costo	$837.869	$408.203	$281.529	$237.164	$/año
Ahorro			844	296	kWh/año
			$124.985	$43.773	$/año

Comparación de emisiones para ambas medidas de mitigación

Desde el punto de vista de las emisiones, se hará una comparación de la eficiencia de los dos tipos de medidas de mitigación consideradas (recambio de calefactores y mejora en la envolvente térmica). Utilizando los resultados de las secciones 4.3.1.2 y 4.3.1.3 se pueden obtener las reducciones que se muestran en la Tabla 147. Los resultados de la tabla se

muestran en los la Figura 40 e ilustran la disminución obtenida en las emisiones para ambos tipos de medidas.

Tabla 147. Porcentaje de reducción del material particulado emitido para los diferentes escenarios considerados y emisiones estimadas para Puerto Aysén y Cochrane.

Escenario	% leña	% Elect.	% Pellet	Ahorro de MP (%)	Emisiones MP Puerto Aysén (t/año)	Emisiones MP Cochrane (t/año)
base	100%	0%	0%		7.276	1.758
1	0%	100%	0%	100.0%	0,0	0,0
2	25%	75%	0%	75.0%	1.819	440
3	25%	38%	38%	70.3%	2.161	522
4	50%	25%	25%	46.9%	3.864	934

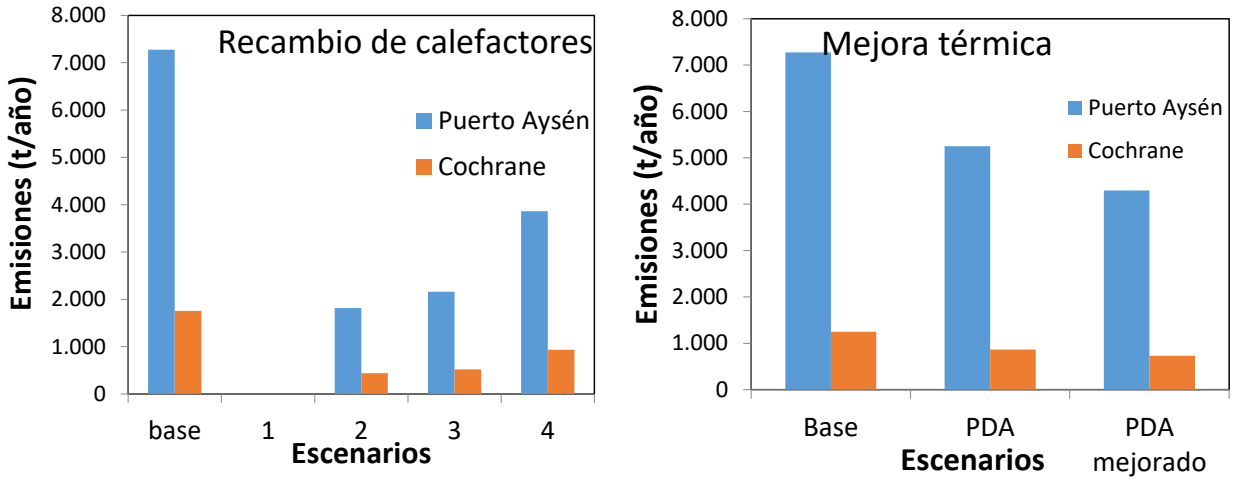


Figura 40. Mejoras obtenidas en las emisiones para los dos tipos de intervenciones consideradas. Los escenarios del recambio de calefactores se muestran en la Tabla 147.

Se puede ver en la figura anterior que con las medidas de recambio de calefactores se obtienen mayores reducciones en las emisiones que con la mejora térmica. Incluso para el escenario 4, que corresponde al recambio del 50% de los calefactores a leña por calefactores eléctricos y pellet, se obtienen mayores reducciones que con el estándar PDA mejorado. Sin embargo, en el largo plazo, es posible que algunas personas que realizan recambio de calefactores vuelvan a utilizar leña si cambia el precio del combustible o haya escasez de éste. Esto puede generar un aumento en las emisiones. La mejora térmica de las viviendas no debería tener este tipo de problema. Por ello, se sugiere considerar esta posibilidad en la elaboración de políticas públicas.

4.4 Objetivo específico N°4

4.4.1 Comparar a nivel nacional, las experiencias de intervención integral de viviendas, es decir mejoramiento térmico y recambio de calefactores en una sola intervención para los hogares, analizar ventajas y desventajas de esta modalidad y proponer acciones para que en la región de Aysén se pueda trabajar bajo esta modalidad.

Para recolectar experiencias sobre la intervención integral de viviendas, es decir conocer en conjunto la experiencia aplicando mejoramiento térmico y recambio de calefactores solicitamos reuniones a entidades de Minvu y MMA de la región de la Araucanía ya que tienen una vasta experiencia implementando estas medidas, tanto de manera independiente como en conjunto.

Para las reuniones se estipularon una serie de preguntas que abarcan los intereses de la contraparte técnica, considerando:

- Inicio de los planes
- Cantidad de recambios o mejoras realizadas
- Percepción, desafíos y mejoras
- Proyecciones
- Y percepción de la aplicación en conjunto de mejoramiento y recambio.

Reunión MMA Temuco

Participantes: Eduardo Schleef, Paula Muñoz, Adelqui Fissore y Camila Ruiz
Fecha: 02 febrero 2023
Hora: 9:00 am a 10:30 am

Eduardo Scheleef nos comentó el desarrollo a lo largo de los años del programa de recambio de calefactores, destacando que inició en 2011 con 10.000 recambios de calefactores, donde se cambiaron calefactores a leña por calefactores a leña con mayor desempeño (doble cámara), en 2013 se consideraron calefactores a pellet con evacuación de gases y una eficiencia de 90%, además de calefactores a kerosene, desde 2018 se estableció que no podían volver a cambiarse calefactores a leña por calefactores a leña de mejor calidad, por lo tanto solo se considerarán para el recambio calefactores a pellet y kerosene. En 2018 se comenzaron a considerar aire acondicionado como medida de recambio, alcanzando a 2022 un total de 748 calefactores instalados.

A lo largo del periodo en que se lleva implementando esta medida han surgido ciertas dificultades externas que han perjudicado a ciertos tipos de calefacción, como fue el desabastecimiento de pellet sufrido en 2014, el cual volvió a ocurrir en 2022. Otro factor de influencia es que, en promedio la calefacción con pellet o kerosene es un 30% más caro que calefaccionar la vivienda con leña, esto genera que las familias cuestionen en cierta medida el cambio de calefacción, por esta misma razón se comenzó a considerar que para

una mayor aceptación de la población se debe considerar implementar tecnologías que no superen el costo de la calefacción a leña.

La recepción de las familias al proceso de recambio de calefactores es positiva, anualmente se reciben alrededor de 10.000 postulaciones, donde entre 2015 y 2020 se realizaron 11.000 recambios aproximadamente, posteriormente se mantiene una cifra de aproximadamente 3.000 recambios anuales.

Dentro de las consideraciones que se deben tener nos mencionan la importancia de asegurar la calidad de los calefactores (la cual se ve afectada con la falta de certificación de calidad), ya que, al momento de realizar la compra, prima el precio lo cual no asegura calidad, sobre lo cual ya hay antecedentes en la comuna de Osorno con una serie de calefactores a pellet con fallas sumado a problemas de instalación. Otro factor importante es la formación de competencia en la zona lo cual considera la falta de instaladores.

También nos mencionan que la reducción de emisiones de material particulado en la zona saturada según la última auditoria al plan realizadas en 2022 por uso residencial de leña es de un 37%, donde mencionan que un 25% corresponde al aporte realizado por el programa de recambio de calefactores, Además, se observó una disminución en peak de concentraciones, en cantidad de episodios críticos y en la cantidad de horas críticas.

Finalmente, respecto a la implementación del programa de recambio de calefactores y de reacondicionamiento térmico en conjunto, nos señalan que comenzó en 2019, donde en promedio se realizaban de 3.000 a 4.000 reacondicionamientos térmicos con estándar PDA anualmente, ofreciéndole a las familias el beneficio de puntaje adicional para la postulación a recambio de calefactores si su vivienda estaba reacondicionada, por lo tanto consideran que son medidas complementarias que dan buenos resultados.

Reunión MINVU Temuco

Participantes: Fernando Silva, Adelqui Fissore y Camila Ruiz
Fecha: 03 febrero 2023
Hora: 16:00 a 16:30 hrs.

Fernando nos comenta que desde 2015 se utiliza el estándar PDA en Temuco, donde se propuso una meta de 40,000 subsidios de mejoramiento térmico en 10 años, de los cuales a 2023 se ha realizado un 51% de la meta.

El subsidio actual es de 450 UF al cual pueden postular viviendas regularizadas o regularizables, de cualquier tamaño. Inicialmente el enfoque fue en viviendas de escasos recursos con tamaños menores a 50 m^2, pero en la actualidad las viviendas que cumplan con los requisitos anteriores son pocas, por lo tanto, las viviendas seleccionadas para el programa de mejoramiento han disminuido ya que no están regularizadas y no son regularizables, esto ha provocado una baja considerable en los subsidios acordados.

La percepción de las familias que han tenido el beneficio de mejoramiento térmico muestra una alta satisfacción.

Referente a la implementación conjunta de mejoramiento térmico y recambio de calefactores, nos señala que en viviendas nuevas es práctico de implementar, pero en viviendas construidas es una buena medida siempre y cuando se realicen por separado ya que al realizarse de manera conjunta no se encuentran constructoras que manejen ambos ámbitos por los que los costos aumentan y termina siendo poco rentables para ellos. Por lo tanto, la mejor medida implementada ha sido ofrecer puntaje adicional al momento de postular al recambio de calefactores si la familia ya ha sido parte del programa de mejoramiento térmico.

Conclusiones de las entrevistas

Se puede concluir que tanto los representantes de MINVU y MMA coinciden en que implementar el recambio de calefactores y el mejoramiento térmico de viviendas en conjunto es una buena idea siempre que sea en periodos de tiempo diferenciados y por departamentos distintos, además las cifras de reducción de emisiones corroboran que son medidas efectivas a aplicar.

Pensando en los subsidios ambos tienen acotaciones al respecto:

- Referente al recambio de calefactores se debe considerar:

  - Calidad del calefactor.
  - Rendimiento.
  - Costos del combustible a utilizar.
  - Cantidad y preparación de instaladores.
  - Abastecimiento de combustible a utilizar.

- Referente al mejoramiento térmico de viviendas

  - Regularización de viviendas.
  - Tamaño de viviendas (pensando en el subsidio).
  - Cantidad de subsidios disponible.

4.4.2 Presentación de los informes. El consultor deberá realizar una presentación de cada informe, a la contraparte técnica y a quién ésta estime pertinente invitar, una vez subsanadas todas las observaciones.

El equipo realizara una presentación de resultados a la contraparte técnica y a quien esta estime pertinente invitar en abril de 2023.

5. Referencias

Abdón, L. Valdés, J. Alarcón, M. Vega, C. (2018). Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique. Chile: Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

Amigo, C. Araya, P. Billi, M. Calvo, R. Oyarzún, T. Urquiza, A. (2018, agosto). Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada? Red de Pobreza Energética, chile.

Bustamante, W. Bunster, V. Ojeda, J. Vera, S. Dietz, A. Burdiles, M. (2019, agosto). Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos.

Cabrera, C. Piedra, J. Kok, C. Botzov, N. Brava, F. Cisternas, C. Kross, W. Lamarca, C. (2020). Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane. Chile-Dinamarca.

CDT (2015). Medición del consumo nacional de laña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Santiago, Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.

Convenio amplio de cooperación entre el gobierno regional de Aysén, Chile y la comisión económica para américa latina y el caribe de las Naciones Unidas, (2009). Estrategia Regional de Desarrollo de Aysén, Chile.

CREARA. (2013). Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña Coyhaique. Chile: Creara, especialistas en eficiencia y ahorro energético.

FONIS. (2018). Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: Un estudio de series temporales. Chile: Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo en Salud. FONIS.

FUNDECYT-PCTEX, CONICYT, SUBDERE. (2014). Estrategia regional de innovación 2014-2020. Región de Aysén, Chile.

GreenLabUC - Ingeniería DICTUC. (2015). Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio. Chile: Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

Landaeta, C. (2021). Proyecto mejoramiento 14 viviendas mediante convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Coyhaique. Chile: Convenio de Colaboración Técnica

y Transferencia de Recursos D.S. N° 87 entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda firmado el año 2018.

MAIT. (2018). Proyecto ¿QUÉ RESPIRAS? Chile: MAIT química y tecnología.

Martínez, C. (2022). Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique. Chile, Universidad del Desarrollo, Facultad de Ingeniería. Tesis de magíster en gestión de la sustentabilidad.

Ministerio de Energía (2015). Energía 2050, política energética de chile. Chile.

Muñoz-Ibáñez, F. Cáceres-Lillo, D. (2020). Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile. Cad. Saúde Pública 2020; 36(6): e00246118.

Piedra, J. Perez, P. Espinoza, B. Hernandez, C. (2021). Mapas de Calor en la Región de Aysén. SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Aysén, Chile.

PLADECO Aysén (2015). Actualización plan desarrollo comuna de Aysén Periodo 2016-2021. Región de Aysén, chile.

Programa gestión y economía ambiental. (2014, mayo). Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena. Santiago, Chile- Universidad y tecnología, fundación para la Transparencia tecnológica creada por la Universidad de Chile.

RedPE (2020). Caracterización del mercado de la leña y sus barreras para la transición energética. Santiago, Chile: Red de Pobreza Energética.

Reyes, R., Sanhueza, R., Schueftan, A., González, E. (2021). 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. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 7. N° 14. diciembre 2021. Observatorio de los Combustible Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 38.

Solís, R. Toro, R. Gomez, L. Vélez-Pereira, A. López, M. Louise Fleming, Z. Fierro, N. Leiva, M. (2022). Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile. Urban Climate 43 (2022) 101144.

Torres, R. Baker, N. Bernal, G. Peres, F. Maldonado, A.K. Cáceres, D.D.(2020). The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke. Publicado en Global J. Environ. Sci. Manage. 7(1): ***-***, Winter 2021.

MMA. Manual para el desarrollo de inventarios.

Síntesis de resultados Censo 2017, Región de Aysén. Instituto nacional de estadísticas. (2019). (https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-xi/banco-datos-r11/estad%C3%ADsticas-demogr%C3%A1ficas-y-vitales/s%C3%ADntesis-censo-2017-ays%C3%A9n.pdf?sfvrsn=1d185950_6)

Tabla de precios de referencia DS27 Región de Aysen-2022, MINVU.

6. Anexos

6.1 Anexo 1: Revisión bibliográfica

6.1.1 Estrategia Regional de Desarrollo de Aysén, 2009.

Este documento constituye el resultado del proceso de actualización de la Estrategia de Desarrollo Regional de Aysén.

Se pretende que este nuevo ejercicio de planificación incorpore la experiencia ganada en procesos anteriores y que, en su aplicación, marque un punto de inflexión en el crecimiento económico y en la superación de los problemas que entraban el desarrollo de Aysén. Así, la estrategia que se propone se ha elaborado considerando tres criterios esenciales: participación ciudadana, horizonte de planificación de largo plazo (veinte años) y definición estratégica a partir de la formulación de un reducido grupo de objetivos del desarrollo. Este último criterio cobra relevancia fundamental a la hora de priorizar lo que es estratégico por sobre las acciones y objetivos simples y rutinarios.

Desde la perspectiva metodológica, dicho proceso de actualización se estructuró en cuatro etapas. Etapa I, correspondiente a la actualización de información base. Etapa II, referida a la generación de talleres de participación ciudadana en todo el territorio. Etapa III, elaboración de una matriz de potencialidades, limitaciones y problemas, definición de objetivos estratégicos y construcción de escenarios. Etapa IV, generación de directrices y programas estratégicos.

Los principios orientadores para el desarrollo de Aysén constituyen el marco valórico en el que se desenvuelve la Estrategia Regional de Desarrollo. En este contexto se han definido los siguientes principios que dan sentido al futuro que se desea alcanzar para Aysén: Sustentabilidad, Equidad, Eficiencia, Calidad, Transparencia y comunicación.

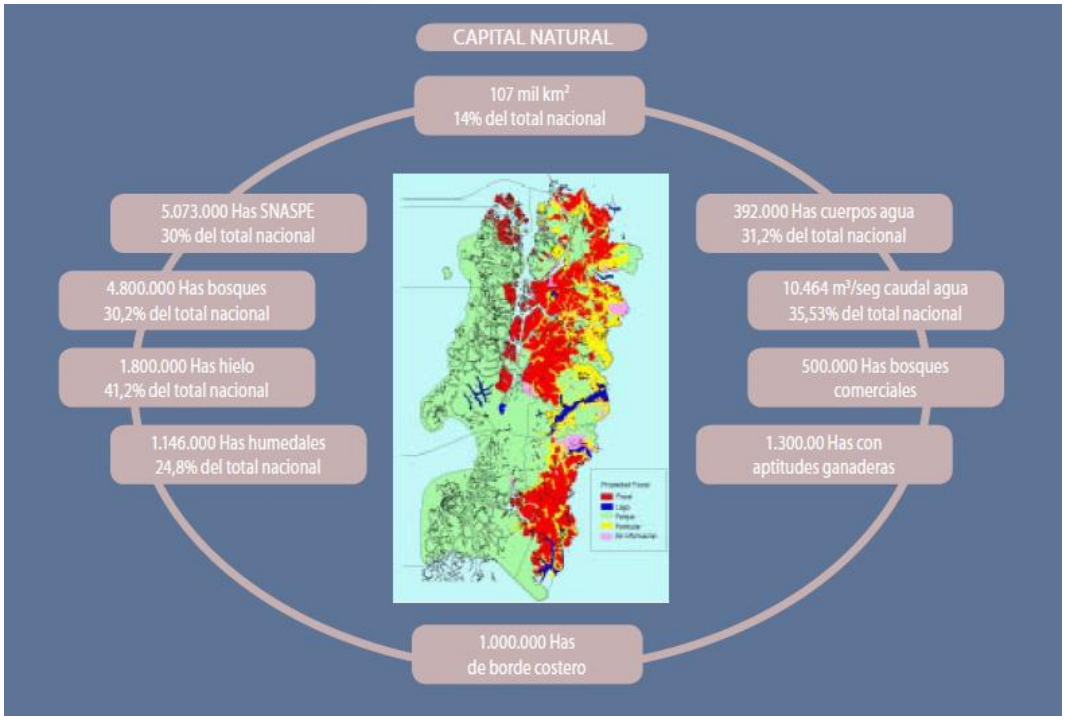


Figura 41. Capital Natural de la Región de Aysén.

Fuente: Estrategia Regional de Desarrollo de Aysén, 2009.

6.1.2 Estrategia regional de innovación 2014-2020.

El proyecto se enmarca en el contexto del Proyecto RED, promovido en Chile por CONICYT y SUBDERE con apoyo de la Unión Europea. Ofreciendo el Proyecto RED un marco metodológico y de condiciones básicas para todas las regiones participantes, cabe indicar que es la propia Región de Aysén, bajo el liderazgo del Gobierno Regional de Aysén, coordinando el trabajo Directorio de la ERI y apoyando el Grupo de Gestión ERI, que ha animado el proceso y consensuado los contenidos de la Estrategia Regional de Innovación.

El objetivo de este documento es definir la visión, los objetivos, las líneas estratégicas y el sistema de gobernabilidad de la Estrategia Regional de Innovación (ERI) de la Región de Aysén 2014-2020.La estrategia como se presenta se basa en un análisis profundo de la región y sus necesidades. Se llevó a cabo un análisis documental de la bibliografía relevante para la región y de documentos de planificación como es la Política Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Aysén o la Estrategia Regional de Desarrollo de Aysén. También se llevó a cabo un extenso trabajo de campo, en el cual fue desarrollado el Diagnóstico Regional del Sistema Regional de Innovación que estableció el punto de partida para el análisis estratégico y el debate entre los agentes relevantes del Sistema Regional de Innovación de Aysén –Administración Pública, Academia, Empresas etc.

6.1.3 *Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.*

El proyecto "Mapas de Calor en la Región de Aysén" nace como una iniciativa colaborativa entre la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente de la Región de Aysén, la Universidad de Concepción y la Fundación Energía para Todos, la cual tiene como objetivo la realización de mapas de calor en las localidades de Chile Chico, Puerto Chacabuco, Puerto Aysén y Puerto Cisnes. Para llevar a cabo el objetivo, se debió estimar la demanda de energía térmica de las distintas viviendas y edificaciones de las localidades. Para ellos se seleccionaron viviendas representativas, las cuales, mediante la colaboración de distintos organismos públicos, se pudo tener acceso a su planimetría. Para el caso de los edificios, que por cierto tienen un consumo energético mayor, fueron seleccionados 11 edificios, los cuales, a través de la planimetría y especificaciones técnicas, fueron simulados dinámicamente, calculando de esa manera su demanda térmica. Además, se simuló el consumo energético de las viviendas y edificios, para el caso de que estos fueran aislados térmicamente bajo los criterios que exige el PDA de Coyhaique. Luego, la información fue georreferencia y graficada mediante mapas de calor de demandas térmicas en viviendas y edificaciones, generando una representación gráfica del consumo energético por localidad, en su línea base, como de su potencial de eficiencia energética.

Localidad	Tipología	Demanda de calefacción línea base [kWh/año-m^2]	Demanda de calefacción PDA [kWh/año-m^2]	Ahorro Linea Base / Estándar PDA [%]
Puerto Cisnes	Pre2000	593.6	114.1	80.7
	Entre 2000-2007	401.4	114.1	71.6
	Post 2007	158.2	96.9	38.7
Puerto Aysén – Puerto Chacabuco (*)	Par-Ra pre2000	533.4	120.5	77.4
	Par-Ra Entre 2000-2007	317.4	120.5	62.0
	Par-Ra post 2007	163.9	120.5	26.5
	Par-Ve pre2000	637.0	88.5	86.1
	Par-Ve entre 2000-2007	346.1	88.5	74.4
	Par-ve post 2007	119.1	88.5	25.7
	Ais-Ra pre2000	541.0	118.8	78.0
	Ais-Ra entre 2000-2007	283.7	118.8	58.1
	Ais-Ra post 2007	214.6	136.9	36.2
	Ais-Ve pre2000	653.1	107.5	83.5
	Ais-Ve entre 2000-2007	392.6	107.5	72.6
	Ais-Ve post2007	163.7	101.4	38.1

Figura 42. Resumen de ahorro energético de viviendas calculado en el estudio.

Fuente: Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.

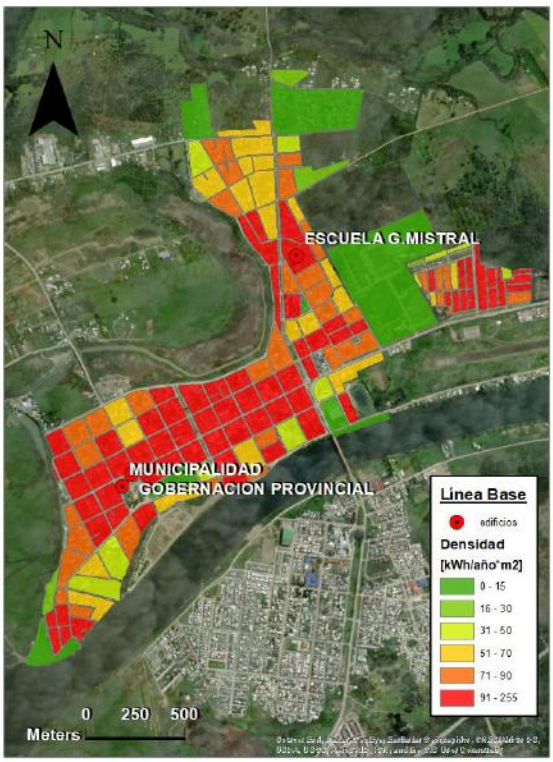


Figura 43. Mapa de Calor Puerto Aysén Norte, estaca 1:15000.

Fuente: Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.

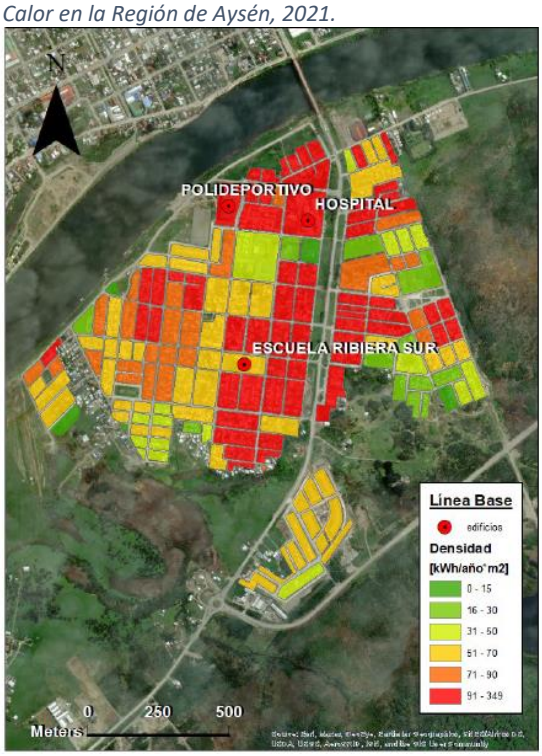


Figura 44. Mapa de Calor Puerto Aysén Sur, escala 1:10000.

Fuente: Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.

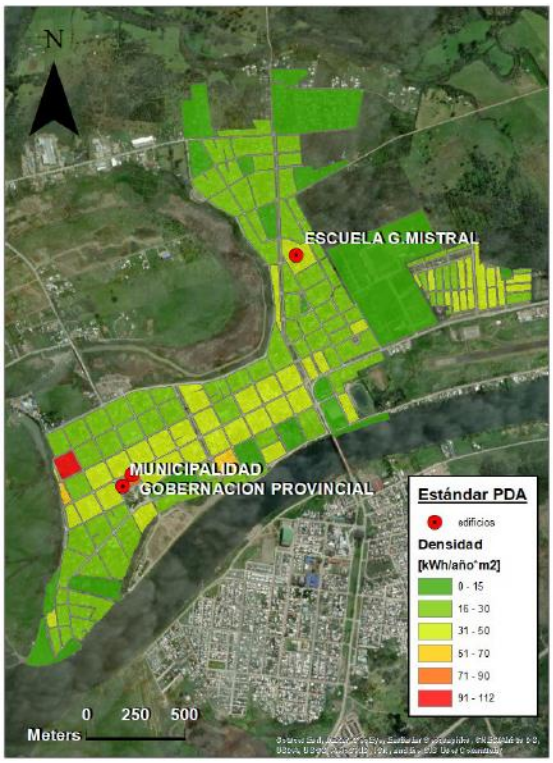


Figura 45. Mapa de Calor Puerto Aysén Norte, escala 1:15000.

Fuente: Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.

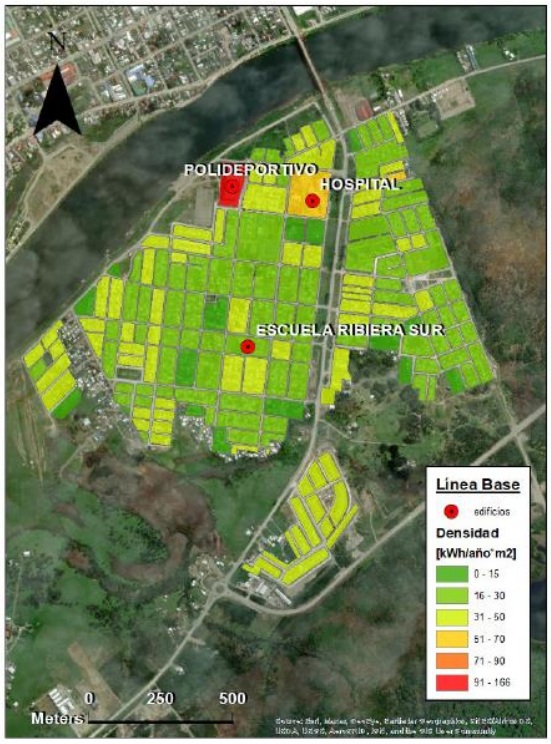


Figura 46. Mapa de Calor Puerto Aysén Sur, escala 1:10000.

Fuente: Informe Final: Mapas de Calor en la Región de Aysén, 2021.

6.1.4 Evaluación de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane, 2020.

Este estudio tiene como objetivos estimar las demandas de energía de edificaciones en la ciudad de Cochrane, región de Aysén. Además de analizar la prefactibilidad de la implementación de un proyecto de calefacción distrital que entregue calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS).

Adicionalmente este estudio busca valorizar los diversos beneficios del proyecto, tales como; mejoramiento de la eficiencia del sistema de calefacción actual, basado principalmente en combustión ineficiente y altamente contaminante de leña húmeda, reducción significativa de las emisiones de material particulado fino $MP_{2.5}$, entre otros.

Los diferentes escenarios estudiados fueron los siguientes:

- Línea de base: Refleja la demanda de térmica actual en Cochrane (28.830 MWh/anuales).

- Acondicionamiento térmico: Todos los edificios de la ciudad y viviendas se acondicionan térmicamente de acuerdo con el estándar del PDA de Coyhaique, lo que reduce en un 60% la demanda térmica.

    1. Escenario 1: Conexión de los cinco edificios a la red de calefacción distrital (14% de la demanda térmica de la ciudad).

    2. Escenario 2: Como el escenario 1, más cuatro manzanas restantes con una densidad de calor muy alta (32% de la demanda térmica de la ciudad).

    3. Escenario 3: Como el escenario 2, más todas las manzanas con alta densidad de calor, que son fáciles de conectar a la red (66% de la demanda térmica de la ciudad).

    4. Escenario 4: Todas las manzanas, excepto las dos categorías de bloques con menor densidad de calor, por lo que este escenario cubre alrededor del 96% de la demanda total de calor.

Resultados: Pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m^2 en viviendas y 294 kWh/m^2 en los edificios analizados, existe una tremenda oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de $MP_{2.5}$ en hasta un 60%. Respecto a los costos de esta medida, según referencia del SERVIU el costo de acondicionamiento térmico por unidad de superficie es alrededor de 230.000 $\$/m^2$.

Bajo un análisis privado, el costo actual de generación de energía térmica es 31.494 $/MWh, es decir los usuarios pagan actualmente esta tarifa de energía térmica. Si se considera un 63% de expansión de la red de calefacción distrital, el costo sería 60.895$/MWh, a un 96%, el costo sería 79.867$/MWh. Esto indica que no es factible implementar un proyecto de calefacción distrital en la ciudad de Cochrane sin subsidio público

Se realizó un análisis de sensibilidad respecto al precio de emisión necesario para alcanzar un punto de equilibrio público-económico (ahorro neto de 0 $/año) comparado con la línea base es de 5,27 USD/kg$MP_{2,5}$ y 5,41 USD/kg$MP_{2,5}$ para el Escenario 3 (más de un 60% expansión de la red distrital) y respectivamente Escenario 4 (96% de expansión de la red distrital). Por lo tanto, el establecimiento de calefacción distrital podría tener un gran potencial para generar ahorros públicos en el futuro.

Los datos cualitativos entregados por el trabajo realizado en terreno indican que existe un 42% de la comunidad de Cochrane, que por motivos económicos no es capaz de calefaccionar de manera constante y segura, pues limita su uso, y además alrededor de un 32% de los encuestados, no logra calefaccionar todo el hogar. De esta forma, es pertinente ahondar en este punto, a través de estudios que puedan medir con mayor profundidad el confort térmico actual de las viviendas de Cochrane.

6.1.5 Actualización plan desarrollo comuna de Aysén, 2015.

El Plan de Desarrollo Comunal es el principal instrumento de planificación y gestión con el que cuenta la organización municipal en nuestro país. Su propósito es contribuir a una administración eficiente de la comuna y promover iniciativas y proyectos destinados a impulsar el progreso económico, social y cultural de sus habitantes.

La siempre limitada disponibilidad de recursos humanos y financieros, frente a la magnitud y diversidad de tareas que deben enfrentar las municipalidades, obliga a las autoridades y técnicos de la administración local a una permanente búsqueda de nuevos caminos para mejorar su gestión, incrementando los niveles de eficiencia interna y perfeccionando la capacidad de negociación con actores externos. Contribuciones importantes, en este sentido, han sido el desarrollo de la capacidad de análisis acerca de las posibilidades de desarrollo de las comunas y la creciente adopción de instrumentos de planificación como herramienta para una mejor gestión municipal.

La planificación y gestión del desarrollo comunal debe ser entendida como un proceso continuo de análisis, reflexión y toma de decisiones, en el que concurren secuencias de naturaleza técnica, negociaciones políticas, intereses económicos y demandas sociales. La formalización de dicho proceso en un documento específico tiene como principal motivo registrar los compromisos y acuerdos sociales que permitirán alcanzar los objetivos de desarrollo de la comuna.

6.1.6 Políticas públicas y pobreza energética en Chile: ¿una relación fragmentada?, 2018.

Este documento propone un análisis de los programas implementados en Chile durante el año 2016 en el marco de la política pública, a partir de una comparación con los requerimientos y desafíos que presenta la pobreza energética, acorde a la definición propuesta por la Red de Pobreza Energética (RedPE). El ejercicio se realiza con el fin de identificar qué dimensiones han sido abordadas y cuáles se encuentran aún más desatendidas, con el fin de relevar la necesidad de observar el fenómeno desde una perspectiva compleja y multidimensional. El objetivo de este documento es constituir un insumo para la discusión sobre los nuevos desafíos que esta problemática le presenta a la política pública e identificar posibles caminos para incorporar este nuevo fenómeno en las estructuras existentes.

Para esto, el documento presenta un catastro de 33 programas relacionados a la materia, para luego analizarlas en función de sus efectos directos e indirectos en las distintas dimensiones de la pobreza energética, sus beneficiarios, su alcance y su potencial impacto. Como conclusiones de este análisis se identificó una alta fragmentación de las políticas públicas chilenas y una carencia de articulación entre sectores, lo que limitaría el impacto potencial de los programas. A su vez, se identifica la falta de un abordaje integral de las dimensiones de la pobreza energética que reconozca las condiciones locales, las diferencias climáticas y las distintas expresiones culturales relacionadas con las necesidades energéticas. Por último, la falta de información específica disponible no permite vislumbrar el panorama completo en torno a estas iniciativas, impidiendo evaluarlas con mayor claridad y profundidad.

Finalmente, se proponen distintas líneas de acción para abordar este problema de manera tal que se consiga una mayor integración sectorial de los abordajes actuales para este fenómeno. Esto permitiría un abordaje más eficaz y una fundamentación más robusta de las políticas públicas, aspirando a que estas últimas logren articular las distintas iniciativas existentes a nivel nacional con diseños que sean sensibles a las diferencias territoriales y socioculturales del país, y donde la participación de actores locales, expertos y científicos especializados contribuya a la visibilización y resolución de este nuevo desafío.

6.1.7 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, 2021.

La leña es una de las principales fuentes de energía de la región de Aysén. Sin embargo, no existen estudios que estimen su consumo a escala regional. A partir de encuestas que fueron aplicadas el año 2021, desde La Junta hasta Villa O´Higgins, se analizó el consumo de energía del sector residencial. El consumo total de energía en la región fue de 1.708 Gigawatt-hora/año, el 80% de la cual proviene de la leña, el 8% del gas licuado, el 5% de la electricidad, el 5% del pellet, el 1,5% de kerosene y el 0,5% de otras fuentes de energía.

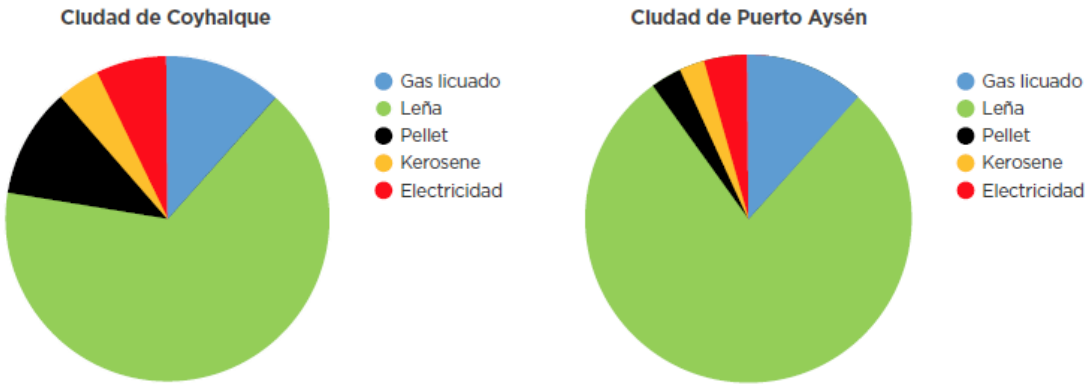


Figura 47. Composición del consumo final de energía en la región de Aysén.

Fuente: 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, 2021.

El consumo de leña fue de 565.456 m^3 sólidos/año (64% urbano y 36% rural). En áreas urbanas, el 82% de las viviendas consumen leña a un promedio de 14m^3 sólidos/vivienda/año, y en áreas rurales el 99% de las viviendas consumen leña a un promedio de 21 m^3 sólidos/vivienda/año. La comuna de Coyhaique concentra el 44% del consumo regional de leña, aunque se observa un fuerte desacople entre crecimiento demográfico y consumo de leña, debido a una serie de factores, entre los que destaca el ingreso del pellet al menú energético de las familias. El Plan de Descontaminación Atmosférica implementado en Coyhaique está acelerando procesos de transición energética que han permitido reducir el consumo de leña. Fortalecer ese proceso, e implementar un plan integral de eficiencia energética que implique mejorar el programa de reacondicionamiento térmico de viviendas y hacer más exigentes las normas de emisiones de calefactores a leña, sería un buen camino. Algo similar debería implementarse en Puerto Aysén, Cochrane y otras localidades para que toda la región avance al mismo ritmo.

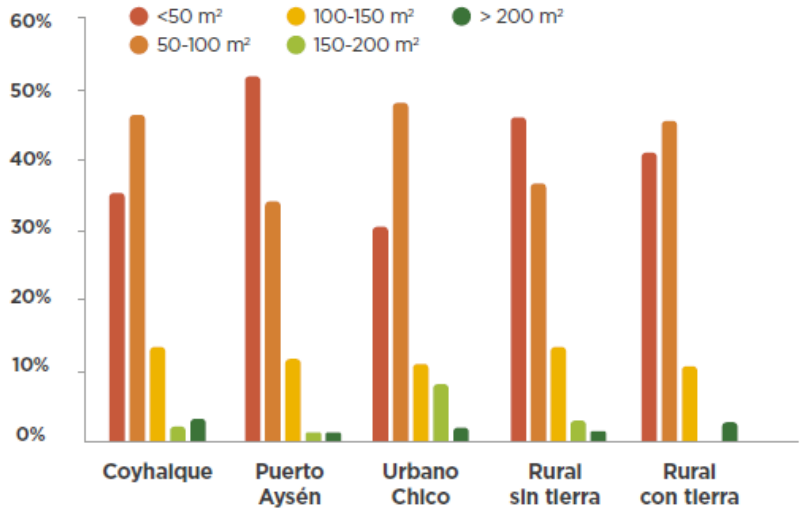


Figura 48. Tamaño de las viviendas de la zona estudiada.

Fuente: 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, 2021.

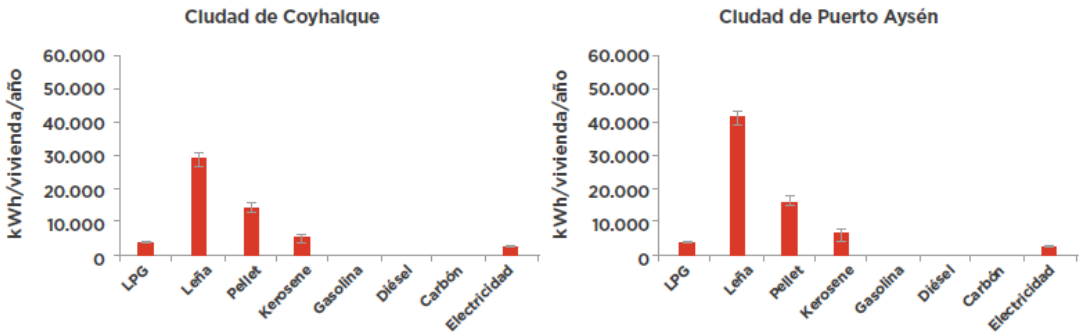


Figura 49. Importancia relativa de las distintas fuentes de energía utilizadas en la región de Aysén (promedio y error estándar)

Fuente: 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, 2021.

6.1.8 Energía 2050, política energética de chile, 2015.

El país que todos los chilenos anhelamos para el año 2050, con mayores niveles de bienestar personal y colectivo, se está construyendo hoy. Para avanzar en la dirección que deseamos, es indispensable planificar el camino y consensuar una estrategia que sea el fruto de la contribución de los distintos estamentos de la ciudadanía. Necesitamos políticas públicas adecuadas para ir modelando sistemáticamente y sin improvisaciones el país que recibirán las próximas generaciones de chilenos.

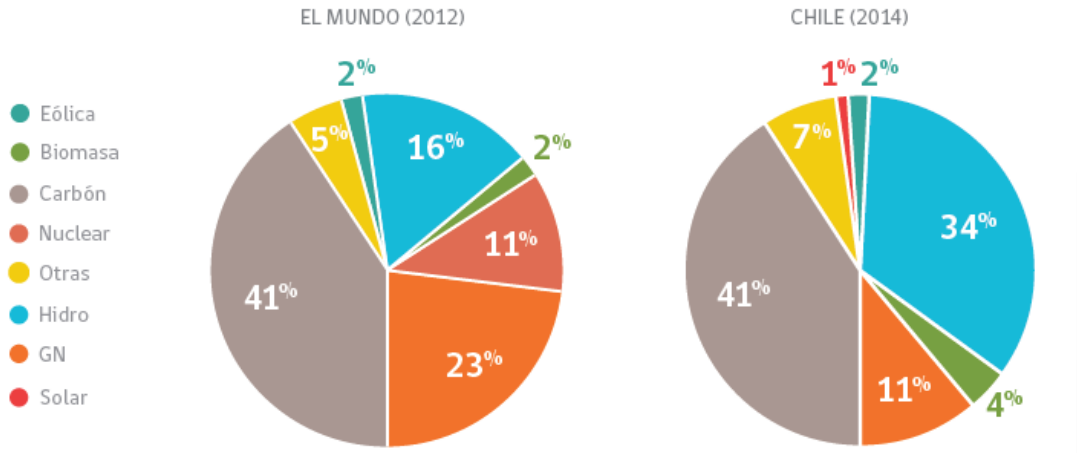


Figura 50. Generación eléctrica en Chile y el mundo.

Fuente: IEA, Ministerio de Energía.

La Política Energética propone una visión del sector energético al 2050 que corresponde a un sector confiable, sostenible, inclusivo y competitivo. Esta visión, obedece a un enfoque

sistémico, según el cual el objetivo principal es lograr y mantener la confiabilidad de todo el sistema energético, al mismo tiempo que se cumple con criterios de sostenibilidad e inclusión y, se contribuye a la competitividad de la economía del país. En definitiva, mediante estos atributos, se establece como objetivo avanzar hacia una energía sustentable en todas sus dimensiones.

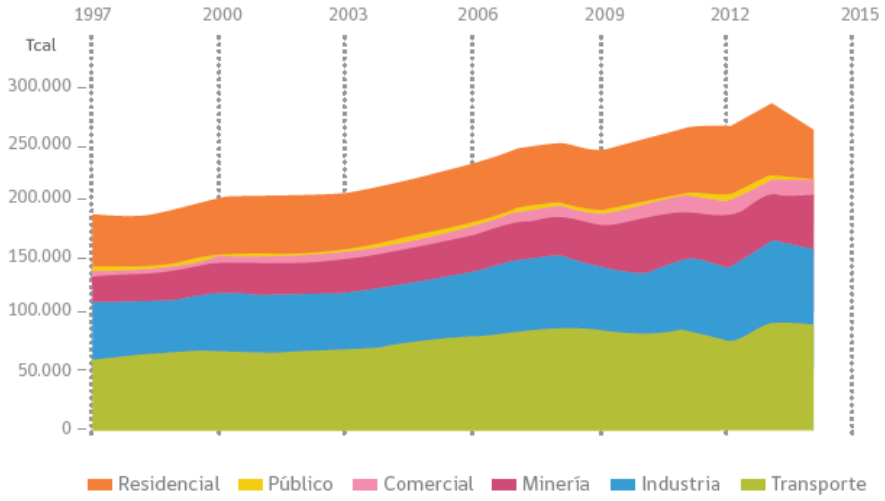


Figura 51. Consumo energético final histórico por sector.

Fuente: Balance Nacional de Energía.

Para alcanzar esta visión al 2050, la Política Energética se sustenta en 4 pilares: Seguridad y Calidad de Suministro, Energía como Motor de Desarrollo, Compatibilidad con el Medio Ambiente y Eficiencia y Educación Energética. Sobre estas bases, deben desarrollarse las diversas medidas y planes de acción planteados hasta el año 2050.

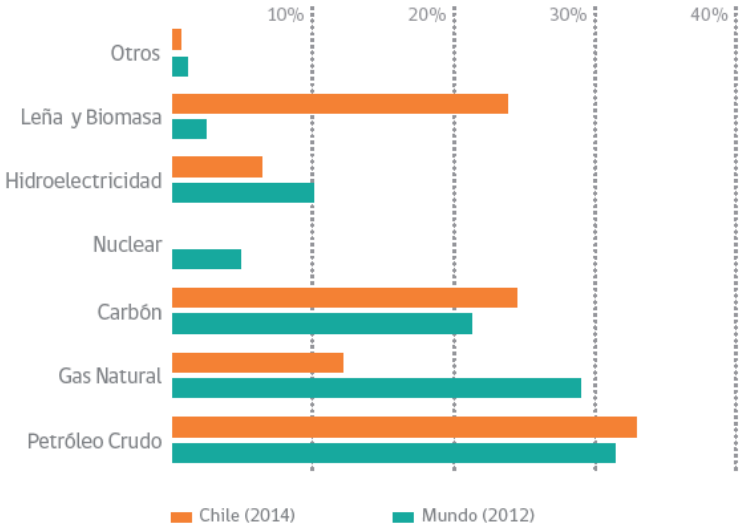


Figura 52. Matriz Energética Primaria.

Fuente: IEA, Ministerio de Energía.

Figura 53. Matriz Energética Secundaria o de Consumo Final.

Fuente: IEA, Ministerio de Energía.

6.1.9 Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena, 2014.

El objetivo general del estudio es contar con una modelación sobre los aportes de las energías renovables no convencionales (ERNC) a los procesos de descontaminación, que permitan apoyar la toma de decisión en medidas orientadas a descontaminar zonas saturadas prioritarias del centro sur de Chile.

Los objetivos específicos asociados al estudio son los siguientes:

- Contar con una revisión, a nivel internacional, del conjunto de tecnologías ERNC para uso de calefacción que han sido implementadas en países con condiciones geográficas y climáticas similares a la zona centro sur de Chile y que cumplan estándares nacionales/internacionales relacionados con altas eficiencias y bajas o nulas emisiones.

- Contar con una base de datos geo-referenciada, junto a un análisis en Sistema de Información Geográfica, respecto de las potencialidades de desarrollar proyectos de calefacción con ERNC, de cada zona térmica de la zona centro-sur de Chile.

- Contar con una modelación de escenarios de penetración de ERNC con usos térmicos en un horizonte de 30 años para la evaluación del mejoramiento ambiental en zonas saturadas en la zona centro-sur de Chile.

- Contar con una evaluación comparativa sobre aspectos técnicos, económicos y ambientales para las soluciones tecnológicas térmicas eficientes por seleccionar.

Artefactos	Factores de Emisión MP10 [g MP2,5 / kg combustible]		
	Humedad 0-20 (%)[17]	Humedad Mayor a 20 (%)	Mala Operación[18]
Cocina a Leña	19,2	30,9	-
Estufa (cámara simple, doble o insert)[19]	15,3	24,2	76,0
Salamandras	15,9	27,9	-
Chimeneas	16,6	27,9	-
Braseros	17,9	27,9	-

Figura 54. Factores de Emisión MP_{10} Artefactos a Leña.

Fuente: Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena, 2014, en base a (Ambiosis, 2009), (Cenma, 2008) y (Enviromodelling Ltda, 2009).

Artefactos	Factores de Emisión MP2,5 [g MP2,5 / kg combustible]		
	Humedad 0-20 (%)	Humedad Mayor a 20 (%)	Mala Operación
Cocina	17,9	28,8	-
Estufa Actual con Cámara Simple	14,2	22,5	70,76
Estufa Actual con Cámara Doble	14,2	22,5	70,76
Salamandras	14,8	26,0	-
Chimeneas	15,5	26,0	-
Braseros	13,3	21,0	-
Estufa Comercio General[20]	2,10[21]	3,3[22]	70,8[23]

Figura 55. Factores de Emisión $MP_{2.5}$ Artefactos a Leña.

Fuente: Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena, 2014, en base a (Ambiosis, 2009), (Cenma, 2008) y (Enviromodelling Ltda, 2009).

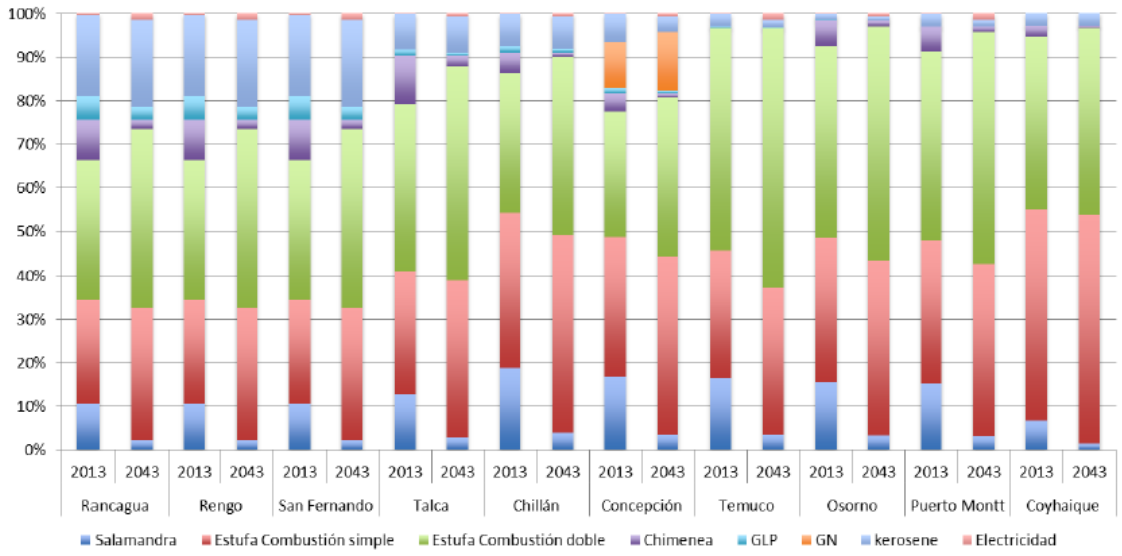


Figura 56. Participación tecnologías en línea base, 2013 y 2043.

Fuente: Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena, 2014, en base a (Ambiosis, 2009), (Cenma, 2008) y (Enviromodelling Ltda, 2009).

6.1.10 Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020.

Este informe tiene como objetivo caracterizar el mercado de la leña en Chile, para ello se estructura en las siguientes secciones. En primer lugar, se describe el marco normativo de la leña, posteriormente analizamos la cadena de actores presentes en el mercado y su impacto macroeconómico. El informe cierra con un apartado de las principales conclusiones de este estudio.

Como hemos examinado en este informe, el mercado de la leña presenta una serie de particularidades, que no han sido reconocidas adecuadamente a la hora de intentar intervenirlo o regularlo a través de marcos normativos.

En efecto, el mercado de la leña en Chile posee varias características que le permiten acercarse a constituir un mercado competitivo y, a la vez, sustentable que responda a las necesidades de las economías locales. La gran cantidad de oferentes y demandantes junto con las bajas barreras de entrada y salida de productores alientan en este sentido la existencia de precios bajos en comparación a otros recursos energéticos térmicos. Sin embargo, esta situación es posible precisamente debido a la externalización de costos ambientales, sociales y de salud pública, así como la falta de información de éstas para la toma de decisiones de los consumidores, resultando en un mercado con criterios poco sustentables de acción.

Figura 57. Emisiones de material particulado según tipo de fuente y región.

Fuente: Ministerio de Energía, 2019.

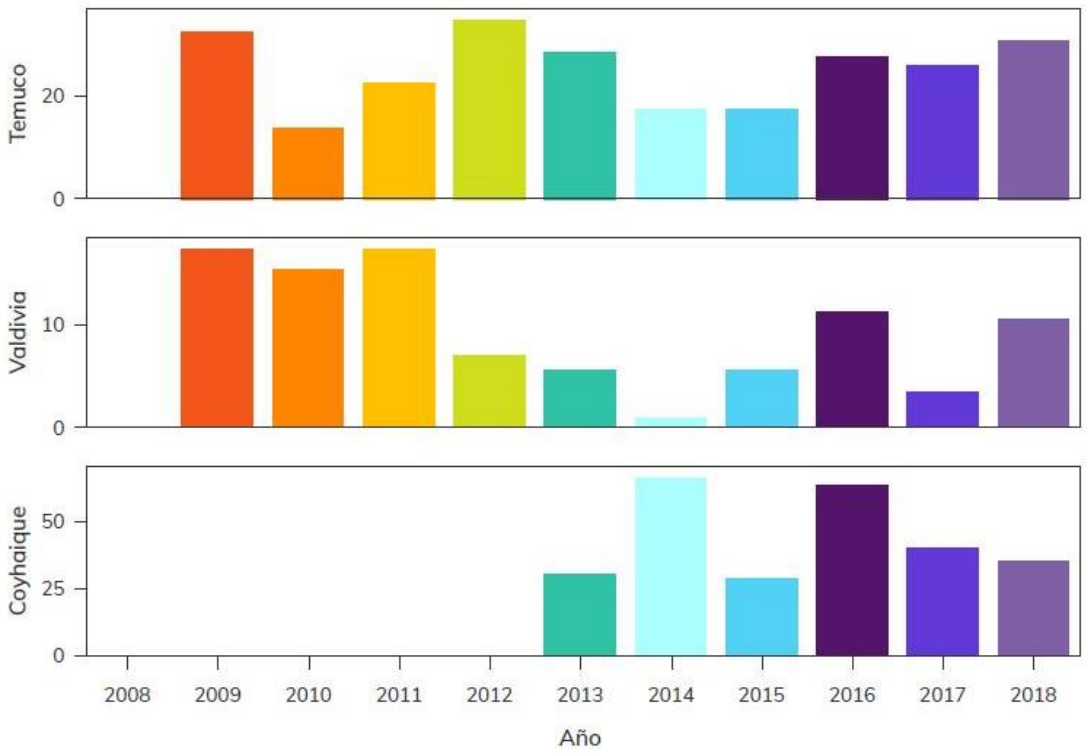


Figura 58. Número de episodios de emergencia anuales en ciudades del sur de Chile 2018 – 2018.

Fuente: Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020, en base a información del Ministerio de Medio ambiente.

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea
O'Higgins	39,85%	0,81%	14,44%	29,62%	1,78%	12,44%
Biobío	23,83%	28,30%	15,03%	26,41%	2,20%	3,70%
Araucanía	29,23%	43,98%	10,14%	16,65%	0,00%	0,00%
Los Lagos	18,26%	56,44%	6,90%	13,67%	0,38%	2,61%
Aysén	19,21%	51,72%	3,50%	23,40%	0,78%	1,40%

Figura 59. Porcentaje de leña consumida por artefacto según región en año 2005.

Fuente: Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020, en base a información de Gómez- Lobo el al. (2006).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	Total [N° Equipos]
O'Higgins	37,0%	11,3%	26,7%	11,1%	9,9%	4,1%	0,0%	165.372
Maule	56,6%	12,0%	12,6%	8,7%	7,1%	3,1%	0,0%	234.279
Biobío	51,3%	14,7%	16,6%	8,2%	6,3%	2,9%	0,0%	459.243
Araucanía	57,6%	18,4%	10,8%	6,4%	5,2%	1,7%	0,0%	292.255
Los Ríos	49,4%	28,6%	3,0%	16,9%	1,2%	0,5%	0,4%	254.569
Los Lagos	44,4%	35,9%	4,3%	10,0%	3,4%	1,2%	0,8%	133.164
Aysén	35,8%	38,3%	1,3%	23,7%	0,0%	0,6%	0,3%	38.505
Nacional	51,5%	16,6%	13,6%	10,6%	5,5%	2,2%	0,1%	1.873.803

Figura 60. Distribución de los artefactos utilizados por región para el año 2014.

Fuente: Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020, en base a información de CDT (2015a).

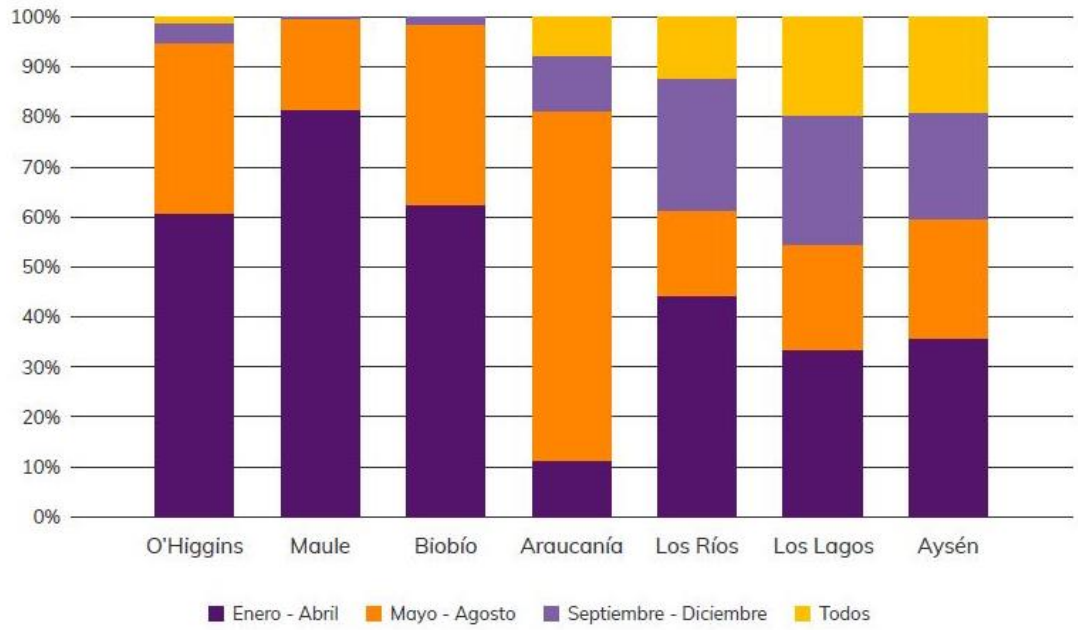


Figura 61. Estación en que los hogares compran leña según región.

Fuente: Caracterización del mercado de la leña en chile y sus barreras para la transición energética, 2020, en base a información de CDT (2015a).

6.1.11 Medición del consumo nacional de laña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, 2015.

Este estudio corresponde al informe final "Medición del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera", el cual contempla como aspectos centrales; la metodología de levantamiento de información para cada sector, resultados parciales

relativos a la penetración y consumo de leña y derivados de la madera, tenencia de artefactos y patrones de uso por sector -entre otros-, resultados consolidados, detalles del modelo de proyección del consumo de leña y recomendaciones para próximos levantamientos de información.

El objetivo general del presente estudio es diseñar e implementar una encuesta nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera con representatividad en los cinco sectores, que permita determinar el consumo de estos combustibles en Chile, desagregado por zona geográfica y condición urbano-rural para el sector residencial. El presente estudio busca dar cuenta de los consumos, y prácticas asociadas, de leña y otros derivados de la madera tanto en los sectores: Residencial, Industrial PyMes, Comercial, Hoteles y Restaurantes y Establecimientos de uso público.

A través de la realización de una encuesta a nivel nacional para cada sector, se buscó determinar el consumo de leña y derivados de la madera, en un intento por dilucidar aspectos del mercado de la leña desde una perspectiva de la demanda de éste.

SEGMENTO	Energía Leña Mínima anual (GWh/año)	Energía Leña Máxima anual (GWh/año)	Energía Derivados de leña (GWh/año)	ENERGÍA TOTAL MÍNIMA (GWh/año)	ENERGÍA TOTAL MÁXIMA (GWh/año)	ENERGÍA TOTAL MÍNIMA (Tcal/año) (P.C.I.)	ENERGÍA TOTAL MÁXIMA (Tcal/año) (P.C.I.)
RESIDENCIAL	17.515	22.184	555	18.070	22.739	15.540	19.556
COMERCIAL	5,2	7,1	4,8	10	11,9	9	10
HOTELES Y RESTAURANTES	37,8	51,4	47,2	85	98,6	73	85
ESTABLECI-MIENTOS DE USO PÚBLICO	91,9	125,2	13,6	105,5	138,8	91	119
Subtotal	**17.650**	**22.368**	**620,6**	**18.271**	**22.988**	**15.713**	**19.770**
PYMES NO GENERACIÓN	104,4	142,2	1,5	106	144	91	124
TOTAL	**17.754**	**22.510**	**622,1**	**18.376**	**23.132**	**15.804**	**19.894**

Figura 62. Resumen general de energía total de leña y sus derivados.

Fuente: Medición del consumo nacional de laña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, 2015.

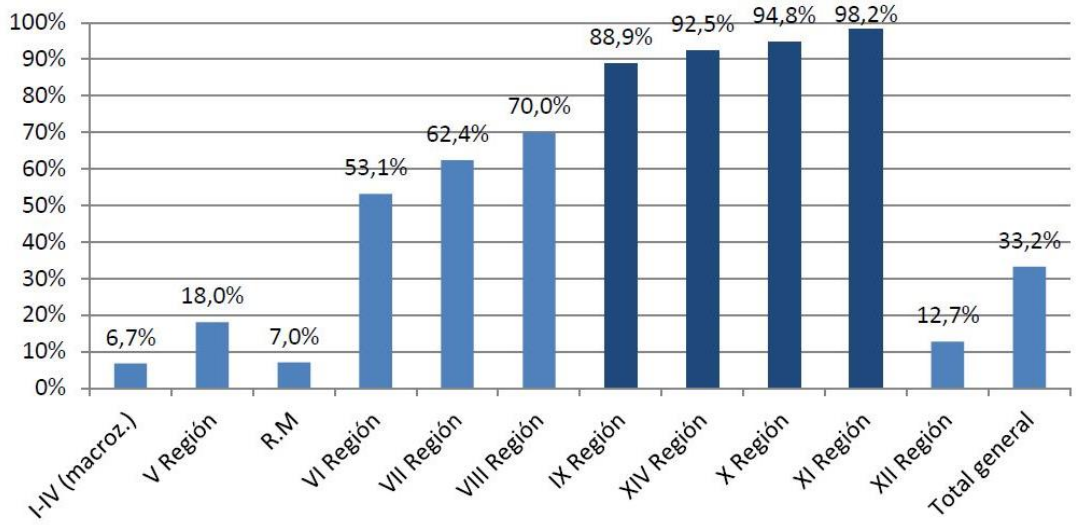


Figura 63. Penetración de leña respecto al total de viviendas tipología en sector residencial.

Fuente: Medición del consumo nacional de laña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, 2015.

6.1.12 Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio, 2015.

Este documento corresponde al Informe Final del trabajo: "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR, CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DENTRO DE LAS VIVIENDAS BENEFICIADAS DEL PROGRAMA DE RECAMBIO EN LA REGIÓN DE AYSÉN", que DICTUC S.A. desarrolló para el Ministerio del Medio Ambiente, Subsecretaría del Medio Ambiente, Región de Aysén.

El objetivo general del estudio fue generar información relevante para la evaluación de la calidad del aire de los programas de recambio de calefactores efectuados en la Región de Aysén. Para cumplir con este objetivo, se analizó la calidad del aire interior mediante la medición de Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado Fino ($MP_{2.5}$), temperatura y humedad en los hogares, además de consumos de leña antes y después del recambio, bajo condiciones de uso normal de los calefactores, a partir de la utilización de equipos recambiados el año 2014.

6.1.13 Mecanismo público-privado para direccionar un cambio de calefacción en la ciudad de Coyhaique, 2022.

Este trabajo, presenta una propuesta de mecanismo público-privado, para disminuir la contaminación atmosférica que afecta la salud y el medio ambiente de los habitantes de la ciudad de Coyhaique, donde uno de los planes para descontaminar y reducir las emisiones es la conversión energética. El objetivo de esta investigación es proponer el diseño de una herramienta metodológica o de servicio, que facilite y motive el cambio de combustión de leña a electricidad. Para lograrlo, se realizó un análisis cualitativo a través de una entrevista

semiestructurada, que reconoce las variables que motivan un cambio de calefacción, las cuales se utilizan en la creación de arquetipos de consumidores, para analizar las soluciones que requiere el tipo de usuario de calefacción de la ciudad de Coyhaique. Los datos muestran que, para generar un cambio en la utilización de calefacción a leña por eléctrica, se debe considerar el desarrollo de distintas variables de forma conjunta, donde las personas demandan un servicio de calefacción económico que les garantice confort térmico. En conclusión, la propuesta es que una consultora experta en eficiencia energética diseñe una metodología para construir un sistema de calefacción eficiente para las viviendas y/o empresas.

6.1.14 Análisis energético de viviendas Coyhaique, 2013.

Debido a que la ciudad de Coyhaique ha sido declarada zona saturada de contaminante particulado fino ($PM_{2,5}$). El estudio realizará un análisis energético de las viviendas de Coyhaique con el fin de identificar donde es más indicado aplicar medidas de aislamiento térmico.

A partir de los datos provenientes de la encuesta "Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile" (2010), se ha observado que según agrupación de vivienda (casa aislada, casa pareada y casa fila), las viviendas con más consumo energético son las viviendas aisladas de 1 y 2 pisos, en contraparte con las viviendas en fila, las cuales son las que menos consumen. Además, el grupo socioeconómico que más consumo es el ABC1, mientras que el de menos es el C3.

Se ha determinado, que en caso de que la vivienda cumpliese las exigencias mínimas para el aislamiento térmico en la reglamentación térmica de 2007, el ahorro medio sería del 22% (asumiendo el mismo consumo).

Las medidas relacionadas a la aislación térmica tienen costos variados y un periodo de retorno simple (PRS) entre varios meses y 100 años, entendiéndose PRS como el tiempo que tarda en recuperarse la inversión.

Se considera que el sellado de infiltraciones es la medida más rentable (considerando costos y ahorros futuros), seguido por la instalación de cortinas blackout y aislante en techumbres. Por el contrario, la que tendrá un PRS mayor, es la aislación del piso de la vivienda (para que cumpla con actual reglamentación térmica).

El 91% de la energía consumida, proviene de la madera, en particular de la especie lenga. Es por eso por lo que los ahorros económicos y energéticos se han calculado en función de esa especia.

A partir del análisis en relación con la oferta de leña utilizada para calefacción y cocción. El 70% de las leñeras de la ciudad son no certificadas.

Finalmente, se concluye que la única sustitución recomendable es la de cambio de estufa convencional por estufa que cumpla normativa de emisiones DS N°39 del MMA.

Tabla 148. Grados- día anuales por zona térmica.

	Grados - día
Zona 1	≤500
Zona 2	> 500 – ≤ 750
Zona 3	> 750 – ≤ 1.000
Zona 4	> 1.000 – ≤ 1.250
Zona 5	> 1.250 – ≤ 1.500
Zona 6	> 1.500 – ≤ 2.000
Zona 7	> 2.000

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y construcciones.

6.1.15 Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile, 2022.

En este estudio se realizó una evaluación de la contaminación del aire en Coyhaique, correspondiente a 7 años (2014-2020) de niveles de MP medidos en dos estaciones. A partir de esto, se puede evaluar la variabilidad de contaminación, el efecto de las variables meteorológicas y las tendencias a largo plazo de la contaminación.

Los niveles más altos de MP observados en meses fríos se relacionan al uso de leña para calefacción y cocina residencial. (los días más contaminados se asocian a bajas temperaturas, baja velocidad del viento y altos índices $PM_{2.5}$/ PM_{10}.

Se estimaron disminuciones en ambos tipos de MP a lo largo del tiempo (escenario positivo considerando las normativas). Sin embargo, los promedios anuales de estos superan los umbrales de calidad de aire nacional e internacional.

Ciudad reportó un porcentaje de superaciones anuales de las pautas diarias de la OMS de 57% en PM_{10} y 77% en $PM_{2.5}$. Resaltándose entonces el gran problema de contaminación del aire, comparándose con megaciudades contaminadas del mundo.

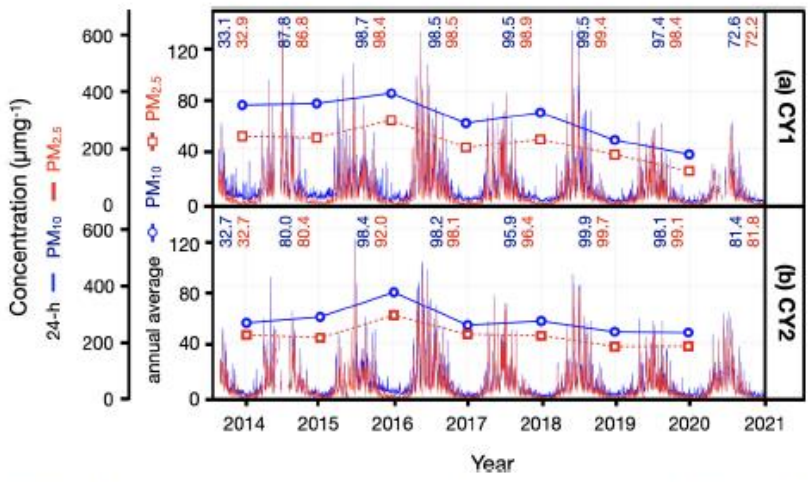


Fig. 2. Time series of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations for the stations under study, with the percentage of annual data availability per year for each PM fraction written above each year, i.e., (a) CY1; (b) CY2 (see Fig. 2 for location of the stations) for the period 2013–2020.

Figura 64. Times series of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations for the stations under study, with the percemtage of anual data availability per year for each PM fraction written above each year, i.e. (a) CY1; (b) cY2, for the èriod 2013- 2020.

Fuente: Long-term airborne particle pollution assessment in the city of Coyhaique, Patagonia, Chile, 2022.

6.1.16 Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica, 2019.

El objetivo del informe es definir criterios de diseño arquitectónicos y estándares de desempeño para viviendas sociales de baja o nula demanda térmica para zonas declaradas saturadas que cuenten con PDA. Este se enmarca en la aplicación de políticas futuras que apuntan a disminuir las emisiones de MP. En este estudio se demuestra que aún existen más opciones a realizar con el fin de disminuir el consumo de energía en viviendas construidas en ciudades con PDAs. Además, se realizó un análisis de costos asociados a los mejoramientos propuestos en las viviendas y se analiza la posibilidad de conseguir viviendas de energía neta cero (usando generación fotovoltaica).

Para realizar un análisis de desempeño térmico y optimización, se definieron dos tipologías de vivienda, una casa aislada y un departamento. El diseño de estas dos viviendas se adoptaría de tal manera que cuya exposición al ambiente fuese lo más desfavorable posible, es decir, una vivienda aislada de un piso con 4 caras expuestas al exterior y un departamento ubicado en el último piso de un edificio con 3 caras expuestas al exterior.

Se simularon ambas viviendas orientándolas hacia el norte y se agregaron como parámetros de entrada los que satisfacen el PDA más restrictivo por zona térmica.

Para 1003 y 862 simulaciones en cada proceso de optimización para vivienda con tipología Casa y departamento respectivamente, se obtienen los resultados considerando los parámetros de diseño óptimo de cada tipología (ver ilustraciones):

Casa FLN - Zona I		
Variables	**Análisis**	**Unidad**
Transmitancia Muro	0.24	W/m2K
Transmitancia Techo	0.2	W/m2K
Transmitancia Radier	0.38	W/m2K
Transmitancia Ventana	1.4	W/m2K
Materialidad Muro	Madera	-
Nivel infiltración (50 Pa)	2.34	ACH
SHGC	0.75	-
WWR sur	9.01	-
WWR oeste	0.01	-
WWR este	3.01	-
WWR Norte	48.46	-
Area Ventana Sur	2.58	m2
Area Ventana Oeste	0	m2
Area Ventana Este	0.6	m2
Area Ventana Norte	11.75	m2

Figura 65. Parámetros de diseño en casa óptima Zona 1.

Fuente: Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica, 2019.

Depto FLN - Zona I		
Variables	**Análisis**	**Unidad**
Transmitancia Muro	0.24	W/m^2K
Transmitancia Techo	0.20	W/m^2K
Transmitancia Radier	0.38	W/m^2K
Transmitancia Ventana	1.4	W/m^2K
Materialidad Muro	Hormigón	-
Nivel infiltración (50 Pa)	2.34	ACH
SHGC	0.7	-
WWR sur	0	-
WWR oeste	4.50	-
WWR este	13.08	-
WWR Norte	34.38	-
Área Ventana Sur	0.0	m^2
Área Ventana Oeste	0.6	m^2
Área Ventana Este	2.04	m^2
Área Ventana Norte	8.94	m^2

Figura 66. Parámetros de diseño óptimo en departamento Zona 1.

Fuente: Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica, 2019.

El comportamiento general de la casa presenta una reducción por sobre el 45% en todas las zonas térmicas. Con respecto al departamento, la disminución es de un 31% respecto al caso base.

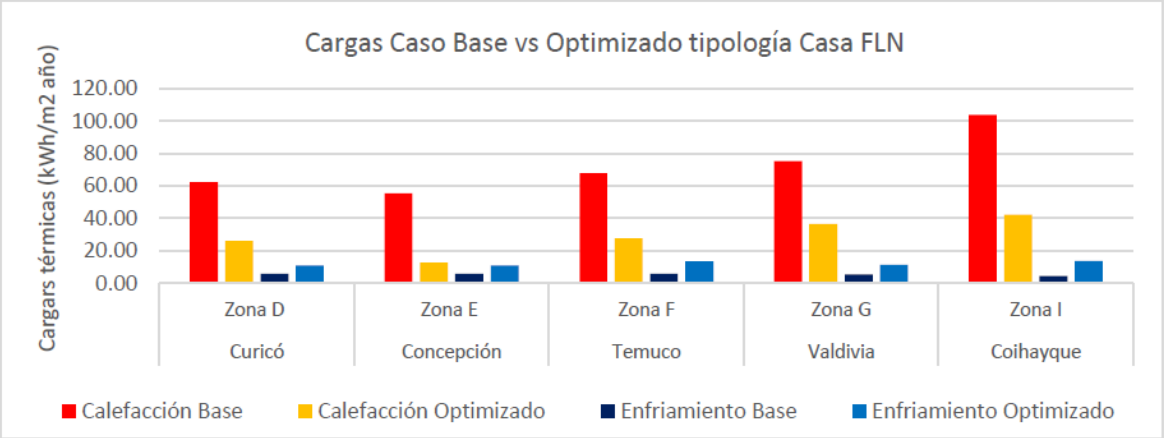


Figura 67. Comparación demanda resultados caso base versus optimizado.

Fuente: Estudio para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica, 2019.

Es importante considerar que, a diferencia con otras zonas térmicas, la zona de Coyhaique y sus alrededores, no contempla gasto energético por enfriamiento, debido a que la demanda de refrigeración es nula. Además, el costo diferencial entre la casa optimizada y la casa con estándar PDA es de 98 uf. Del mismo modo, la diferencia de costo entre el departamento optimizado y el departamento estándar con PDA es de 105 UF.

6.1.17 Proyecto mejoramiento 14 viviendas mediante convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Coyhaique, 2021.

El presente informe da muestra del avance físico del proyecto originado a partir del convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos DS N°87. Su fin principal es recopilar los antecedentes para la implementación del programa de intervención en viviendas ubicadas en la comuna de Coyhaique. Siendo un antecedente para el diseño de un programa definitivo para las viviendas existentes en zonas saturadas.

ID	OGUC kWh/m²año	PDA kWh/m²año	C.E.B.E. kWh/m²año
CB01	146	105,4	72
CB02	149,4	130,6	84,9
CB03	181,5	136	114,3
CB04		*Vivienda vendida*	
CB05	152,6	149,2	125,8
CB06	235	156,5	98
CB07	186,4	126,2	66,3
CB08	178,2	123,4	116,8
CB09	134,4	118,8	80,8
CB10	166,9	134,1	73,1
CB11	271	212,2	124
CB12	170,9	154	105,8
CB13	160,7	114,4	73

Figura 68. Tabla de resultados calificación energética de viviendas, versión 2.2 CEV.

Fuente: Proyecto mejoramiento 14 viviendas mediante convenio de colaboración técnica y transferencia de recursos entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Coyhaique, 2021.

6.1.18 Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile, 2020.

El presente artículo realizó un estudio ecológico (ciudad de Coyhaique) de series de tiempo que usa datos recopilados de concentración atmosférica $MP_{2.5}$ y admisiones hospitalarias asociadas a urgencias respiratorias en dos periodos de tiempo, con y sin RTC (2016 y 2014 respectivamente).

Se puede observar en la Ilustración, la cantidad de recambio de tecnología de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda.

Calefactor	Aisladas n (%)	No aisladas n (%)	Total n (%)
Leña	81 (59,12)	419 (53,17)	500 (54,05)
Keroseno	51 (37,23)	339 (43,02)	390 (42,16)
Pellet	5 (3,65)	30 (3,81)	35 (3,78)
Total	137 (100,00)	788 (100,00)	925 (100,00)

Figura 69. Recambio de tecnologías de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda. Desde 3 de mayo al 5 de agosto de 2016.

Fuente: Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile, 2020.

Además, se pueden visualizar las estadísticas descriptivas de los datos recogidos, observándose en el 2014 el doble de urgencias respiratorias comparado por el 2016. Al

calcular las HD50, el 2016 hubo un menor porcentaje de horas (7,4) sobre la norma de 50µg/m^3 para $MP_{2.5}$, comparado con 2014.

Se pudo determinar que el recambio se asoció a un riesgo inferior a la unidad, es decir, hubo una disminución del número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria, comparado con el periodo sin recambio, lo cual podría estar explicado, en parte, por la disminución del número de horas-día sobre las concentraciones de $MP_{2.5}$.

	2014 (sin recambio)	2016 (con recambio)
Número total de RTC (periodo de inverno)	0	925
Número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria (periodo de inverno)		
Grupo de 4 a 15 años	180	89
Total	240	117
Promedio diario	1,8	0,9
CPD-$MP_{2,5}$ (µg/m^3) [promedio diario del periodo (DE)]	140,1 (113,1)	148,1 (113,4)
HD50-$MP_{2,5}$ (horas > 50µg/m^3) [número de horas totales del periodo]	1.501	1.390
HD50-$MP_{2,5}$ (horas > 50µg/m^3) [promedio diario del periodo (DE)]	16,14 (6.43)	14,95 (6.69)
TR°C [promedio diario del periodo (mínima; máxima)]	1,04 (-2,73; 0.12)	0,69 (-5,28; 6,48)

CPD: concentración promedio diaria; DE: desviación estándar; HD50: número de horas diarias sobre la norma diaria de 50µg/m^3; MP: material particulado; RTC: recambio de tecnología de calefacción; TR°C: temperatura punto de rocío.

Figura 70. Datos agrupados para los periodos comprendidos entre el 3 de mayo al 5 de agosto del año 2014 (sin recambio) y 2016 (con recambio). Coyhaique, Chile.

Fuente: Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile, 2020.

6.1.19 Contaminación del aire por combustión a leña y su relación con la morbilidad respiratoria aguda en la ciudad de Coyhaique, Chile: Un estudio de series temporales.

Este proyecto de investigación se enfocó en la cuantificación del efecto del factor RTC (recambio de tecnología de calefactores) en la relación existente entre morbilidad respiratoria y material particulado controlada por las condiciones ambientales de temperatura y humedad.

El efecto del RTC (recambio de tecnología de calefactores) disminuyó en 15% el riesgo de urgencias respiratorias en el año 2016. Además, en comparación con el año 2014, la reducción en el año 2016 fue de casi 50%. Sin embargo, este efecto solo es aplicable a valores de punto de rocío mayor a 4°C, ya que a niveles inferiores (congelamiento), el riesgo de modifica y aumenta exponencialmente. Provocando un aumento de la morbilidad respiratoria, principalmente de etiología Viral (VRS e influenza) en el grupo etario entre 5 y 14 años.

Es importante destacar, que la temperatura de unto de rocío relacionada con la humedad ambiente está disminuyendo a través del tiempo (inviernos cada vez más fríos y secos en Coyhaique), provocando una anomalía climática debido al debilitamiento de los vientos en altura producto del calentamiento global.

Si bien existe una disminución en la incidencia de urgencias respiratorias debido al recambio de calefactores, el riesgo en salud por incrementos bruscos de $PM_{2.5}$ y caídas rápidas de temperatura y humedad tendería a mantenerse e incrementarse por efecto de las anomalías climáticas observadas, ya que por su localización geográfica (45°S), la atmósfera es altamente sensible.

6.1.20 Proyecto ¿QUÉ RESPIRAS?, 2018.

Química y Tecnología MAIT Ltda, desarrolló el proyecto ¿Qué respiras? cuyo objetivo era realizar un aporte a la descontaminación ambiental en Coyhaique. A partir de un estudio realizado de medición de agentes contaminantes a nivel macrozonas y la participación de la ciudadanía, se logró identificar la distribución espacial de la contaminación de la ciudad, generando información para profundizar la problemática actual.

Se desarrolló un equipo tecnológico (micro estaciones) capaz de realizar un monitoreo medioambiental de forma continua para ambiente indoor y outdoor.

Se analizó la información recopilada mediante la instalación en 40 hogares beneficiados y 2 establecimientos educacionales, los que permitieron realizar un análisis multisectorial de la contaminación ambiental.

Este equipo tecnológico, recopiló 5 millones de registros de medición de $MP_{2.5}$ y MP_{10} (ambiente interior y exterior), CO2, temperatura y humedad en ambiente interior. Se descubrió que las concentraciones de material particulado medidos fueron extremadamente altos en el interior de los hogares, algo que debe abordarse con mayor esfuerzo.

Se recomienda generar subsidios como "mejoras de las condiciones térmicas y de hermeticidad a usuarios crónicos de salud", lo cual aumentaría la eficacia en los tratamientos de los pacientes, evitando que estos recurran nuevamente a los servicios de salud.

Además, se considera importante el que los planes de educación ambiental sean aplicados a la población general, indicando que actividades deben ser restringidas por los problemas de contaminación, como por ejemplo ventilar los hogares permitiendo el ingreso de MP al hogar, entre otros.

Finalmente, se requiere un esfuerzo por parte de las autoridades, desincentivando el uso de leña y pellet por combustibles de calefacción más eficientes y menos contaminantes.

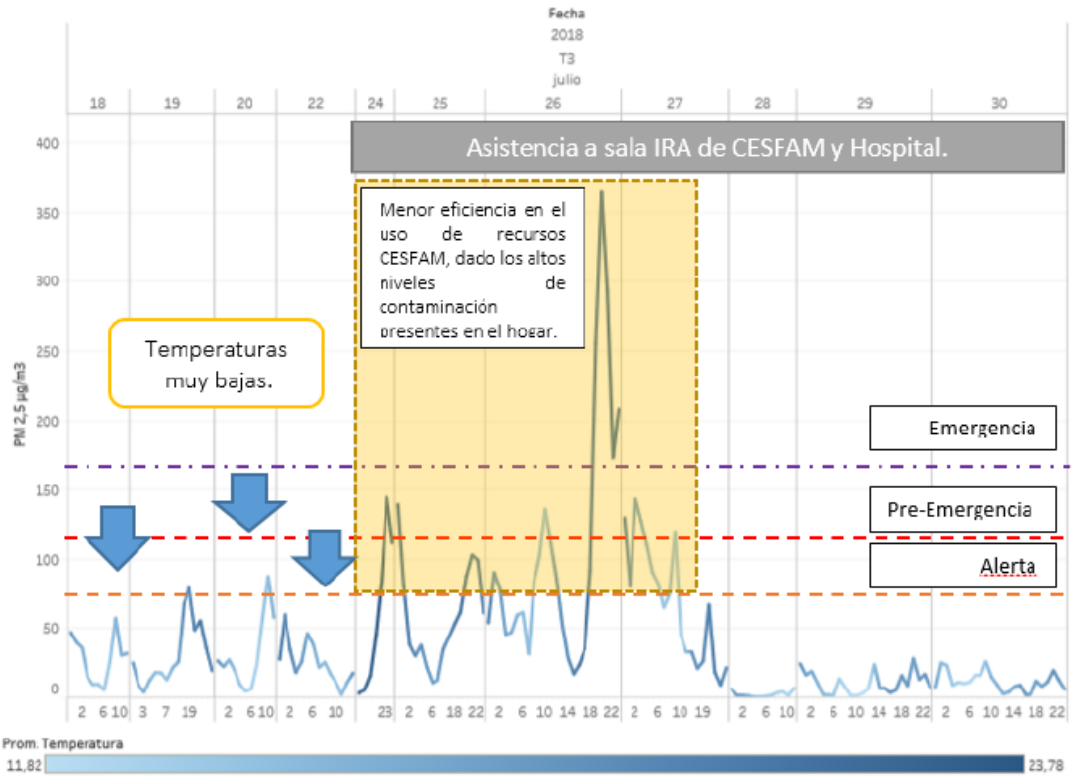


Figura 71. Análisis "Antes y durante la crisis respiratoria", periodo 18 de julio al 30 de julio de 2018.

Fuente: Proyecto ¿QUÉ RESPIRAS?, 2018.

6.1.21 The effect of short-term of fine particles on daily respiratory emergency in cities contaminated with wood smoke, 2020.

El objetivo del estudio es evaluar en serie temporal los efectos a corto plazo de la exposición a $MP_{2.5}$ en las consultas de emergencia respiratoria en seis ciudades del centro sur de Chile altamente contaminadas por humo de leña.

Los resultados correspondientes a un estudio realizado en las ciudades del centro-sur de Chile durante 2014-2017, mostraron que las concentraciones promedio diarias de $MP_{2.5}$ en el periodo frío fueron de 3 a 6 veces las registradas en periodo cálido, superando la norma diaria de 50 µg/m^3 el 93,3%.

El número medio diario de visitas a urgencias respiratorias fue de entre un 30% y un 64% superior en el periodo frío.

Se observó que los altos niveles de partículas finas de la leña están asociados con efectos respiratorios observables varios días después de la exposición. Los efectos sobre la salud encontrados en este estudio sugieren que las políticas actuales que tienden a mitigar las emisiones relacionadas con el humo de leña deben continuar y reforzarse.

6.1.22 Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique, 2018.

Se busca cuantificar el impacto de los programas de recambio de calefactores en la zona saturada de Coyhaique, con la intensión de estimar la reducción de emisiones y generar información detallada. Es importante mencionar que los resultados dependen de la información base de los recambios, reunida durante los tiempos del estudio. (Esta información no ha sido validada en terreno*).

Considerando los resultados de la encuesta realizada y de la consideración de consumo de todos los combustibles utilizados, se obtuvo una comparación de la estimación de reducciones de emisiones por artefactos recambiados por año (kg/año). (Ver ilustración). Si bien no se pueden identificar las fuentes exactas para estas diferencias en la estimación, se puede concluir de todas maneras que el efecto total del programa de recambio logra su principal objetivo, es decir, reducir emisiones asociadas a la calefacción de viviendas.

Año	Reducción MP10	
	Preliminar	Revisado (1)
2015	68,650	38,345
2016	445,865	257,077
2017	792,008	515,899
2015 a 2017	1,010,777	811,321

Nota 1: as estimaciones revisadas son calculadas según los supuestos generados en base a los resultados de la encuesta y considerando todos los combustibles utilizados para calefaccionar la vivienda

Figura 72. Comparación de la estimación de reducción de emisiones por artefactos recambiados por año (KG/año).

Fuente: Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique, 2018.

Se puede decir que, según los modelos estadísticos y los datos observados, se puede apuntar a que habría un impacto positivo en la reducción de la concentración de MP_{10}, a partir del año 2015. En pocas palabras, el recambio tendría un impacto en la concentración atmosférica.

Debido al subsidio de entrega de leña correspondiente al PDA, se propone su revisión creando una transición de leña a otro combustible, de manera que este incentivo no se vuelva un argumento en contra del recambio de calefactores a leña por otros calefactores que disminuyan atmosféricas e intradomiciliarias.

Se observa una disminución en el uso de leña para sus calefactores en el 34,8% de viviendas. El kerosene fue el combustible más demandado después del recambio, con un aumento del 47,6% de presencia en las viviendas encuestadas.

Los beneficios considerados son las reducciones de emisiones de producto de la combustión dentro de la casa. Se observaron 42 casos de disminución de síntomas específicos, y la gripe fue el síntoma con más observaciones. El 17,9% de los infantes presentó disminución de alguno de los síntomas.

Para cada tecnología de recambio se observó un aumento significativo en la percepción del gasto por vivienda en energéticos, debido a que, si bien se consume menos leña, aumentó el consumo de combustibles bastante más costosos. Se propone finalmente, que exista una modificación futura del programa para que se apoye a familias de menores ingresos para que puedan recibir beneficios tales como la reducción de contaminación intradomiciliaria, aumento de la comodidad, entre otros.

Equipo Equivalente	Combustible	Marca	Potencia (kW)	Eficiencia	Año de recambio en el que se ofrece	Emisiones anuales MP10 [kg/año]	Emisiones anuales MP2.5 [kg/año]
Nordic 380	leña	Amesti	10.4	79.0%	2015,2016	82.8	80.5
FF55	parafina	Toyotomi	5.5	92.7%	2017, 2018	-	-
FF55T	parafina	Toyotomi	5.5	92.7%	2017, 2018	-	-
Flora 7	pellet	Ferlux	8.4	82.0%	2018	15.6	14.8
FR700F	parafina	Toyotomi	7.0	92.7%	2018	-	-
Italy 6000	pellet	Amesti	6.5	80.0%	2017	16.0	15.1
Laser 73	parafina					-	-
Pretty	pellet	Cadel	8.1	84.0%	2017-2018	15.2	14.4
PS-7500	pellet	Toyotomi	7.0	86.0%	2017	14.9	14.1
RHFE 559FT CW	gas	Rinnai	6.0	80.0%	2017	-	-

Figura 73. Emisiones anuales de material particulado equipos recambiados.

Fuente: Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona saturada de Coyhaique, 2018.

6.2 Anexo 2: Revisión y análisis de los factores de emisión provenientes de quema de leña

A continuación, se hará un análisis de los factores de emisión utilizados en varios estudios anteriores. Como se mencionó en la sección anterior, existen muchas variables que afectan los factores de emisión. Por ello, la comparación debe hacerse con factores obtenidos bajo las mismas condiciones. A su vez, estas condiciones deben ser las mismas que las utilizadas por la EPA para la determinación de los factores de emisión. Estas son: tiraje abierto y leña seca.

Una descripción de los tipos de estufas que se usan para este inventario y los argumentos para la selección de los factores de emisión se muestra a continuación:

Salamandra

La Salamandra es un artefacto hecho de fierro forjado que no tiene tecnología de reducción de emisiones. Por ello, se puede asimilar a tecnologías de estufas convencionales del estudio AP-42 de la EPA. El documento AP-42 ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos con metodologías aprobadas por la EPA y representa una de las fuentes más confiables de información para las tasas de emisión. El valor de emisiones de MP_{10} sugerido por la EPA para las estufas convencionales es de 15,3 g/kg de leña.

Estufa doble entrada (combustión lenta)

Este tipo de estufa es el más utilizado y vendido en Chile. Cuenta con una placa templadora que calienta el aire de salida, permitiendo una mejor combustión. Comúnmente se le llama de Doble Cámara, o tipo Bosca, pero no tiene doble cámara sino una placa templadora. Esta tecnología es similar a la descrita en el documento AP-42 de la EPA para estufas no catalíticas. Por esto, se utilizará la sugerencia de emisiones de la EPA de 9,8 g/kg de leña.

Chimenea hogar abierto

Las chimeneas de hogar abierto corresponden a estructuras generalmente construidas junto con la casa con un ducto de descarga de emisiones al exterior. La toma de aire está abierta hacia interior de la casa de tamaños que varían entre 0,5 x 0,5 m^2 y 1,5 x 1 m^2 y no tiene sistema de control de flujo. Estas chimeneas han sido descritas en el documento AP-42 de la EPA, que ha sido elaborado utilizando una recopilación de muchos estudios realizados en Estados Unidos. El valor de emisiones sugerido por la EPA (2) para las chimeneas de hogar abierto es de 17,3 g/kg de leña.

Estufa a base de pellet

Estas estufas utilizan combustible en basa a biomasa, de tamaño e ingredientes controlados. El encendido, la carga de combustible y la operación están controlados, de tal manera que el operador no pueda cambiarlos. De este modo, es posible limitar las emisiones. Estas estufas han sido descritas en el documento AP-42(1), por tanto, se ha usado el valor sugerido por la EPA de 2,1 g/kg de combustible.

Cocina a leña

Las cocinas a leña corresponden a artefactos antiguos que aún siguen siendo utilizados para calefacción y cocina. Al ser un artefacto sin tecnología de reducción de emisiones, pero no empotrado en la pared, es similar a una Salamandra. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las Salamandras, de 15,3 g/kg de leña.

Otros

Los equipos clasificados como “otros” corresponden a estufas “hechizas” fabricadas modificando recipientes metálicos, estructuras de lavadoras o secadoras viejas, etc. A estas estructuras se les agrega un ducto para evacuar las emisiones. Las emisiones de este tipo de equipos probablemente se asemejen a las chimeneas de hogar abierto, ya que no existe ningún diseño estándar ni tienen ningún tipo de control de flujo o reducción de emisiones. Por ello, se utilizará el mismo valor de emisiones que las estufas de hogar abierto de 17,3 g/kg.

La tabla 147 muestra factores de emisión sugeridos por la EPA y los otros determinados en varios estudios anteriores.

Tabla 149. Factores de emisión de MP_{10} para artefactos a leña provenientes de la EPA, estudios e inventarios de emisiones realizados en Chile. Suponiendo leña seca tipo Eucalipto o Pino Oregón y artefacto con tiraje abierto.

	Factor de emisión (g/kg)					
Artefacto	**EPA[1]**	**Conama[2]**	**Dictuc[3]**	**Sicam[4]**	**Fondef[5]**	**Serpram[6]**
Salamandra	15,3	7,3	17,3	12,7	12,9	
Estufa simple	15,3	7,3	15,0	6,2	7,0	
Estufa con templador	9,8		15,0	5,2	6,4	1,23
Chimenea abierta	17,3	16,6	17,3	10,1		
Cocina a leña	15,3		19,2	7,5	6,8	1,8
Estufa a pellet	2,1			1,9		
Otros*	17,3					

*: Estufa hechiza

1: Documento AP-42 y utilizado en el Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana, 2014.

2: Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área Metropolitana de Santiago. 1992

3: Utilizados en la actualización del inventario de emisiones para el año base 2005 y 2009, por DICTUC y CENMA en respectivamente.

4: ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, AÑO BASE 2013. Elaborado por SICAM Ingeniería.

5: Proyecto FONDEF D08I1147 "Investigación y Generación de Factores de Emisión de Contaminantes Atmosféricos para Artefactos Residenciales que Combustionan Biomasa de Relevancia Nacional", UCT, 2014.

6: Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales. Reporte para CONAMA. SERPRAM, 2006

Como se puede ver en la Tabla 149, hay mucha variabilidad en los factores de emisión provenientes de distintos estudios e inventarios de emisiones. Asimismo, hay algunos resultados que no son consistentes. Por ejemplo, SICAM Ingeniería propone utilizar un factor de 10,1 g/kg para chimeneas abiertas y 12,7 g/kg para Salamandras. Sin embargo, las chimeneas abiertas no tienen ningún tipo de control de emisiones y deberían ser similares a otras estufas sin control de emisiones, tal como las Salamandras. El estudio FONDEF da un valor bastante bajo para las cocinas a leña, que en general no tienen control de emisiones.

Para obtener un factor de emisión que sea representativo del sur de Chile, se podría tomar el promedio de los valores de la Tabla 149, sin embargo, la tabla no tiene todos los valores obtenidos para Chile y cualquier promedio estaría sesgado.

Por esto, se propone utilizar los valores entregados en el documento AP-42 de la EPA. Estos valores están respaldados por muchos estudios realizados en todo el territorio de Estados Unidos, por lo que se estima que puede ser representativo para el sur de Chile.

6.3 Anexo 3: Fuentes Fijas

Las emisiones provenientes de fuentes fijas, es posible obtenerlas directamente de la página Web del RETC[66]. En esta página se listan las fuentes y las emisiones anuales por fuente. Luego, no es necesario hacer el cálculo utilizando ecuaciones de emisiones, sino recabar la información de la página Web.

6.3.1 Puerto Aysén

Monóxido de carbono

Tabla 150. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
129,7	195,4	130,5	99,7	201,5	756,8

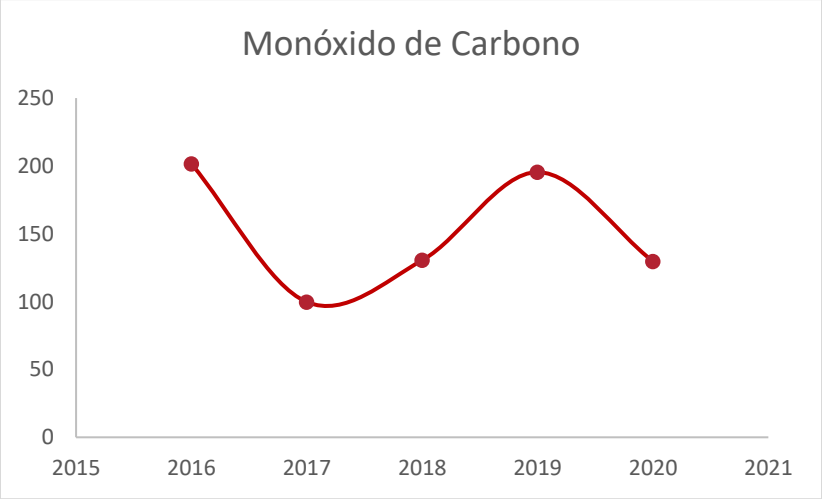


Figura 74. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Puerto Aysén.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

NOx

Tabla 151. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
651,4	899,6	562,1	419,5	898,8	3431,4

[66] RETC, Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/

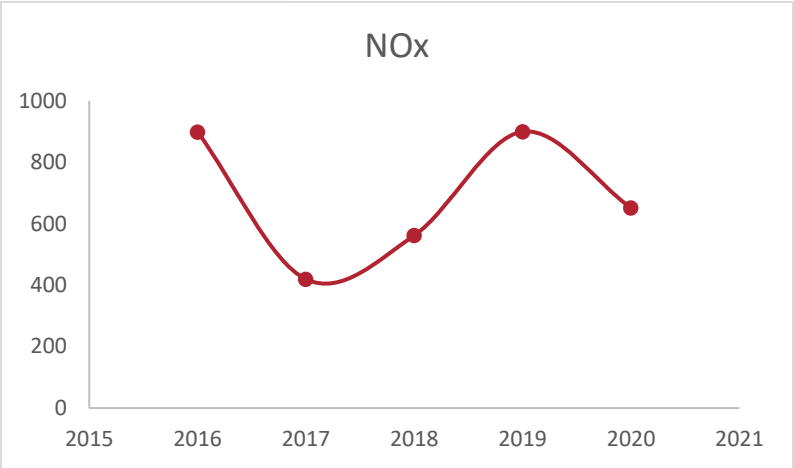


Figura 75. Emisiones de NO_x en comuna de Puerto Aysén.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

MP_{10}

Tabla 152. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
9,9	0,9	24,2	19,5	36,2	90,7

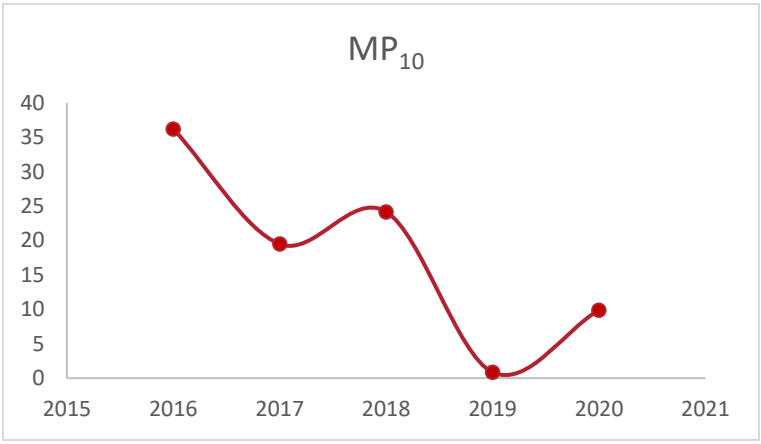


Figura 76. Emisiones de MP_{10} en comuna de Puerto Aysén.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

$MP_{2.5}$

Tabla 153. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
9,7	0,0	9,1	8,0	11,5	38,3

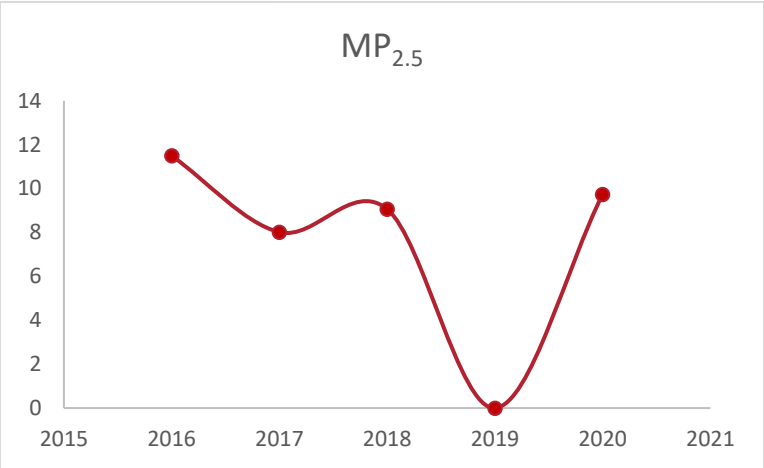


Figura 77. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Puerto Aysén.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

Dióxido de azufre

Tabla 154. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	46,6	42,0	72,0	160,6

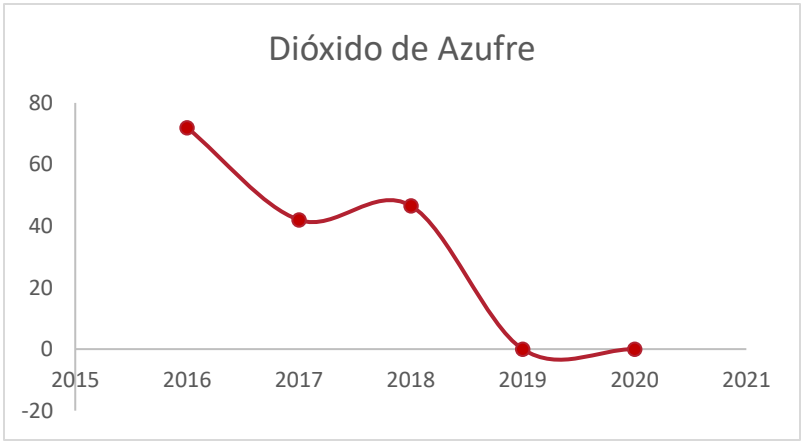


Figura 78. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Puerto Aysén.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

6.3.2 Cochrane

Monóxido de carbono

Tabla 155. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
1406,8	6,1	5,9	5,9	7,4	1432,1

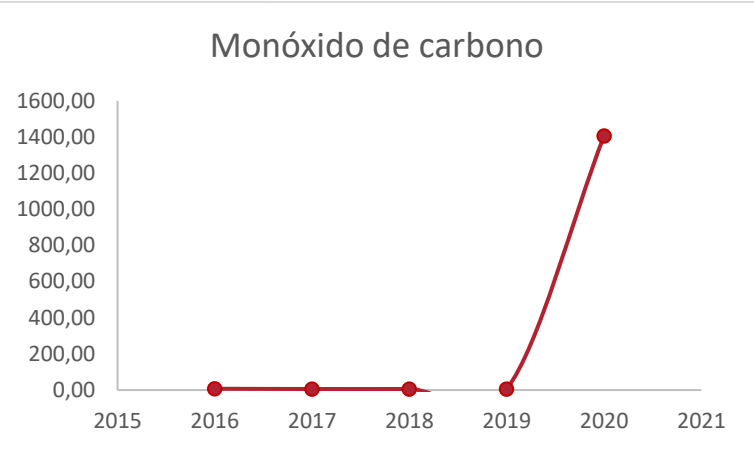


Figura 79. Emisiones de monóxido de carbono en comuna de Cochrane.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

NOx

Tabla 156. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
22,2	23,7	17,9	18,1	26,9	108,7

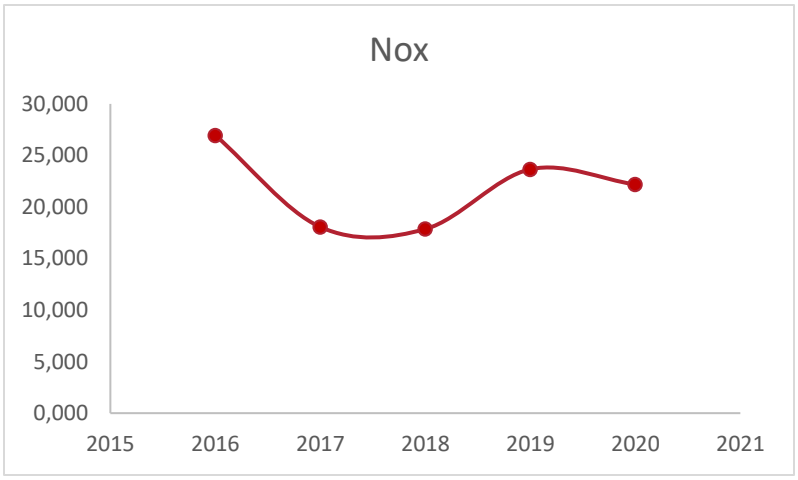


Figura 80. Emisiones de NO_x en comuna de Cochrane.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

MP_{10}

Tabla 157. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	1,5	1,5	1,6	4,6

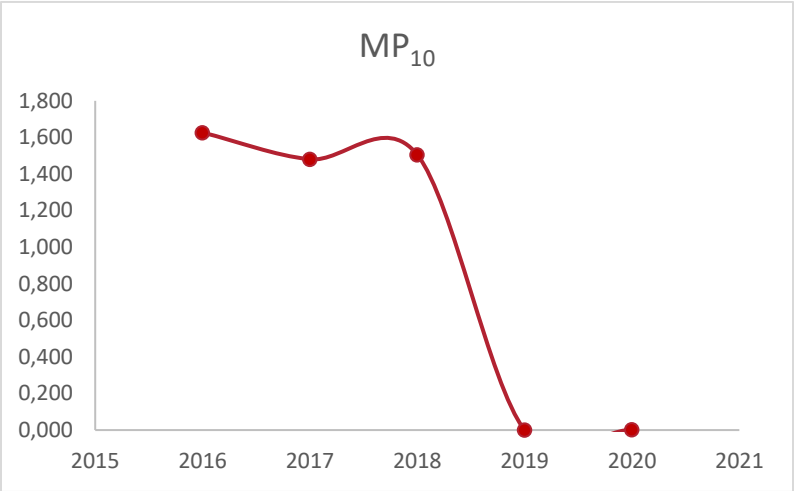


Figura 81. Emisiones de MP_{10} en comuna de Cochrane.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

$MP_{2.5}$

Tabla 158. Emisiones de $MP_{2.5\ en}$ comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,0	0,0	0,9	0,9	0,8	2,6

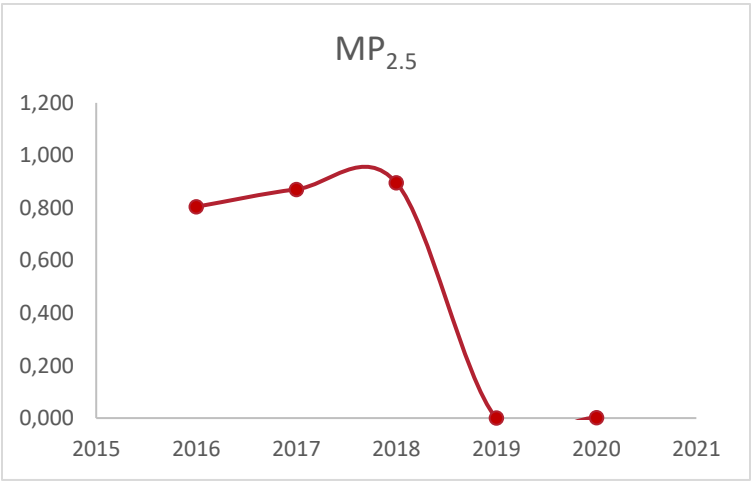


Figura 82. Emisiones de $MP_{2.5}$ en comuna de Cochrane.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

Dióxido de azufre

Tabla 159. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane.

2020	2019	2018	2017	2016	Total
0,1	0,0	1,0	1,0	1,4	3,4

Figura 83. Emisiones de dióxido de azufre en comuna de Cochrane.

Fuente: RETC, *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://retc.mma.gob.cl/*

6.4 Anexo 4: Antecedentes

A continuación, se tienen los índices poblacionales y de vivienda de la Región de Aysén y las comunas de interés para este estudio: Puerto Aysén y Cochrane.

6.4.1 Región de Aysén

Tabla 160. Antecedentes sobre Región de Aysén.

	1982	1992	2002	2017
Población	66.361	80.501	91.492	103.158
Tasa media de crecimiento intercensal (%)	2,6	1,9	1,3	0,8
Viviendas		21.779	30.012	44.721
Tasa de Crecimiento		2,9	3,2	2,7
Promedio personas por hogar		3,7	3,3	2,8

Fuente: Censo.

6.4.2 Comuna de Puerto Aysén

Tabla 161. Antecedentes comuna de Puerto Aysén.

	2002	2017
Población	22.757[67]	23.959[68]
Viviendas		8.878[69]

[67] Censo 2002
[68] Censo 2017
[69] Censo 2017

Cantidad de habitantes por vivienda		2,7[70]

6.4.3 Comuna de Cochrane

Tabla 162. Antecedentes comuna Cochrane

	2002	2017
Población	3.038[71]	3.490[72]
Viviendas		1.602[73]
Cantidad de habitantes por vivienda		2,18[74]

6.4.4 Vivienda y población por comuna

La proyección de población utilizada para la comuna de Puerto Aysén es la estimada por el INE en 2019, basado en un conjunto de supuestos sobre la evolución de la fecundidad, la mortalidad y la migración interna e internacional.

El lento crecimiento poblacional en la Región de Aysén se debe al descenso de la fecundidad y el aumento de la mortalidad, principalmente por la mayor cantidad de personas en edades avanzadas.

Tabla 163. Población proyectada comuna de Puerto Aysén

Puerto Aysén																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Población proyectada	25.002	25.085	25.138	25.180	25.218	25.250	25.277	25.297	25.310	25.315	25.314	25.307	25.295	25.277	25.249	25.215

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion
Fuente: https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1rea_s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5

Para la proyección de viviendas se utilizó la proyección de población del INE y se calculó el índice de habitante por vivienda obtenido del censo de 2017 (metodología explicada más adelante), obteniendo lo siguiente:

[70] Calculo propio.
[71] Censo 2002
[72] Censo 2017
[73] Censo 2017
[74] Calculo propio.

Tabla 164. Proyección de viviendas Puerto Aysén.

Puerto Aysén																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda	9264	9295	9315	9330	9345	9356	9366	9374	9379	9380	9380	9378	9373	9366	9356	9343

Fuente: Elaboración propia.

Para la comuna de Cochrane la proyección de población utilizada es la estimada por el INE en 2019, basado en un conjunto de supuestos sobre la evolución de la fecundidad, la mortalidad y la migración interna e internacional.

El lento crecimiento poblacional en la Región de Aysén se debe al descenso de la fecundidad y el aumento de la mortalidad, principalmente por la mayor cantidad de personas en edades avanzadas.

Tabla 165. Población proyectada comuna de Cochrane.

Cochrane																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Población proyectada	3.685	3.704	3.718	3.731	3.741	3.751	3.759	3767	3773	3778	3781	3783	3784	3784	3783	3780

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion
Fuente: https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1rea_s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5

Para la proyección de viviendas se utilizó la proyección de población del INE y se calculó el índice de habitante por vivienda obtenido del censo de 2017 (metodología explicada más adelante), obteniendo lo siguiente:

Tabla 166. Proyección de viviendas comuna de Cochrane.

Cochrane																
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Proyección de vivienda	1692	1700	1707	1713	1717	1722	1725	1729	1732	1734	1736	1736	1737	1737	1736	1735

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Anexo 5: CONAF

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL
REGIÓN AYSÉN
DIRECCIÓN REGIONAL AYSÉN
JEBE/HPB

ORD.Nº: 238/2022

ANT. : ORD. Nº 420 DE 12/10/2022

MAT. : INFORME DE AVISOS PARA QUEMAS CONTROLADAS EN PTO. AYSÉN Y COCHRANE

COYHAIQUE, 21/10/2022

DE : DIRECTORA REGIONAL DIRECCIÓN REGIONAL AYSÉN OR.XI

A : SEÑORA JIMENA SILVA HUERTA SEREMI (S) DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DE AYSÉN SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE MEDIO MABIENTE REGIÓN AYSÉN

Junto con saludar y en atención a su solicitud de información respecto a avisos para quemas controladas en las Ciudades de Pto. Aysén y Cochrane, adjunto envío a Ud. informe de los antecedentes registrados en nuestro archivo Institucional.

Saluda atentamente a usted

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL DIRECTORA REGIÓN DE AYSÉN

CLAUDIA ALEJANDRA REYES SANTELICES
DIRECTORA REGIONAL
DIRECCIÓN REGIONAL AYSÉN

Incl.: Documento Digital: Informe

Figura 84. Informe de avisos para quemas controladas en Puerto Aysén y Cochrane.

6.6 Anexo 6: Parque Vehicular

Para Puerto Aysén el parque de vehículos entre los años 2016 a 2021 es:

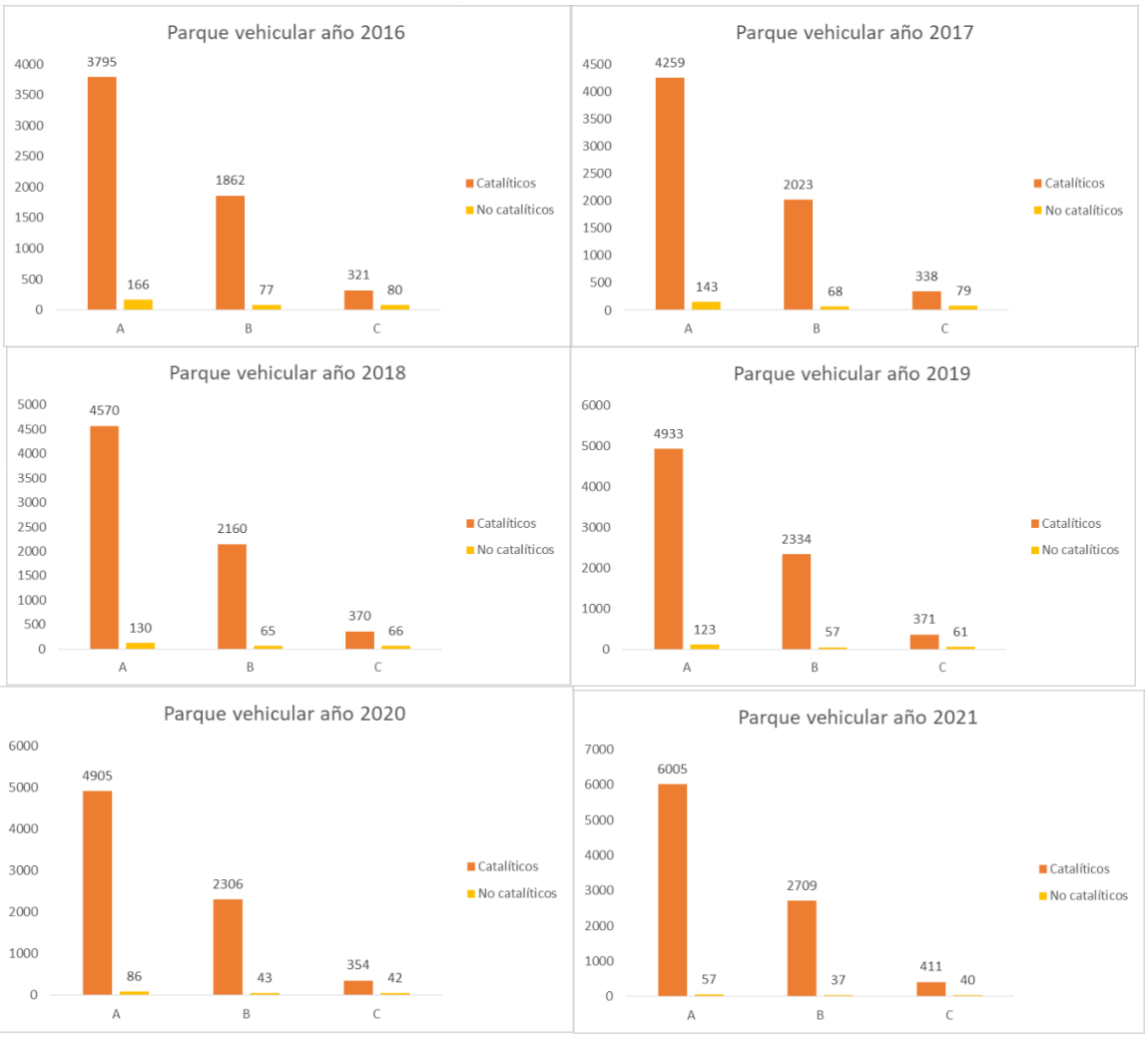
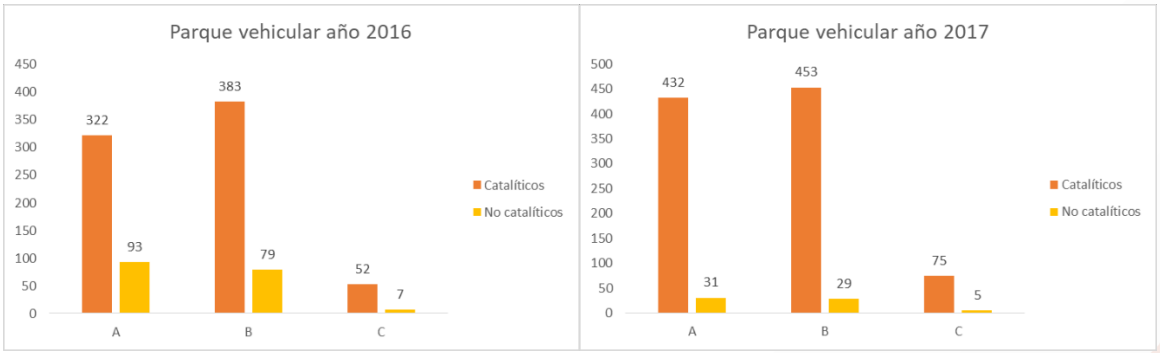


Figura 85.Parque vehicular de 2016 a 2021 comuna de Puerto Aysén.

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion

Parque de vehículos de Cochrane entre los años 2016 a 2021 es:



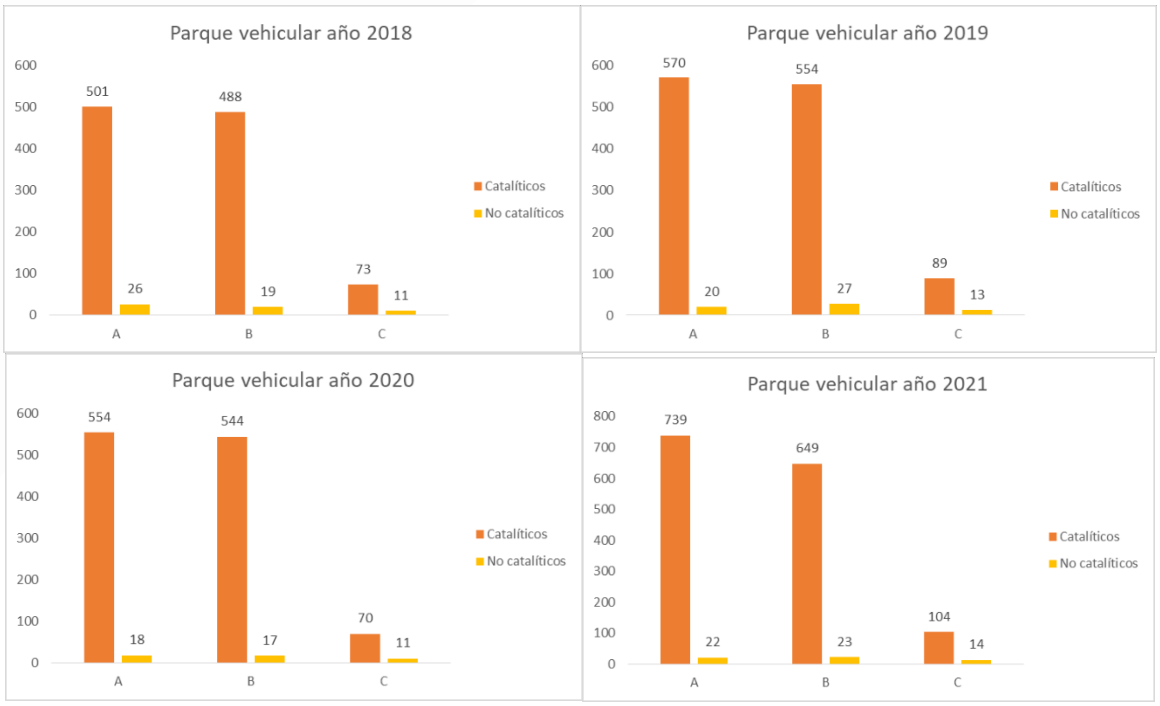


Figura 86. Parque vehicular de 2016 a 2021 en comuna de Cochrane.

Fuente: https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion

Para Puerto Aysén el parque de vehículos disponibles es:

Tabla 167, Tabla de parque vehicular comuna de Puerto Aysén,

Año	Tipo de Vehículo	Cantidad	Porcentaje	Catalíticos	Porcentaje con respecto a total vehículos	Porcentaje con respecto a tipo de vehículo	No catalíticos	Porcentaje con respecto a total vehículos	Porcentaje con respecto a tipo de vehículo
2016	A	3961	63%	3795	60%	63%	166	3%	51%
2016	B	1939	31%	1862	30%	31%	77	1%	24%
2016	C	401	6%	321	5%	5%	80	1%	25%
2016	**Total**	**6301**	**100%**	**5978**	**95%**	**100%**	**323**	**5%**	**100%**
2017	A	4402	64%	4259	62%	64%	143	2%	49%
2017	B	2091	30%	2023	29%	31%	68	1%	23%
2017	C	417	6%	338	5%	5%	79	1%	27%
2017	**Total**	**6910**	**100%**	**6620**	**96%**	**100%**	**290**	**4%**	**100%**
2018	A	4700	64%	4570	62%	64%	130	2%	50%
2018	B	2225	30%	2160	29%	30%	65	1%	25%
2018	C	436	6%	370	5%	5%	66	1%	25%
2018	**Total**	**7361**	**100%**	**7100**	**96%**	**100%**	**261**	**4%**	**100%**
2019	A	5056	64%	4933	63%	65%	123	2%	51%

2019	B	2391	30%	2334	30%	31%	57	1%	24%
2019	C	432	5%	371	5%	5%	61	1%	25%
2019	**Total**	**7879**	**100%**	**7638**	**97%**	**100%**	**241**	**3%**	**100%**
2020	A	4991	65%	4905	63%	65%	86	1%	50%
2020	B	2349	30%	2306	30%	30%	43	1%	25%
2020	C	396	5%	354	5%	5%	42	1%	25%
2020	**Total**	**7736**	**100%**	**7565**	**98%**	**100%**	**171**	**2%**	**100%**
2021	A	6062	65%	6005	65%	66%	57	1%	43%
2021	B	2746	30%	2709	29%	30%	37	0%	28%
2021	C	451	5%	411	4%	5%	40	0%	30%
2021	**Total**	**9259**	**100%**	**9125**	**99%**	**100%**	**134**	**1%**	**100%**

Fuente: https://www,ine,gob,cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion

Parque de vehículos de Cochrane:

Tabla 168, Tabla de parque vehicular de la comuna de Cochrane,

Año	Tipo de Vehículo	Cantidad	Porcentaje	Catalíticos	Porcentaje con respecto a total vehículos	Porcentaje con respecto a tipo de vehículo	No catalíticos	Porcentaje con respecto a total vehículos	Porcentaje con respecto a tipo de vehículo
2016	A	415	44%	322	34%	43%	93	10%	52%
2016	B	462	49%	383	41%	51%	79	8%	44%
2016	C	59	6%	52	6%	7%	7	1%	4%
2016	**Total**	**936**	**100%**	**757**	**81%**	**100%**	**179**	**19%**	**100%**
2017	A	463	45%	432	42%	45%	31	3%	48%
2017	B	482	47%	453	44%	47%	29	3%	45%
2017	C	80	8%	75	7%	8%	5	0%	8%
2017	**Total**	**1025**	**100%**	**960**	**94%**	**100%**	**65**	**6%**	**100%**
2018	A	527	47%	501	45%	47%	26	2%	46%
2018	B	507	45%	488	44%	46%	19	2%	34%
2018	C	84	8%	73	7%	7%	11	1%	20%
2018	**Total**	**1118**	**100%**	**1062**	**95%**	**100%**	**56**	**5%**	**100%**
2019	A	590	46%	570	45%	47%	20	2%	33%
2019	B	581	46%	554	44%	46%	27	2%	45%
2019	C	102	8%	89	7%	7%	13	1%	22%
2019	**Total**	**1273**	**100%**	**1213**	**95%**	**100%**	**60**	**5%**	**100%**
2020	A	572	47%	554	46%	47%	18	1%	39%
2020	B	561	46%	544	45%	47%	17	1%	37%
2020	C	81	7%	70	6%	6%	11	1%	24%

2020	**Total**	**1214**	**100%**	**1168**	**96%**	**100%**	**46**	**4%**	**100%**
2021	A	761	49%	739	48%	50%	22	1%	37%
2021	B	672	43%	649	42%	43%	23	1%	39%
2021	C	118	8%	104	7%	7%	14	1%	24%
2021	**Total**	**1551**	**100%**	**1492**	**96%**	**100%**	**59**	**4%**	**100%**

Fuente: https://www,ine,gob,cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion

6.7 Anexo 7: Supuestos de calefactores.

Tabla 169. Supuesto de ingreso y salida de calefactores por tipología de vivienda para la proyección de calefactores en la comuna de Puerto Aysén.

Calefacción	Tipología	Ingresa	Sale	Línea Base	Supuesto
C1	T1			0%	
	T2			0%	
	T3	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T5	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T6	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C2	T1	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	3%	10%	-7%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 3% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	5%		5%	Se considera que un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T5	8%	5%	3%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T6	8%	5%	3%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.

C3	T1	6%	2%	10%	Se considera que el 2% cumple su vida útil anualmente y un 6% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	5%		10%	Se considera que un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	13%		13%	Se considera que un 13% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	2%		10%	Se considera que un 2% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T5	6%		8%	Se considera que un 6% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T6	15%		15%	Se considera que un 15% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C4	T1			0%	
	T2			0%	
	T3			0%	
	T4			0%	
	T5			0%	
	T6	5%	20%	-15%	Se considera que el 20% cumple su vida útil anualmente y un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C5	T1	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	5%		5%	Se considera que un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T5	5%		5%	Se considera que un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T6	2%		2%	Se considera que un 2% ingresa nuevamente al parque de calefactores.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 170. Supuesto de ingreso y salida de calefactores por tipología de vivienda para la proyección de calefactores en la comuna de Cochrane.

Calefacción	Tipología	Ingresa	Sale	Línea Base	Supuesto
C1	T1		5%	-5%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente.
	T2		5%	-5%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente.

	T3	5%	5%	0%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente y un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	5%	5%	0%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente y un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C2	T1	8%	10%	-2%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	8%	10%	-2%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	8%	10%	-2%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	8%	10%	-2%	Se considera que el 10% cumple su vida útil anualmente y un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C3	T1	10%		10%	Se considera que un 10% de ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	10%	5%	5%	Se considera que el 5% cumple su vida útil anualmente y un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	5%		5%	Se considera que un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C4	T1	5%	15%	-10%	Se considera que el 15% cumple su vida útil anualmente y un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2			0%	
	T3			0%	
	T4	5%	15%	-10%	Se considera que el 15% cumple su vida útil anualmente y un 5% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
C5	T1	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T2	10%		10%	Se considera que un 10% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T3	8%		8%	Se considera que un 8% ingresa nuevamente al parque de calefactores.
	T4	0%		0%	

Fuente: Elaboración propia.

6.8 Anexo 8: Tipologías de viviendas

Definición de les tipologías utilizadas en el estudio.

Para analizar el mejoramiento térmico de viviendas se definen 8 tipologías. En todos los casos se considera una vivienda media de 67 m^2 que corresponde al promedio de superficie de viviendas obtenido de una serie de encuestas aplicadas en la zona en el año 2018 [75] . En el análisis previo de este mismo informe se obtiene por otra vía (datos de SII) una superficie de vivienda menor. Se ha decidido usar este valor ya que se considera más realista, debido a que las ampliaciones en las viviendas no siempre son regularizadas ni se ven reflejadas en los datos del SII.

Definida la superficie se genera la superficie de ventanas basado en la misma referencia anterior. El resto de las características número de pisos, agrupamiento, materialidad y ponderación se obtiene a partir de los datos generados en la primera parte del presente proyecto.

Se definen las siguientes tipologías para ser consideradas en el presente estudio.

Tabla 171. Definiciones de las tipologías utilizadas en el estudio.

Tipologías	N Pisos	Agrup,	Tipo Piso	Mat	Ponderación en P, Aisén	Ponderación en Cochrane
T1	1	Pareada	Radier	Madera	12%	0%
T2	2	Pareada	Radier	Madera	19%	0%
T3	1	Pareada	Ventilado	Madera	19%	0%
T4	1	Aislada	Radier	Madera	12%	59%
T5	2	Aislada	Radier	Madera	19%	29%
T6	1	Aislada	Ventilado	Madera	19%	0%
T7	1	Aislada	Radier	Ladrillo	0%	6%
T8	2	Aislada	Radier	Ladrillo	0%	6%

[75] informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf (energia.gob.cl)

6.9 Anexo 9: Demanda por tipología de vivienda

Resultados de demandas para 4 tipologías en diferentes ciudades

Valores en kWh/viv

	Demanda sin aislacion	Demanda de vivendas antiguas	Demanda actuales sin PDA	Demanda OGUC	Demanda PDA	% de ahorro PDA OGUC	Estimacion de la letra de Calif
Temuco							
T1	13,856	11,610	8,991	6,372	2,714	57%	B
T5	10,372	8,914	7,214	5,514	2,231	60%	B
T6	27,403	22,066	15,840	9,615	3,270	66%	B
T7	16,328	13,214	9,582	5,950	2,620	56%	B
Promedio aritmetico	16,990	13,951	10,407	6,862	2,708	61%	B
Valdivia							
T1	15,685	13,144	10,180	7,216	3,246	55%	B
T5	11,725	10,092	8,186	6,280	2,547	59%	B
T6	29,333	22,637	14,825	7,013	3,302	53%	C
T7	18,552	15,552	12,052	8,552	3,961	54%	C
Promedio aritmetico	18,824	15,356	11,311	7,265	3,264	55%	C
Osorno							
T1	15,658	13,123	10,166	7,209	3,384	53%	C
T5	11,705	10,075	8,173	6,271	2,539	60%	B
T6	29,313	23,403	16,509	9,615	4,509	53%	C
T7	18,512	15,521	12,032	8,543	3,953	54%	C
Promedio aritmetico	18,797	15,531	11,720	7,909	3,596	55%	C
Coyhaique							
T1	30,083	24,632	18,272	11,913	6,720	44%	C
T5	23,852	19,442	14,297	9,152	5,521	40%	D
T6	47,101	35,694	22,386	9,079	6,332	30%	D
T7	35,175	28,709	21,165	13,621	8,275	39%	D
Promedio aritmetico	34,053	27,119	19,030	10,941	6,712	39%	D

Figura 87. Resultados de demandas para 4 tipologías en las ciudades de Temuco, Valdivia, Osorno y Coyhaique.