

0141



“ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES
ATMOSFÉRICAS DE LA COMUNA DE VALDIVIA,
AÑO BASE 2021”

INFORME FINAL

Informe elaborado para:
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DE LOS RÍOS
GOBIERNO DE CHILE
Temuco, diciembre 2022

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	ALCANCES DEL INVENTARIO DE EMISIONES	12
1.1	OBJETIVO GENERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3	ÁREA DE ESTUDIO	13
1.4	UNIDAD TERRITORIAL	16
1.5	AÑO BASE Y RESOLUCIÓN TEMPORAL	16
1.6	CONTAMINANTES	16
1.7	TIPOS Y CATEGORÍAS DE FUENTES	16
1.8	INVENTARIOS DE EMISIÓN ANTERIORES	17
2	FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS	20
2.1	NORMATIVAS APLICABLES	21
2.2	REVISIÓN METODOLÓGICA	23
2.2.1	METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO	24
2.3	FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA AÑO BASE 2021	26
2.4	ACTUALIZACIÓN DE NIVELES DE ACTIVIDAD	31
2.4.1	CATASTRO DE FUENTES PUNTUALES	32
2.4.2	CALDERAS INDUSTRIALES	36
2.4.3	CALDERAS DE CALEFACCIÓN	37
2.4.4	CATASTRO DE EQUIPOS ELECTROGENOS	41
2.4.5	CONSUMO DE COMBUSTIBLES	42
2.5	ESTIMACIÓN DE EMISIONES	43
2.5.1	RANKING DE PRINCIPALES EMISORES	46
2.5.2	CUMPLIMIENTO PDA VALDIVIA	48
2.6	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FUENTES PUNTUALES	50
3	FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA	56
3.1	ANTECEDENTES GENERALES COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA	56
3.1.1	ALCANCES METODOLÓGICOS	58
3.1.2	FACTORES DE EMISIÓN	59
3.2	ACTUALIZACIÓN DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD	65
3.2.1	DISEÑO MUESTRAL PARA LA APLICACIÓN DE LA ENCUESTA	65

3.2.2	APLICACIÓN DE LA ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL AL USO DE LEÑA Y SUS ARTEFACTOS DE COMBUSTIÓN	68
3.2.3	RESULTADOS PRINCIPALES DE LA ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL AL USO DE LEÑA Y SUS ARTEFACTOS DE COMBUSTIÓN	72
3.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES	76
3.3.1	CONSIDERACIONES Y AJUSTES PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES	76
3.3.2	NIVELES DE ACTIVIDAD	77
3.3.3	CÁLCULO DE EMISIONES	82
3.4	ANÁLISIS DE MEDIDA DE PROHIBICIÓN DE CALEFACTORES SEGÚN PDA	84
4	FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS	86
4.1	ANTECEDENTES GENERALES FUENTES DE ÁREA COMERCIAL, QUEMAS Y OTRAS	86
4.2	FUENTES RESIDENCIALES	87
4.2.1	FUENTES DE COMBUSTIÓN EXTERNA	87
4.2.1.1	Gas Licuado (GLP), Gas Natural y Kerosené	88
4.2.2	FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	89
4.2.2.1	Solventes de Uso Doméstico	89
4.2.2.2	Pintura Arquitectónica	91
4.2.2.3	Emisiones Residenciales de Amoníaco (NH ₃)	92
4.2.2.4	Fugas Residenciales de GLP	95
4.3	FUENTES COMERCIALES	96
4.3.1	FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	96
4.3.1.1	Distribución de Combustible	96
4.3.1.2	Lavasecos	98
4.3.1.3	Pintura Industrial (Vehículos)	100
4.3.1.4	Aplicación de Asfalto	101
4.3.1.5	Fugas Comerciales de GLP	102
4.3.2	RESTAURANTES Y COMIDA RÁPIDA	104
4.3.2.1	Parrillas y Asadorías	104
4.4	QUEMAS	105
4.4.1	QUEMAS AGRÍCOLAS	106
4.4.2	INCENDIOS FORESTALES	111
4.4.3	INCENDIOS URBANOS Y VEHÍCULOS	116

4.4.4	CONSUMO DE CIGARRILLOS	118
4.5	OTRAS FUENTES DE ÁREA.....	119
4.5.1	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS.....	119
4.5.1.1	Vertederos	119
4.5.1.2	Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	121
4.5.2	ACTIVIDADES AGROPECUARIAS.....	123
4.5.2.1	Aplicación de Fertilizantes	123
4.5.2.2	Labranza Agrícola	125
4.5.2.3	Crianza Animal	127
4.5.3	FUENTES BIOGÉNICAS	130
4.6	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES FUENTES DE ÁREA AÑO BASE 2020.....	131
5	FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA.....	134
5.1	FUENTES MÓVILES EN RUTA.....	134
5.1.1	DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE EMISIONES.....	135
5.1.2	CLASIFICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS VEHICULARES	136
5.1.3	CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR	137
5.1.4	ESTIMACIÓN DE EMISIONES FUENTES MÓVILES EN RUTA	138
5.2	FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA.....	138
5.2.1	MAQUINARIA AGRÍCOLA	139
5.2.2	MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN	142
5.3	RESUMEN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES AÑO BASE 2020	145
6	FUENTES FUGITIVAS	147
6.1	PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS	148
6.1.1	NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE	148
6.1.2	FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO	149
6.1.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES PLANTAS DE ÁRIDOS	150
6.2	CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS	150
6.2.1	NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE	150
6.2.2	FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO	151
6.2.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS	151
6.3	CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS	152
6.3.1	NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE	152

6.3.2	FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO	152
6.3.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS	153
6.4	CAMINOS PAVIMENTADOS Y NO PAVIMENTADOS	153
6.5	RESUMEN FRACCIÓN GRUESA DEL MATERIAL PARTICULADO	153
7	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2021	155
7.1	INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS AÑO BASE 2020 A NIVEL COMUNAL	155
8	PROYECCIÓN DEL INVENTARIO	157
9	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS MEDIDAS	164
9.1	ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS"	165
9.1.1	ALCANCE METODOLÓGICO	165
9.1.2	ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN.....	166
9.2	ALCANCES DE LA MEDIDA "RECAMBIO DE CALEFACTORES A LEÑA"	166
9.2.1	ALCANCE METODOLÓGICO	166
9.2.2	ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN.....	168
9.2.3	ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA LEÑA"	171
9.2.4	ALCANCES DE LA MEDIDA "OPERACIÓN DE LOS ARTEFACTOS A LEÑA"	172
9.3	DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS	173
10	BIBLIOGRAFÍA	176
11	ANEXOS DIGITALES	178



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información censal proyectada al año 2021 con base CENSO 2017	13
Tabla 2. Catastro de fuentes puntuales según año base del inventario (N° de fuentes)	21
Tabla 3. Niveles de emisión de MP aplicables a fuentes puntuales	22
Tabla 4. Límites de Emisión de SO ₂ para calderas nuevas	23
Tabla 5. Priorización de Opciones de Estimación de Emisiones	24
Tabla 6. Factores de emisión de material particulado para calderas de agua caliente	27
Tabla 7. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para calderas de agua caliente	28
Tabla 8. Factores de emisión de material particulado para equipos electrógenos	28
Tabla 9. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para equipos electrógenos	28
Tabla 10. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para hornos de panadería	29
Tabla 11. Factores de emisión para hornos de panadería según tipo de combustible	29
Tabla 12. Factores de emisión de material particulado para calderas de generación de energía	29
Tabla 13. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para calderas de generación de energía	30
Tabla 14. Factores de emisión para turbinas según tipo de combustible	30
Tabla 15. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados	30
Tabla 16. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras	31
Tabla 17. Catastro de fuentes puntuales año base 2021	32
Tabla 18. Catastro de fuentes puntuales año base 2021	32
Tabla 19. Número de calderas de Industriales por empresa	37
Tabla 20. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente	38
Tabla 21. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente	38
Tabla 22. Consumo de combustible según tipo (ton/año)	41
Tabla 23. Consumo de combustible según tipo (ton/año)	41
Tabla 24. Número de Equipos Electrógenos por Categoría y consumo de combustible	42
Tabla 25. Resumen del consumo de combustible según fuente puntual (ton/año)	42
Tabla 26. Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Valdivia	44
Tabla 27. Ranking de principales emisores – Fuente: Calderas Industriales	47
Tabla 28. Ranking de principales emisores – Fuente: Calderas de Calefacción	47
Tabla 29. Límites de emisión de MP establecidos en PDA Valdivia	48
Tabla 30. Límites de emisión de SO ₂ establecidos en PDA Valdivia	48
Tabla 31. Calderas nuevas sujetas a regulación del PDA Valdivia	49
Tabla 32. Calderas existentes sujetas a regulación del PDA Valdivia	49
Tabla 33. F.E. de MP ₁₀ para combustión residencial de leña (g MP ₁₀ /kg neto de leña)	60
Tabla 34. F.E. de MP _{2,5} para combustión residencial de leña (g MP _{2,5} /kg neto de leña)	61
Tabla 35. F.E. de CO para combustión residencial de leña (g CO/kg neto de leña)	62
Tabla 36. F.E. de NO _x para combustión residencial de leña (g NO _x /kg neto de leña)	62
Tabla 37. F.E. de SO ₂ para combustión residencial de leña (g SO ₂ /kg neto de leña)	62
Tabla 38. F.E. de COVs para combustión residencial de leña (g COVs/kg neto de leña)	63
Tabla 39. F.E. de HAPs para combustión residencial de leña (g HAPs/kg neto de leña)	63
Tabla 40. Diseño muestral según distrito censal comuna de Valdivia	67
Tabla 41. N° de encuestas válidas respecto a aquellas aplicadas según diseño muestral	72
Tabla 42. Penetración de uso de leña y pellet (%) según distrito censal	73
Tabla 43. Consumo promedio de leña y pellet según distrito censal	73
Tabla 44. Distribución (%) del stock de artefactos a leña en la comuna de Valdivia	74
Tabla 45. Manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión	75

Tabla 46. Resultados de la campaña de medición de leña según NCh. 2907/2005	76
Tabla 47. Cantidad de viviendas tipo casa según distrito censal de la comuna de Valdivia año 2021	77
Tabla 48. Consumo de leña según Distrito Censal en la comuna de Valdivia, año base 2021	77
Tabla 49. Stock de artefactos en uso en distritos censales de la comuna de Valdivia	80
Tabla 50. Densidad de leña (kg/m ³ st) para leña nativa y exótica, bajo 3 condiciones de humedad. ...	82
Tabla 51. Distribución del contenido de humedad de la leña en la comuna de Valdivia, año 2021 ...	82
Tabla 52. Estimación de Emisiones (Ton/año) según distrito censal comuna de Valdivia	82
Tabla 53. Stock de artefactos en uso en que cuentan con prohibición de funcionamiento según PDA	84
Tabla 54. Clasificación de las fuentes de estacionarias de área	86
Tabla 55. Factores de emisión para GLP y Kerosene	88
Tabla 56. Nivel de actividad para GLP y Kerosene	89
Tabla 57. Estimación de emisiones para GLP y Kerosene	89
Tabla 58. Factores de Emisión para uso de solventes	90
Tabla 59. Nivel de actividad para uso de solventes	90
Tabla 60. Estimación de emisiones provenientes del uso de solventes	91
Tabla 61. Factores de emisión Pintura Arquitectónica	92
Tabla 62. Nivel de actividad Pintura Arquitectónica	92
Tabla 63. Estimación de Emisiones de Pintura Arquitectónica	92
Tabla 64. Factores de emisión para fuentes residenciales de NH ₃	93
Tabla 65. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH ₃ – actividades humanas	94
Tabla 66. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH ₃ – animales domésticos	94
Tabla 67. Estimación de Emisiones para fuentes residenciales de NH ₃	94
Tabla 68. Factores de emisión Fugas de GLP	95
Tabla 69. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP - Residencial	96
Tabla 70. Estimación de emisiones provenientes de fugas de GLP - Residencial	96
Tabla 71. Factor de emisión para COV por transporte de combustible	97
Tabla 72. Factores de emisión de COV para el expendio final	97
Tabla 73. Factores de emisión de COV para distribución de combustible	97
Tabla 74. Nivel de actividad para estimación de fugas por distribución de combustible	98
Tabla 75. Estimación de emisiones por distribución de combustible	98
Tabla 76. Factor de Emisión por pérdidas por solvente para lavasecos	99
Tabla 77. Nivel de actividad para estimación emisiones provenientes de Lavasecos	99
Tabla 78. Estimación de emisiones provenientes de Lavasecos	99
Tabla 79. Factor de Emisión para Pintado Industrial de Vehículos	100
Tabla 80. Nivel de actividad para Pintado Industrial de Vehículos	101
Tabla 81. Estimación de Emisiones para Pintado Industrial de Vehículos	101
Tabla 82. Factor de emisión por aplicación de asfalto	102
Tabla 83. Nivel de actividad para aplicación de asfalto	102
Tabla 84. Estimación de Emisiones para aplicación de asfalto	102
Tabla 85. Factor de Emisión por Fugas Comerciales de GLP	103
Tabla 86. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP -Comercial	103
Tabla 87. Estimación de emisiones de fugas de GLP -Comercial	103
Tabla 88. Factores de emisión para restoranes (parrillas) (Ton/ton)	104
Tabla 89. Nivel de actividad para panillas y asadurías	105
Tabla 90. Estimación de emisiones de Parrillas y Asadurías	105
Tabla 91. Factores de emisión para quemas agrícolas por tipo de cultivo (Ton/Ton)	107
Tabla 92. Superficie afectada por quemas agrícolas años 2017-2021, comuna de Valdivia	108

Tabla 93. Nivel de actividad quemas agrícolas años 2017-2021, comuna de Valdivia	108
Tabla 94. Estimación de emisiones de Quemias Agrícolas Valdivia	111
Tabla 95. Factores de emisión para incendios forestales por tipo de cultivo (Ton/Ton).....	112
Tabla 96. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2017-2021 Valdivia.....	113
Tabla 97. Nivel de actividad por incendios forestales, Valdivia	113
Tabla 98. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Valdivia.....	116
Tabla 99. Factores de emisión para incendios de Viviendas.....	117
Tabla 100. Factores de emisión para incendios de vehículos.....	117
Tabla 101. Nivel de actividad incendios urbanos	117
Tabla 102. Estimación de Emisiones incendios urbanos según comuna	117
Tabla 103. Factores de emisión para consumo de cigarrillos.....	118
Tabla 104. Nivel de Actividad para emisiones provenientes del consumo de cigarrillos.....	119
Tabla 105. Estimación de Emisiones por consumo de Cigarrillos según comuna año 2021	119
Tabla 106. Tabla de valores para k.	120
Tabla 107. Factores de Emisión para operaciones en Vertedero	120
Tabla 108. Estimación de emisiones LANDGEM EPA.....	121
Tabla 109. Estimación de emisiones de otros contaminantes de vertedero	121
Tabla 110. Factores de Emisión para tratamiento de aguas servidas.....	122
Tabla 111. Nivel de actividad para tratamiento de aguas servidas	122
Tabla 112. Estimación emisiones de tratamiento de aguas servidas.....	123
Tabla 113. Factores de emisión para aplicación de fertilizantes	123
Tabla 114. Dosis de fertilizante por tipo y rendimiento de cultivo por Comuna.....	124
Tabla 115. Estimación emisiones de aplicación de fertilizantes	125
Tabla 116. Factores emisión asociados a labranza agrícola	126
Tabla 117. Nivel de actividad asociados a labranza agrícola año 2021.....	126
Tabla 118. Estimación de emisiones de actividades de labranza agrícola año 2021	127
Tabla 119. Método de obtención del Factor de Emisión Crianza Animal.....	128
Tabla 120. Factores para el cálculo del Factor de Emisión para distintos tipos de animales.....	129
Tabla 121. Factores de emisión por categoría animal.....	129
Tabla 122. Niveles de actividad crianza animal.....	129
Tabla 123. Estimación de emisiones de Crianza Animal	130
Tabla 124. Estimación de Emisiones para fuentes biogénicas (Ton/año)	130
Tabla 125. Resumen emisiones fuentes de área año base 2021 Valdivia.....	131
Tabla 126. Clasificación de las fuentes móviles en ruta	136
Tabla 127. Caracterización parque vehicular para Valdivia, año 2021	137
Tabla 128. Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles, comuna de Valdivia, año 2021.	138
Tabla 129. Cálculo de los factores de emisión ajustados.....	141
Tabla 130. Horas de Uso de maquinaria por Hectárea según Actividad y tipo de cultivo	141
Tabla 131. Superficie (Ha) por tipo de cultivo por comuna Valdivia	141
Tabla 132. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2020 comuna de Valdivia.....	142
Tabla 133. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola Valdivia.....	142
Tabla 134. Factores de emisión maquinaria de Construcción.....	143
Tabla 135. Valores utilizados para Factor de Carga y Potencia, según tipo de maquinaria.....	143
Tabla 136. Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo.....	143
Tabla 137. Superficie de nuevas construcciones (m ²) año 2020 por N° de pisos.....	144
Tabla 138. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Valdivia.....	144
Tabla 139. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Valdivia	145

Tabla 140. Resumen de emisiones fuentes móviles Valdivia año base 2021	145
Tabla 141. Fuentes de referencia para estimar las fuentes fugitivas de área.....	147
Tabla 142. Catastro de producción de áridos en la comuna de Valdivia.....	148
Tabla 143. Variables para la estimación de emisiones de áridos.....	149
Tabla 144. Emisiones provenientes de fuentes de áridos.....	150
Tabla 145. Proyectos aprobados para construcción de caminos en comuna de Valdivia, año 2020-2021.....	150
Tabla 146. Variables de cálculo.....	151
Tabla 147. Estimación de emisiones construcción de caminos.....	151
Tabla 148. Superficie aprobada según Permisos Edificación año 2020 (m ²).....	152
Tabla 149. Variables de cálculo.....	152
Tabla 150. Estimación de emisiones provenientes de construcción.....	153
Tabla 151. Polvo Resuspendido en la comuna de Valdivia según RETC 2021.....	153
Tabla 152. Resumen Estimación de Emisiones de Fuentes Fugitivas Valdivia 2021.....	153
Tabla 153. Resumen del inventario de emisiones año base 2020 comuna de Valdivia.....	155
Tabla 154. Principales consideraciones para la proyección del inventario de emisiones – Combustión Residencial de Leña.....	158
Tabla 155. Proyección emisiones combustión residencial de leña – Escenario actual PDA – Año 2027.....	159
Tabla 156. Proyección emisiones combustión residencial de leña – Escenario positivo PDA – Año 2027.....	159
Tabla 157. Proyección emisiones inventario Escenario actual PDA – Año 2027.....	161
Tabla 158. Proyección emisiones inventario Escenario positivo PDA – Año 2027.....	162
Tabla 159. Descripción de las regulaciones más relevantes para la evaluación de medidas.....	164
Tabla 160. N° de viviendas intervenidas en Valdivia, mediante subsidio de mejoramiento térmico.....	166
Tabla 161. Tipología de artefactos recambiados en Valdivia, mediante PRC (2017-2021).....	168
Tabla 162. Distribución del contenido de humedad de la leña usada en Valdivia.....	172
Tabla 163. Tipo de operación de los artefactos a leña usada en Valdivia.....	173
Tabla 164. Principales consideraciones para el caso base sin PDA – Combustión Residencial de Leña.....	174
Tabla 165. Principales consideraciones para el caso base sin PDA – Combustión Residencial de Leña.....	174
Tabla 166. Reducción de emisiones medidas estructurales PDA.....	175



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio del Inventario de Emisiones.....	15
Figura 2. Inventarios de emisiones anteriores en la comuna de Valdivia.....	18
Figura 3. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias puntuales	25
Figura 4. Mapa de ubicación de calderas residenciales en la comuna de Valdivia.....	40
Figura 5. Distribución del consumo de combustible según fuente de emisión.....	43
Figura 6. Emisiones totales por categoría Valdivia año base 2021.....	44
Figura 7. Distribución emisiones MP10 por tipología Valdivia año base 2021.....	45
Figura 8. Distribución emisiones MP2,5 por tipología Valdivia año base 2021.....	45
Figura 9. Distribución emisiones NO _x por tipología Valdivia año base 2021.....	46
Figura 10. Distribución emisiones SOX por tipología Valdivia año base 2021.....	46
Figura 11. Ubicación de las fuentes puntuales en la comuna de Valdivia.....	52
Figura 12. Ubicación de las fuentes puntuales según categoría.....	53
Figura 13. Distribución de fuentes puntuales según emisión de MP10.....	54
Figura 14. Distribución de manzanas seleccionadas según diseño muestral.....	68
Figura 15. Distribución del parque de artefactos según distrito censal.....	75
Figura 16. Distribución espacial del consumo de leña (m ³ /año) según distrito censal.....	78
Figura 17. Distribución espacial del consumo de pellet (m ³ /año) según distrito censal.....	79
Figura 18. Distribución espacial del número de artefactos a pellet según distrito censal.....	81
Figura 19. Distribución espacial de las emisiones de MP2,5 según distrito censal.....	83
Figura 20. Distribución temporal quemas agrícolas comuna de Valdivia.....	109
Figura 21. Distribución espacial de quemas agrícolas comuna de Valdivia periodo 2017-2021.....	110
Figura 22. Perfil temporal de los incendios forestales en la comuna de Valdivia periodo 2017-2021	114
Figura 23. Distribución espacial de incendios forestales en la comuna de Valdivia periodo 2017- 2021.....	115
Figura 24. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Valdivia.....	132
Figura 25. Metodología de cálculo MODEM.....	134
Figura 26. Distribución del MP10 en la comuna de Valdivia según fuente de emisión, año base 2021.	156
Figura 27. Distribución de contaminantes en la comuna de Valdivia según fuente de emisión, año base 2021.....	156
Figura 28. Distribución de beneficiarios del Programa de Recambio de Calefactores en Valdivia (2017-2021).....	169
Figura 29. Distribución de beneficiarios del Programa de Recambio de Calefactores en Valdivia (2017-2021) según tecnología recambiada.....	170



ANTECEDENTES PRELIMINARES

ACTUALIZACIÓN INVENTARIO DE EMISIONES



1 ALCANCES DEL INVENTARIO DE EMISIONES

El presente estudio corresponde a la actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos para la comuna de Valdivia, correspondiente al año base 2021.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la actualización del inventario de emisiones atmosféricas para al menos los contaminantes criterio (MP10, MP2,5, CO, NOX, SO₂) y COVS, considerando una base temporal correspondiente al año 2021. El estudio debe ser coherente con los últimos inventarios desarrollados en el país y en la región de Los Ríos, de manera que éstos sean comparables.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Contar con una actualización y revisión del estado del arte de las metodologías de cálculo para estimar emisiones de MP10, MP2,5, CO, NO_x, SO₂ y COVs utilizadas en los últimos inventarios de emisiones atmosféricas a nivel internacional y nacional.
- 2) Contar con una recopilación de los niveles de actividad disponibles para el año 2021 y actualización del inventario de emisiones para la Comuna de Valdivia, que incluya al menos las siguientes fuentes:
 - **Fuentes estacionarias puntuales:** fuentes de combustión y procesos.
 - **Fuentes estacionarias de área tipo residencial:** fuentes de leña, pellets y otros combustibles de tipo residencial.
 - **Otras fuentes estacionarias de área:** fuentes areales de tipo comercial, quemas agrícolas, incendios forestales y fuentes biogénicas.
 - **Fuentes móviles en ruta y fuera de ruta:** incluyendo transporte público y privado, maquinaria agrícola, de construcción e industrial, aeropuerto, etc.
 - **Fracción gruesa del material particulado:** considerar el universo de fuentes que aportan con emisiones de material particulado tales como: construcción, producción, transporte y procesamiento de áridos, actividades agrícolas, polvo resuspendido desde calles pavimentadas y no pavimentadas, etc.

- 3) Proponer mejoras a las metodologías utilizadas a la fecha, para la estimación de emisiones generadas por el uso de leña, pellet y otros combustibles biomásicos en la calefacción domiciliaria y preparación de alimentos, considerando medidas aplicadas en el marco del PDA Valdivia.
- 4) Realizar una proyección del inventario de emisiones a partir del inventario 2021, en un horizonte a ser definido con la contraparte técnica del estudio y considerando escenarios conservador y optimista con las medidas consideradas en el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2,5.

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio para la actualización del inventario de emisiones corresponde a la comuna de Valdivia, de la Región de Los Ríos, tal como se observa en la Figura 1.

La comuna de Valdivia es la capital regional, por lo que concentra la mayor población a nivel comunal, alcanzando los 178.226 habitantes, representando el 43,7% de la población regional, según proyecciones del CENSO 2017 [1], al año 2021, tal como se presenta en la Tabla 1. Respecto a la distribución de la población según zona, la comuna de Valdivia concentra un alto porcentaje en la zona urbana, alcanzando un 93,2%, con una cantidad de 61.243 viviendas en esta zona.

Tabla 1. Información censal proyectada al año 2021 con base CENSO 2017

Variable	Valdivia
N° de habitantes comuna de Valdivia	178.226
% población comuna/región	43,7%
% Población Urbana	93,2%
N° viviendas urbanas	61.243

Fuente: Elaboración propia en base a información del CENSO 2017 [1] y sus proyecciones al año 2021.

En relación a la calidad del aire, la comuna de Valdivia se encuentra declarada como zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diaria y anual, y por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración diaria, mediante D.S. N° 17/2014 del MMA [2]. Dicha categoría, dio lugar al inicio de la elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica (Res. Ex. N° 679/2014 del MMA [3]), lo que concluye en la promulgación y publicación en el Diario Oficial del D.S. N°25/2017 del MMA que Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Comuna de Valdivia [4], en adelante PDA Valdivia.

Como antecedente adicional es relevante indicar que el PDA vigente de la comuna de Valdivia, se encuentra en proceso de revisión, tal como lo señala su artículo 75 que indica: "Con el propósito de complementar, en lo que sea necesario, los instrumentos y medidas, a fin de cumplir las metas de reducción de emisiones planteadas, se establece para la revisión y actualización del presente Plan un plazo de cinco años desde la entrada en vigencia", proceso que inició durante el año 2022 (iniciado a partir de la Res. Ex. N° 0651/2022 del MMA [5]) lo que permitirá establecer ajustes a las medidas actualmente implementadas a fin de alcanzar de manera oportuna la mejora de los índices de calidad del aire de la zona, para cumplir con las normas establecidas.

Respecto a las condiciones que dan lugar a la saturación del área de estudio por material particulado, se cuenta con antecedentes que indican que el uso intensivo de leña para calefacción residencial de viviendas representa la principal fuente de contaminación, alcanzando el 94,1% del material particulado MP2,5 y el 90,7% del MP10 [4].

El uso intensivo de leña obedece a que representa una opción asequible para las viviendas que requieren calefacción en una zona que se caracteriza por presentar un volumen importante de lluvias y bajas temperaturas durante el invierno, con una temperatura media anual de 10°C y el mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre los 18°C y -3°C [6].



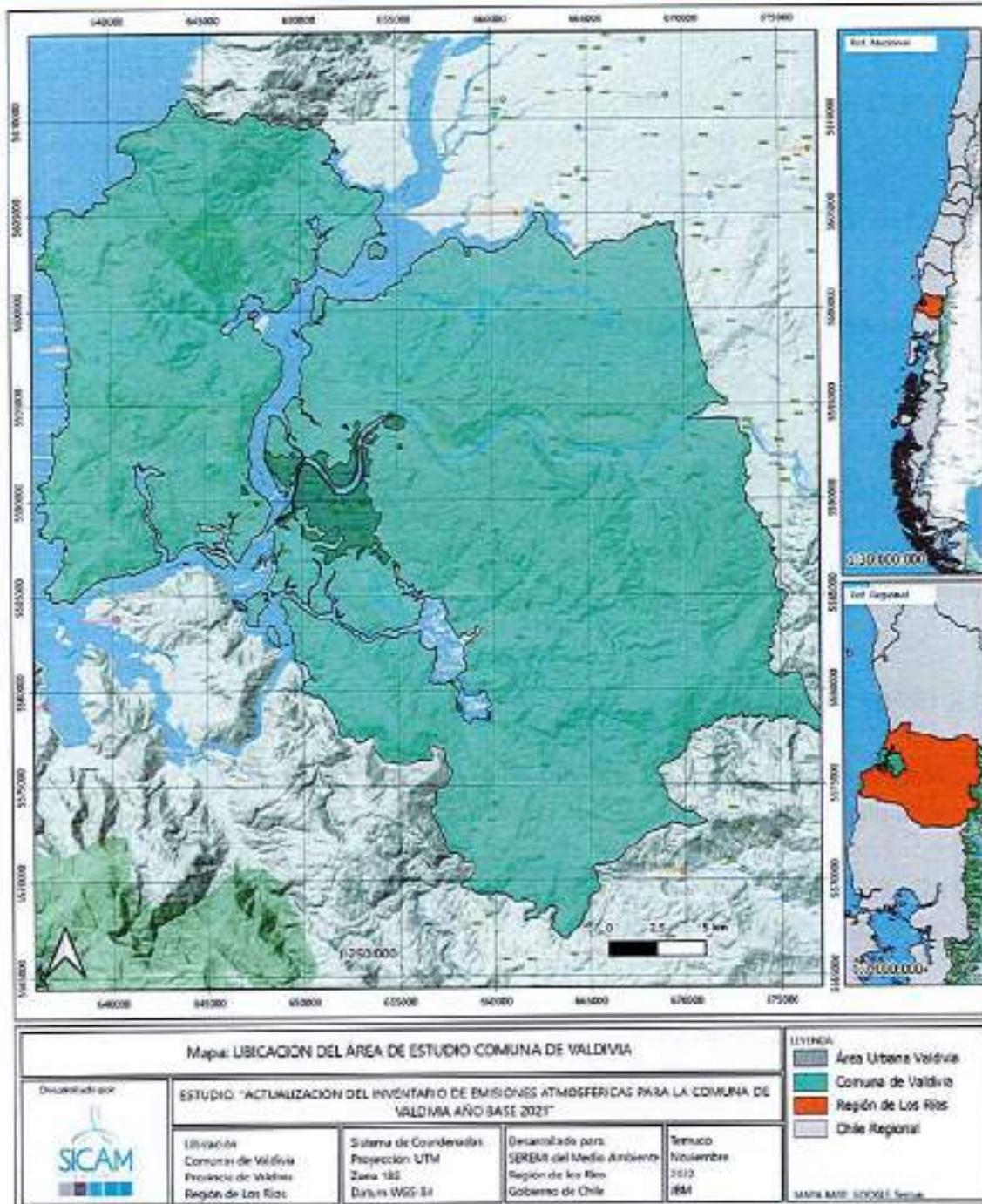


Figura 1. Área de estudio del Inventario de Emisiones

Fuente: Elaboración propia

1.4 UNIDAD TERRITORIAL

La cobertura geográfica del inventario de emisiones abarca la comuna de Valdivia, para la mayoría de las fuentes de emisión. Para el caso de las emisiones provenientes de fuentes de combustión residencial de leña la unidad territorial empleada corresponde al distrito censal, limitado a los distritos urbanos.

1.5 AÑO BASE Y RESOLUCIÓN TEMPORAL

El año base para la actualización del inventario de emisiones corresponde al año 2021. Cabe mencionar que el último inventario desarrollado en la comuna de Valdivia tiene como año base 2013, en donde aún no entraba en vigencia del PDA Valdivia, por lo tanto, esta nueva actualización debe recoger el efecto de la implementación del Plan en las emisiones del área de estudio. Respecto al perfil temporal, el inventario se presenta de manera anual y también su distribución por mes.

1.6 CONTAMINANTES

El presente inventario incluye la estimación de emisiones para los contaminantes criterio: material particulado respirable (MP10), material particulado fino (MP2,5), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y amoníaco (NH₃). Además de la estimación de *black carbon* para la fuente de combustión residencial de leña.

1.7 TIPOS Y CATEGORÍAS DE FUENTES

El inventario incluye las emisiones generadas por cinco tipos de fuentes de emisión, que se describen a continuación:

- Fuente Puntuales: Definidas como cualquier actividad establecida en un solo lugar o área y que desarrolle operaciones o procesos industriales, emitiendo contaminantes a la atmósfera.
- Fuentes de Combustión Residencial de Leña: Esta categoría se encuentra dentro de las fuentes de área, pero se clasifica como un tipo específico de fuente, dada su

relevancia en el área de estudio. Esta categoría corresponde a las emisiones generadas producto de la combustión de leña para calefacción y/o cocción de alimentos, a nivel residencial en las comunas de estudio.

- **Fuentes de Área:** Corresponde a actividades de diversa naturaleza que generan emisiones, correspondiendo a un gran número de unidades de emisión similares dispersas dentro de un área geográfica definida. Se incluyen actividades comerciales, quemas agrícolas e incendios forestales, entre otras muy variadas.
- **Fuentes Móviles:** Considera fuentes móviles en ruta y fuera de ruta. Las primeras incluyen las emisiones asociadas al funcionamiento de vehículos que circulan por carreteras y calles, considerando los distintos tipos de categorías vehiculares. Mientras que las fuera de ruta, incluyen a las que no circulan por carreteras, tales como maquinarias asociadas a actividades agrícolas y construcción.
- **Fuentes fugitivas:** Corresponden a fuentes que aportan la fracción gruesa del material particulado. Estas incluyen polvo resuspendido por tránsito de vehículos y actividades de construcción.

1.8 INVENTARIOS DE EMISIÓN ANTERIORES

En el área de estudio se cuenta con la estimación de emisiones mediante los estudios siguientes:

- Inventario de Emisiones Atmosféricas para la comuna de Valdivia, año base 2013, SICAM Ingeniería, año 2014 [7].
- Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la Región de Los Lagos, año base 2017, desarrollado por SISTAM Ingeniería para la Subsecretaría del Medio Ambiente, el año 2019 [8].

El inventario de emisiones año base 2013 fue desarrollado específicamente para la comuna de Valdivia, para las fuentes puntuales, de área, móviles y combustión residencial de leña, mediante aplicación de encuesta de caracterización de consumo de leña y artefactos. Luego, el inventario actualizado para el año 2017, corresponde al desarrollo de un inventario desde la región de O'Higgins a Los Lagos, a nivel comunal, considerando también, la comuna de Valdivia, mediante una metodología *top-down*. Las emisiones de MP2,5 estimadas a partir

de la combustión residencial de leña corresponden al 90,0% y 96,6% para los años 2014 y 2017, respectivamente.

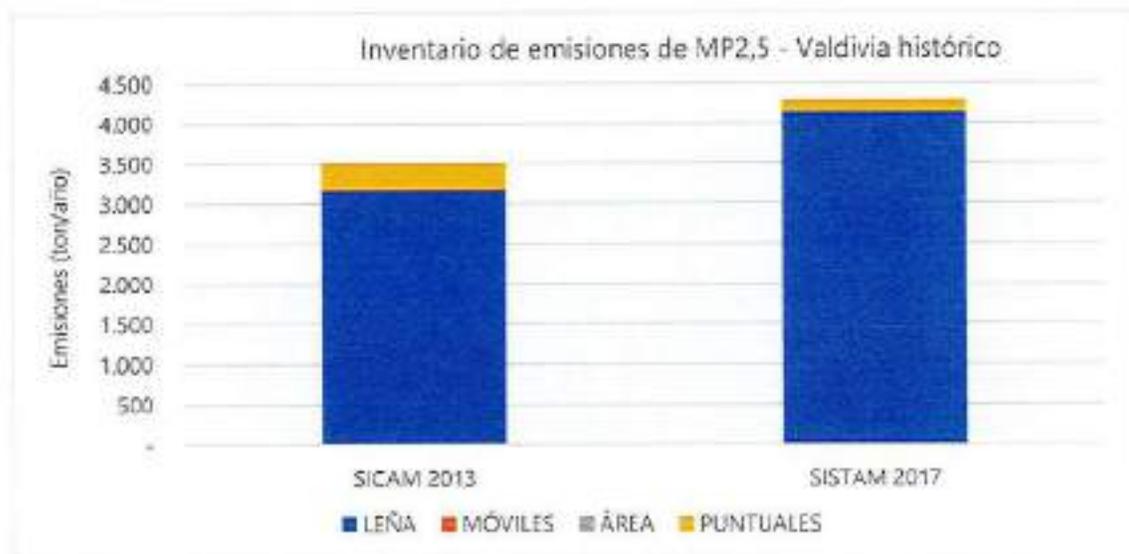


Figura 2. Inventarios de emisiones anteriores en la comuna de Valdivia.
Fuente: Elaboración propia

FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESO



2 FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS

El Ministerio del Medio Ambiente a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) define fuente puntual (estacionaria) a cualquier actividad establecida en un solo lugar o área y que desarrolle operaciones o procesos industriales, emitiendo contaminantes a la atmósfera (MMA, 2011). Las fuentes puntuales se encuentran ampliamente distribuidas en las zonas urbanas y sus inmediaciones, variando de manera significativa de acuerdo a su tamaño y nivel de emisión [15]. Las fuentes puntuales consideran desde plantas termoeléctricas hasta calderas en edificios residenciales, incluyendo procesos industriales, que pudieran o no considerar combustión dentro de su operación.

Respecto al tamaño, la normativa nacional define fuente puntual o fija como aquella cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es igual o superior a 1.000 m³/hora, bajo condiciones estándar y medido a plena carga, definiéndose además las fuentes fijas grupales como aquellas cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es inferior a 1.000 m³/hora, bajo condiciones estándar y medido a plena carga [10]. También se definen las fuentes con una emisión mayor a 1 Ton/día como "megafuentes" [11].

El inventario de emisiones de la comuna de Valdivia para el año base 2013, da cuenta de la existencia de 298 fuentes, dentro de las cuales las más numerosas corresponden a las calderas de calefacción. Luego, el inventario nacional [8] desarrollado para el año base 2017, da cuenta de 519 fuentes, donde las más numerosas corresponden a calderas de calefacción y equipos electrógenos. Finalmente, la información más actualizada con la que se cuenta a la para el desarrollo del presente informe corresponde al registro de emisiones para fuentes puntuales del RETC, para el año 2020, la que da cuenta de la existencia de 482 fuentes puntuales, siendo las más numerosas las calderas de calefacción y equipos electrógenos, tal como se puede observar en la Tabla 2. Sin embargo, esta última fuente de información cuenta solo con la caracterización del establecimiento, sin contar con los niveles de actividad, ni detalles de las fuentes de emisión, necesarios para determinar la estimación de emisiones de cada unidad.

Debido a esto, la información de base para actualizar el inventario de emisiones para la comuna de Valdivia corresponde a la generada para la actualización del año 2017 por representar la información más completa para el área de estudio. Sobre esta base de información, se actualizó el inventario mediante la revisión de los informes de fiscalización de la Superintendencia de Medio Ambiente a los establecimientos de la comuna de Valdivia, en los cuales constan los detalles de funcionamiento de las distintas fuentes de emisión. También se complementó con consultas directamente en las fuentes, en el caso de las más relevantes.

La Tabla 2 presenta el detalle de las fuentes de emisión según origen de la información, al respecto cabe mencionar que el inventario año base 2017 contempla 519 fuentes en total, de las cuales 503 se consideraban operativas, mientras que otras 16 estaban sin funcionamiento. Luego, para la presente actualización se logró catastrar un total de 537 fuentes, de las cuales 22 se encontraban sin funcionamiento, por lo tanto, el análisis de las fuentes para la presente actualización considera las 515 restantes, que se encuentran en operación.

El número de fuentes catastradas aumentó en relación al inventario 2017, debido a la incorporación de unidades, específicamente en equipos electrógenos y panaderías.

Tabla 2. Catastro de fuentes puntuales según año base del inventario (N° de fuentes)

Categoría	Subcategoría	Rubro	Inventario 2013 (1)	Inventario 2017 (2)	Registro RETC 2020 (3)	Inventario 2021
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera industrial	27	13	9	16
		Caldera de Calefacción	173	302	246	303
	Combustión interna	Equipo electrógeno	28	179	192	181
Procesos	Ind. Madera y Papel	Fábrica de chips de madera	12	-	-	-
	Industria de alimentos y agropecuaria	Panaderías	12	22	33	34
		Procesamiento de granos	5	1	-	1
	Industria de productos minerales	Fab. de hormigón y extracción de áridos	24	-	-	-
		Fabricación de ladrillos	1	-	-	-
	Industria metalúrgica secundaria	Productos de hierro y acero	5	-	-	-
		Impregnado de madera	1	-	-	-
	Evaporativas Puntuales	Generación de energía	-	2	2	2
Total de fuentes			298	519	482	537

Fuente:

(1) Inventario Valdivia, SICAM Ingeniería, año base 2013. [7]

(2) Inventario Nacional, SISTAM, año base 2017 [8]

(3) Registro RETC año 2020.

2.1 NORMATIVAS APLICABLES

Las normativas a las que se ven expuestas las fuentes puntuales en la comuna de Valdivia y las futuras regulaciones, establecen los lineamientos en cuanto a información básica requerida, límites y control de emisiones para establecimientos industriales, comerciales y domiciliarios.

A continuación, se presenta un resumen de las principales, medidas, límites y normativas a las que actualmente se ven afectas las Fuentes Puntuales en la comuna de Valdivia.

- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, D.S. 138/2005

Establece la obligación de declarar las emisiones contaminantes atmosféricas, para las Fuentes Fijas en todo el territorio nacional, esto a través de información detallada de niveles de actividad, tipos de fuente, combustibles, descripción de procesos, entre otros antecedentes.

- D.S. N°25/2016 del MMA, que establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Comuna de Valdivia, 2017 [4].

El PDA Valdivia, establece un límite de 50 mg/m³N para la emisión de partículas en calderas nuevas de potencias menores a 75 KWt, estableciéndose además una eficiencia mayor igual a 85%, todo lo anterior debe ser acreditado por el fabricante, eximiéndose de tal regulación, las calderas que funcionen con combustibles gaseosos.

Además, se definen límites de emisión según rangos de potencia térmica, para calderas nuevas y existentes, de acuerdo a los valores indicados en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles de emisión de MP aplicables a fuentes puntuales

Tamaño (Potencia Térmica)	MP (mg/Nm ³)	
	Caldera Existente	Caldera Nueva
Mayor o igual a 75 KWt y menor a 1 MWt	--	50
Mayor o igual a 1 MWt y menor a 20 MWt	50	30
Mayor o igual a 20 MWt	30	30

Fuente: Tabla 21. D.S. N°25/2016 del MMA [4].

Las calderas nuevas de potencia térmica nominal mayor o igual a 75 kWt deberán cumplir con un valor de eficiencia sobre 85%.

- Exime calderas nuevas o existentes que usan exclusivamente y en forma permanente un combustible gaseoso.
- Exime calderas de potencia inferior a 1MWt, que utilicen un combustible fósil, en estado líquido, con un contenido de azufre menor o igual a 50 ppm en forma exclusiva y permanente.
- Exime por 12 meses adicionales, a aquellas calderas existentes de alimentación automática, que usan pellets o chips en forma exclusiva y permanente, y que cuentan con una eficiencia mayor o igual a 85%.
- Exime a calderas existentes o nuevas que cogeneren, siempre y cuando la caldera demuestra una eficiencia térmica mayor a 85%.

Además, se define un límite a las emisiones de SO₂ para calderas que utilizan combustibles sólidos en sus procesos, de acuerdo a una segregación por potencia ver Tabla 4.

Tabla 4. Límites de Emisión de SO₂ para calderas nuevas

Tamaño (Potencia Térmica)	Límite máximo de emisión de SO ₂ (mg/Nm ³)		
	Nuevas	Existentes Desde enero del año 2019	Existentes Desde enero del año 2023
Mayor o igual a 3 MWt y menor a 20 MWt	400	--	--
Mayor o igual a 20 MWt	200	600	400

Fuente: Tabla 22. D.S. N°25/2016 del MMA [4].

Tipo y Frecuencia de medición:

- Las calderas, nuevas y existentes, cuya potencia térmica es mayor o igual a 20 MWt deben instalar y validar un sistema de monitoreo continuo de emisiones para MP y SO₂.
- Las calderas, nuevas y existentes, cuya potencia térmica sea mayor a 75 kWt y menor a 20 MWt, deben realizar mediciones discretas de MP y SO₂.
- La periodicidad de la medición discreta dependerá del tipo de combustible que se utilice.

2.2 REVISIÓN METODOLÓGICA

En términos generales, cada agencia involucrada en el desarrollo del inventario de emisiones de fuentes puntuales de cada país considera un procedimiento general que incorpora a los emisores dentro del proceso, existiendo un control posterior de la información. El sistema que se utiliza es un símil del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de Chile (DS 138/2005, MINSAL). Cada agencia considera un set de factores de emisión que dan cuenta de la realidad local, aunque la fuente principal de consulta mundial referente a factores de emisión sigue siendo el AP-42 [9] y WebFIRE de la EPA.

La EPA, a través del EIIP, establece un sistema mediante el cual, cada emisor debe estimar sus emisiones, de acuerdo a protocolos detallados, pudiendo involucrar desde estimaciones directas a través de los factores de emisión del WebFire, o la medición directa de contaminantes, la elección de uno u otro está vinculada al tipo de fuente, y disponibilidad de información. Existen además diversas iniciativas llevadas a cabo por algunos Estados, donde se establecen normativas de emisión más estrictas además de protocolos de medición propios. El TCEQ de Texas, prioriza las opciones de estimación de emisiones, estableciéndose los métodos de monitoreo continuos como requisito básico para algunas fuentes, ver Tabla 5.

Tabla 5. Priorización de Opciones de Estimación de Emisiones

Orden de Preferencia	Tipo de Metodología	Descripción
1	CEMS	Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones
2	PEMS	Métodos de medición predictivos
3	Medición en la chimenea	Medición puntual en chimenea Isocinética y de Gases
4	F.E. específicos para el equipo	Factor de emisión informado por el fabricante
5	Factor de Emisión	De Acuerdo a AP-42
6	Balance de Materia	Registros de Ingreso y Salidas de sustancias
7	Estimación	A partir de información de una fuente de características similares.

Fuente: Adaptado de la referencia TCEQ, 2013 (*Emissions Inventory Guidelines, Texas Commission on environmental quality*)

Finalmente el *Global Atmospheric pollution Forum* a través del *Air Pollutant Inventory Manual* [12], establece ciertos lineamientos para la estimación de emisiones de fuentes puntuales, siendo una fuente de información altamente valiosa, puesto que realiza una revisión de las principales metodologías disponibles a nivel mundial (revisiones y actualizaciones anuales) para este tipo de fuentes, dejando además de manifiesto la importancia de la implementación de los registros de emisiones en cada país y la aplicación de metodologías estandarizadas para el desarrollo de inventarios de emisiones.

A escala local, de manera general, todos los inventarios de emisiones desarrollados en los últimos años han utilizado como fuente principal de información el RETC, debido a la gran cantidad de declaraciones disponibles, con detalles de combustibles utilizados y niveles de actividad, sin embargo, muchas veces dicha fuente de información carece de un adecuado control de calidad, por tanto, las emisiones podrían verse sobreestimadas o subestimadas, en función del grado de desviación que suponga el valor del nivel de actividad real.

Un enfoque metodológico adecuado, de acuerdo a los estándares de la EPA, supondría la jerarquización siguiente:

- 1) Mediciones continuas de las fuentes entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 2) Mediciones isocinéticas oficiales entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 3) Información declarada según D.S. 138/2005
- 4) Cálculos teóricos a partir de F.E. y nivel de actividad declarado.

2.2.1 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO

El procedimiento metodológico utilizado en función de los aportes metodológicos de las realidades internacionales y nacionales para la estimación y actualización de las emisiones de las Fuentes Puntuales se presenta mediante el esquema de la Figura 3. El procedimiento

contempla una etapa de obtención de la información, ya sea a través de información de bases existentes o a través del levantamiento en terreno o revisión de otras fuentes de información. Posteriormente se considera el procesamiento de la información en una base de datos que contenga información relevante para la estimación de emisiones y caracterización de las fuentes. Con esta información se estiman las emisiones, según el origen de la información, estableciéndose un procedimiento de cálculo para mediciones isocinéticas y otro para factor de emisión.

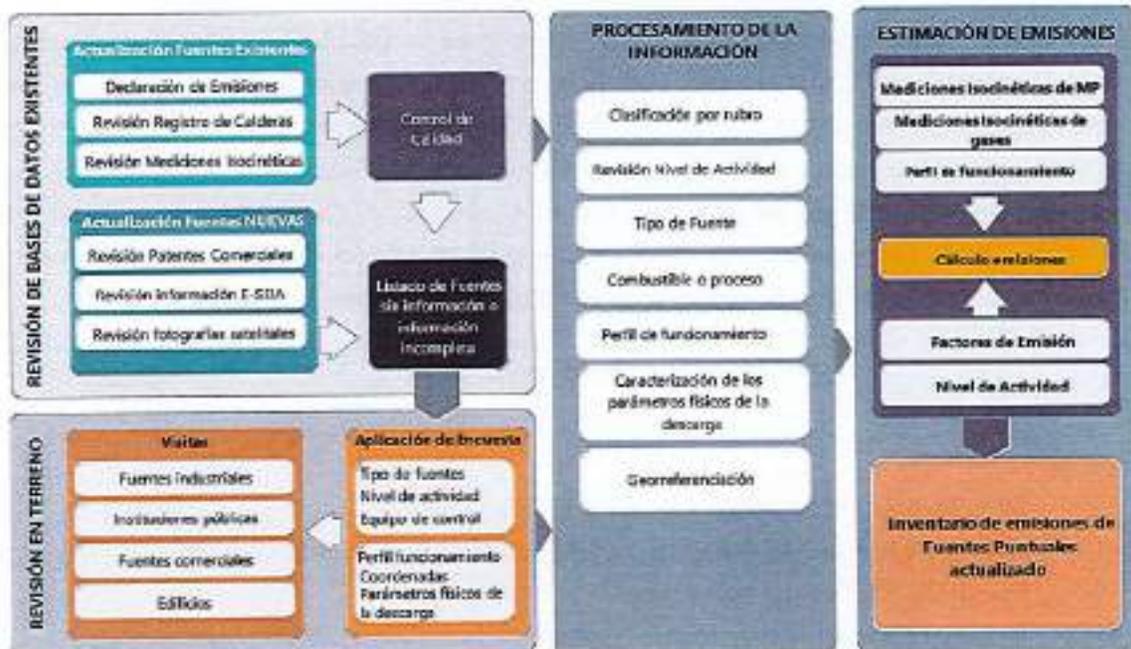


Figura 3. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias puntuales
Fuente: Elaboración propia

Cálculo de emisiones desde fuentes con información isocinética y/o gases

Las fuentes que cuenten con un informe de mediciones isocinéticas y/o gases, serán incluidas directamente en la estimación de emisiones, previa verificación de la correcta información de los datos de medición.

La fórmula general para el cálculo de la emisión a partir de una medición isocinética se presenta en la Ecuación 1.

$$E_{i,j} \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] = \frac{NA_i \left[\frac{\text{h}}{\text{año}} \right] \times Q_i \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times C_{i,j} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]}{10^9 \left[\frac{\text{mg}}{\text{ton}} \right]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- E_{ij} : Emisión del contaminante j desde la fuente i (ton/año)
- NA_i : Nivel de actividad de la fuente i que corresponde a las horas de operación (h/año)
- Q_i : Caudal de salida de la fuente i (m^3/h).
- C_{ij} : Concentración del contaminante j desde la fuente i (mg/m^3)

Cálculo de emisiones a partir de factores de emisión.

Aquellas fuentes que no posean mediciones o cuenten con datos de emisión erróneos o incompletos, serán recalculados utilizando como base la definición de los combustibles empleados, según el tipo y cantidad reportada por la industria, y los controles existentes (de estar disponibles), junto con los factores de emisión correspondientes a los procesos y el nivel de actividad llevado a cabo en cada fuente emisora. Los factores de emisión utilizados disponen de la información de incertidumbre asociada a su aplicación, además de la fuente de información. La ecuación general a utilizar para el cálculo de las fuentes puntuales mediante factor de emisión es el que se presenta a continuación.

$$E_{i,j} = NA_i \times FE_i \times \left(1 - \% \frac{EF_c}{100}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- E : Emisión del contaminante j desde la fuente i
- NA : Nivel de actividad de la fuente i, en unidades concordantes con el F.E.
- FE : Factor de Emisión del contaminante i
- EF_c : % Eficiencia total del equipo de control

2.3 FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE VALDIVIA AÑO BASE 2021

Los factores de emisión son, junto a los niveles de actividad, las principales variables a considerar en el desarrollo de un inventario de emisiones, y de su calidad y representatividad dependerán en buena medida los resultados que se obtengan para la actualización del inventario de emisiones para la zona de estudio. Se toma como referencias principales los últimos manuales y factores de emisión empleados en Chile (Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire (Última actualización 17/06/2015) del SEA) [13], además de los contenidos en el Manual de inventarios de emisiones desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, año 2016 [14], basados principalmente en la información más actualizada del *WebFIRE* (Repositorio de factores de emisión en línea de la EPA).

La guía base para la obtención de factores de emisión asociado a fuentes puntuales corresponde a la denominada "Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales" año 2019 [15], elaborada para el RETC que presenta los factores por subsectores y rubros de industrias y otras fuentes comerciales. Esta guía se realiza en base a la información revisada en los siguientes documentos:

- AP-42 de la "Environmental Protection Agency" (EPA),
- EMEP/EEA 2016 de la "European Environment Agency"
- Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero
- Instrumental para la Identificación y Cuantificación de Mercurio, PNUMA
- Instrumental para la identificación y Cuantificación de Dioxinas y Furanos, PNUMA

Se incorporan en el presente informe los factores de emisión de los principales subsectores y rubros, derivados del análisis de las fuentes catastradas en el área de estudio en inventarios de emisiones anteriores.

Calderas de calefacción

Para el caso de las calderas de calefacción, se presenta a continuación los factores de emisión para material particulado (Tabla 6) y para contaminantes gaseosos (

Tabla 7), según tipo de combustible utilizado.

Tabla 6. Factores de emisión de material particulado para calderas de agua caliente

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	MP	MP10	MP2,5
Caldera de agua caliente	1-03-004-01	Petróleo N°5 ^(a)	kg/m ³	3,6895	N/A	N/A
	1-03-004-02	Petróleo N°5 ^(b)	kg/m ³	1,1983	N/A	N/A
	1-03-005-01	Petróleo N°1B&2 ^(c)	kg/m ³	0,2397	0,1294	0,0995
	1-03-005-02	Petróleo destilado ^(d)	kg/m ³	0,2397	0,1294	N/A
	1-03-005-03		kg/m ³	0,2397	0,1294	N/A
	1-03-006-01	Gas natural ^(e)	mg/m ³	30,4351	30,4351	30,4351
	1-03-006-02		mg/m ³	30,4351	30,4351	30,4351
	1-03-006-03		mg/m ³	30,4351	30,4351	30,4351
	1-03-010-01	Butano ^(f)	kg/m ³	0,0599	0,0599	0,0599
	1-03-010-02	Propano ^(g)	kg/m ³	0,0479	0,0479	0,0479

(a) Fuente para MP10, MP2,5 y MP es EPA: Sección 1.3 Fuel oil combustion, 1996.

(b) Fuente es EPA: Sección 1.4 Natural Gas Combustion, 1996.

(c) Fuente es EPA: Sección 1.6 Wood Residue Combustion in Boilers, 2003.

(d) Fuente es EPA: Sección 1.3 Liquefied Petroleum Gas Combustion, 1996.

N/A: No aplica

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 7. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para calderas de agua caliente

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	CO	COV	NH ₃ ^(a)	NO _x	SO _x (1)
Caldera de agua caliente	1-03-004-01	Petróleo N°5 ^(b)	kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	5,6318	56,4382
	1-03-004-02	Petróleo N°5 ^(c)	kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	6,5905	56,4382
	1-03-005-01	Petróleo N°1&2	kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	2,6758	0,08508
	1-03-005-02	Petróleo	kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	2,3965	0,08508
	1-03-005-03	destilado	kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	2,3965	0,08508
	1-03-006-01	Gas natural ^(d)	mg/m ³	1,345,5509	88,1015	7,8450	4,485,1695	9,6111
	1-03-006-02		mg/m ³	1,345,5509	88,1015	7,8450	4,485,1695	9,6111
	1-03-006-03		mg/m ³	1,345,5509	88,1015	7,8450	4,485,1695	9,6111
	1-03-010-01	Butano ^(e)	kg/m ³	0,2516	N/A	N/A	1,7974	0,0002
1-03-010-02	Propano ^(f)	kg/m ³	0,2277	N/A	N/A	1,6776	0,0002	

(a) Fuente para CO, NO_x y SO_x es EPA: Section 7.3 Fuel oil combustion, 1998.

(b) Fuente: Development and Selection of Ammonia Emission Factors – Final Report.

(c) Fuente para CO, COV y NO_x es ARS Facility Subsystem Source Classification Codes and Emission Factor Listing for Criteria Air Pollutants.

(d) Fuente para CO, COV, NO_x y SO_x es EPA: Section 7.4 Natural Gas Combustion, 1998.

(e) Fuente para CO, COV, NO_x y SO_x es EPA: Section 7.6 Wood Residue Combustion in Boilers, 2003.

(f) Fuente para CO, NO_x y SO_x es EPA: Section 7.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion.

N/A: No aplica

(1) Para el F.E. de SO_x se emplean valores de contenido de azufre según tipo de combustible

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Equipos electrógenos

Las tablas siguientes presentan los factores de emisión para los equipos electrógenos, según el combustible empleado, para material particulado (Tabla 8) y para contaminantes gaseosos (Tabla 9).

Tabla 8. Factores de emisión de material particulado para equipos electrógenos

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	MP	MP10	MP2,5
Grupos electrógenos	2-03-001-01	Diésel ^(a)	kg/m ³	5,0926	5,0926	5,0926
	2-03-002-01	Gas natural	mg/m ³	160,1846 ^(b)	160,1846 ^(b)	160,1846 ^(b)
	2-03-003-01	Gasolina ^(c)	kg/m ³	1,5098	1,5098	1,5098

(a) Fuente es EPA: Section 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines, 1996.

(b) Fuente es EPA para MP10: Emission Factor Listing Developed by Technology Transfer, EPA 450/4-89-022 US Environmental Protection Agency.

(c) Fuente es EPA: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 9. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para equipos electrógenos

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	CO	COV	NH ₃	NO _x	SO _x (1)
Grupos electrógenos	2-03-001-01	Diésel ^(a)	kg/m ³	15,5774	N/A	N/A	72,3752	4,7571
	2-03-002-01	Gas natural ^(b)	kg/m ³	6,391,3965	1,058,1417	N/A	45,492,4335	9,6111 ^(c)
	2-03-003-01	Gasolina ^(d)	kg/m ³	946,6288	N/A	N/A	N/A	1,2702

(a) Factor de emisión basado en valores del estado D

(b) Fuente para CO, NO_x y SO_x es EPA: Section 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines.

(c) Fuente para CO, COV y NO_x es EPA: Section 2.2 Heavy Duty Natural Gas Fired Pipeline Compressor Engines.

(d) Fuente es EPA: Section 1.4 Natural Gas Combustion, 1992.

(1) Fuente para CO, NO_x y SO_x es EPA: Section 3.3 Gasoline and Diesel Industrial Engines, 1996.

N/A: No aplica

(1) Para el F.E. de SO_x se emplean valores de contenido de azufre según tipo de combustible

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Hornos panaderos

Para el caso de los hornos panaderos, los factores de emisión descritos se presentan en función de la cantidad de pan horneado en el proceso (

Tabla 11), según la metodología descrita en la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019 [15]. Pero también, si se desconoce este valor, es posible emplear factores de emisión asociados al consumo de combustible en el horno, según lo establece la guía de la *European Environmental Agency* (EEA), en su documento "Small combustion", que considera los hornos panaderos dentro de su categoría "Non-residential heating" y establece factores de emisión para combustibles sólidos, líquidos o gaseosos (Tabla 10).

Tabla 10. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para hornos de panadería

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	CO	COV	NH ₃	NO _x	SO _x
Hornos de panadería	3-02-032-01	Pan horneado	kg/ton	N/A	2,1493	N/A	N/A	N/A
	3-02-032-02	(1)	kg/ton	N/A	2,1493	N/A	N/A	N/A

(1) Fuente es EPA: Section 9.9.6. Bread Baking, 1997. - N/A: No aplica

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 11. Factores de emisión para hornos de panadería según tipo de combustible

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	MP10	MP2,5	CO	COV	NH ₃	NO _x	SO _x
Hornos de panadería	10301001	GLP (1)	g/kg	0,1612	0,1612	1,7124		0,06600	3,01	0,0003
	10301001	Gas Natural	g/kg	0,0402	0,0402	1,4900	1,1800	0,00004	3,81	0,0945
	10300501	Petróleo diésel (2)	g/kg	0,2853	0,2853	0,7130	0,0290	0,14000	3,42	0,1013

(1) Fuente es EEA: Table 3.8. 7.A.4 Small combustion 2019

(2) Fuente es EEA: Table 3.9. 7.A.4 Small combustion 2019

N/A: No aplica

Calderas industriales

Para el caso de las calderas en procesos industriales, la guía de estimación de emisiones de fuentes puntuales [15] presenta factores de emisión asociados al tipo de combustible empleado. Dicha guía contempla una amplia gama de combustibles, por lo que los factores de emisión aquí presentados consideran los combustibles declarados para las fuentes puntuales catastradas en el área de estudio.

Tabla 12. Factores de emisión de material particulado para calderas de generación de energía

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	MP	MP10	MP2,5
	1-02-002-05	Carbón bituminoso	kg/ton	7,2575	2,7216	0,9979
	1-02-004-01	Petróleo 6	kg/m ³	(9,34E0*5 +3,09E0)*	(8,03E0*5 +2,65E0)*	(5,23E0*5 +1,73E0)*

Caldera de generación de energía				0,4535924 /3,785412	0,4535924 /3,785412	0,4535924 /3,785412
	1-02-009-11	Biomasa Combustible	Kg/ton	3,2659	2,9484	2,4812
	1-02-010-02	Gas licuado de petróleo	Kg/m ³	0,0719	0,0719	0,0719

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 13. Factores de emisión de contaminantes gaseosos para calderas de generación de energía

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	CO	COV	NH ₃ ⁽¹⁾	NO _x	SO _x (T)
Caldera de generación de energía	1-02-002-05	Carbón bituminoso	kg/ton	2,7216	N/A	0,2563	3,4019	(3,81*S) ^a 0,4535924
	1-02-004-01	Petróleo 6	Kg/m ³	0,5991	N/A	0,0959	5,6318	(157*S) ^a 0,4535924/ 3,785412
	1-02-009-11	Biomasa Combustible	Kg/ton	6,1689	N/A	N/A	0,6804	0,0340
	1-02-010-02	Gas licuado de petróleo	Kg/m ³	0,3834	N/A	N/A	2,2767	(0,1*S) ^a 0,4535924/ 3,785412

(1) Para el caso del NH₃, la unidad es g/ton

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Turbinas

Las termoeléctricas utilizan típicamente turbinas a gas natural o diésel para la generación de energía eléctrica mediante ciclos termodinámicos.

Tabla 14. Factores de emisión para turbinas según tipo de combustible

Fuente	CCFB	Combustible	Unidad	MP10	MP2,5	CO	COV	NH ₃	NO _x	SO _x
Turbina	2-02-001-02	Diésel	kg/kg	0,00017	0,00003	0,00006	0,00001	0,00014	0,01712	0,00413

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Procesos industriales

Para procesos industriales específicos, se presenta a continuación la Tabla 15, con factores de emisión para procesos seleccionados.

Tabla 15. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados

Proceso	Sub-Proceso	Ref.	Unidad	MP10	MP2,5	CO	NH ₃	COV/NM
Confección de Espuma	NA	EMEP/EEA	g/kg espuma					60
Confección de Zapatos	NA	EMEP/EEA	Kg/par de zapatos					0,045
Curtido de Cuero	NA	EMEP/EEA	g/kg cuero				0,69	
Chancado de Rocas	Chancado Terciario	AP-42	Ton/Ton Roca	1,2E-06				
	Chancado de Finos	AP-42	Ton/Ton Roca	2,7E-07	5,0E-05			
	Temizado	AP-42	Ton/Ton Roca	4,3E-06				

	Tamizado de Finos	AP-42	Kg/Ton Roca	3,6E-02		
	Cinta Transportadora	AP-42	Ton/Ton Roca	5,5E-07		
	Chancado de Impacto en Húmedo	AP-42	Kg/Ton Roca	4,0E-05		
	Cargado de Camiones	AP-42	Kg/Ton Roca	8,0E-06		
	Cargado de Camiones (Transportador-Chancado)	AP-42	Kg/Ton Roca	5,0E-05		
Producción de Concreto	Transferencia de Agregados a Bins	AP-42	n/yd ³	3,3E-03		
	Transferencia Arena a Bins	AP-42	n/yd ³	9,9E-04		
	Cargado de Cemento en Silos	AP-42	n/yd ³	3,9E-01		
	Cargado de Tolva	AP-42	n/yd ³	2,4E-03		
	Cargado del Mezclador (Mezclado Centralizado)	AP-42	n/yd ³	7,8E-02		
	Cargado de Camiones	AP-42	n/yd ³	1,5E-01		
Fabricación de Ladrillos	Horno de proceso Húmedo	AP-42	Kg/Ton ladrillo	16		
	Proceso largo de horno seco	AP-42	Kg/Ton ladrillo	8,4E-02		
Fabricación de Madera Elaborada	Prensado de Paneles	AP-42	Kg/m ³	4,2E-03	5,7E-02	
	Secador rotatorio	AP-42	Kg/ton	0,345	0,34	
Procesamiento de Granos	Secador de Bandeja	AP-42	Ton/ton grano	3		
	Cargado de Camiones	AP-42	Ton/ton grano	3,5E-02	7,8E-03	

Fuente: Elaboración propia a partir de AP-42 [8] y EMEP/EEA [16]

2.3.1 ACTUALIZACIÓN DE NIVELES DE ACTIVIDAD

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la revisión de la información de las fuentes disponibles, a saber: base de datos inventario año base 2017 [8], fiscalizaciones de la Superintendencia de Medio Ambiente mediante el registro en el sistema SNIFA (<https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion>), registros del RETC año 2020 y consulta directa a la fuente.

De manera general se ha asignado una abreviación estándar, de acuerdo con los protocolos establecidos en el RETC.

Tabla 16. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras

Proceso	Abreviación
Caldera de Calefacción	CA

Caldera Industrial	IN
Equipo Electrógeno	EL
Proceso con Combustión	PC
Horno- Panadero	PA

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 CATASTRO DE FUENTES PUNTUALES

La revisión de la información antes mencionada permite analizar las fuentes presentes en el área de estudio, estableciéndose que las más numerosas corresponden a las calderas de calefacción, seguidos por los equipos electrógenos. Se identifican solo 12 calderas industriales, sin embargo, corresponden a las principales fuentes emisoras en el área de estudio. Tal como se mencionó anteriormente, el número de total de fuentes inventariadas corresponde a 537, sin embargo, 22 de éstas se encuentran sin funcionamiento, por lo tanto, el análisis se enfoca en las fuentes activas correspondiente a 515.

Tabla 17. Catastro de fuentes puntuales año base 2021

Categoría	Subcategoría	Fuente	N°
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera de Calefacción	290
		Caldera industrial	12
	Combustión interna	Equipo electrógeno	175
Procesos	Generación de Energía	Turbinas de Generación eléctrica	2
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panadería	35
		Procesamiento de Granos	1
Total general			515

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los establecimientos catastrados en la base de datos de fuentes puntuales, se identifican 144, los que en su conjunto representan 515 fuentes de emisión. El establecimiento que declara la mayor cantidad de fuentes corresponde a la I. Municipalidad de Valdivia, con 63 fuentes catastradas correspondientes a recintos educacionales y de salud principalmente. Luego se encuentra Aguas Decimas S.A. que declara 35 fuentes correspondientes a las distintas instalaciones de tratamiento y distribución de agua.

Los primeros 43 establecimientos concentran el 70% del total de fuentes declaradas, luego, entre los 101 establecimientos restantes, se declaran 152 fuentes, cada establecimiento con 3 o menos fuentes declaradas.

Tabla 18. Catastro de fuentes puntuales año base 2021

Establecimiento	N° de fuentes
I MUNICIPALIDAD VALDIVIA	63
AGUAS DECIMA S A	35
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE	33
SERVICIO DE SALUD VALDIVIA HOSPITAL BASE	17

DELISUR S A	14
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS	12
RENDIC HERMANOS S A	10
CORP ADMINISTRATIVA DEL PODER JUDICIAL	9
ABARROTÉS ECONÓMICOS S.A.	9
Establecimiento	N° de fuentes
SOC CONCESIONARIA INFRAESTRUCTURA PENITENCIARIA GRUPO TRES S A	8
UNIVERSIDAD SAN SEBASTIAN	8
MUTUAL DE SEGURIDAD CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION	7
PROCESADORA DE CARNES DEL SUR LIMITADA	7
TURISMO VILLA DEL RIO S A	7
CLINICA ALEMANA DE VALDIVIA S.A.	6
CENCOSUD RETAIL S.A.	6
COMPANIA CERVECERA KUNSTMANN S A	6
VALDIVIA LILIES SPA	6
FORESTAL ARAUCO S.A.	6
CIA NACIONAL DE TELEFONOS TELEFONICA DEL SUR S A	5
BANCO SANTANDER CHILE	5
TERMOELECTRICA ANTIHUE SA	5
COMUNIDAD DE EDIFICIO MEDICO BEAU CHEF	5
SERVICIO DE SALUD VALDIVIA	5
SAGESA S.A.	5
CASINO DE JUEGOS VALDIVIA S.A.	4
SOC INDUSTRIAL KUNSTMANN S A	4
CENTRO MEDICO DOCENTE ASISTENCIAL U. SAN SEBASTIÁN S.A.	4
CABANAS HOSTAL BORDE RIO LIMITADA	4
SOCIEDAD DE TURISMO RAITUE SPA	4
CARTULINAS CMPC S A	4
BANCO DEL ESTADO DE CHILE	4
SOC COMERC IND Y DE TURISMO NAGUILAN LTDA	4
HAFTUR S A	4
ADMINISTRADORA DE SUPERMERCADOS HIPER LIMITADA	4
TURISMO DEL SUR SOCIEDAD ANONIMA	3
COMUNIDAD EDIFICIO O	3
SOC INSTITUTO ALEMAN DE VALDIVIA	3
NEPHROCARE CHILE S A	3
SUPERMERCADO ELTIT LIMITADA	3
CENTRO DE ESTUDIOS SAN IGNACIO LIMITADA	3
MONTES	3
FUND. EDUCACIONAL COLEGIO NUESTRA SENORA DEL CARMEN	3
SOC PERIODISTICA ARAUCANIA S A	3
COMERCIAL AMAR HERMANOS Y COMPANIA LIMITADA	3
SUPER 10 S.A.	3
ALBERGOS DI TORLASCHI SPA	3
INVERSIONES LAGO LACAR S.A.	3
HOTELERA DIEGO DE ALMAGRO LIMITADA	3
LEVADURAS COLLICO S A	3

HOTELERA LANGERON S A	3
COOP DE SERVICIOS EDUCACIONALES WINDSOR SCHOOL LIMITDA	3
ASOC CHILENA DE SEGURIDAD	3
WOODS SPA	3
PORTUARIA CORRAL S.A.	2
Establecimiento	N° de fuentes
COMUNIDAD EDIFICIO LIBERTAD	2
COMUNIDAD EDIFICIO INES DE SUAREZ	2
GOBIERNO REGIONAL DE LOS RIOS	2
SODIMAC S A	2
GONZALEZ Y WEVAR LIMITADA	2
COMUNIDAD DE ADMINISTRACION EDIFICIO AINILEBU	2
GRANJA MARINA TORNAGALEONES S A	2
SOC EDUCACIONAL GRACIA Y PAZ LTDA	2
CLARO INFRAESTRUCTURA 171 S.A.	2
COMUNIDAD EDIFICIO TORNAGALEONES	2
CENTRO CLINICO MILITAR VALDIVIA	2
PESQUERA ISLA DEL REY S A	2
INMOBILIARIA E INVERSIONES MALL PLAZA DE LOS RIOS LTDA.	2
ABASTIBLE S.A.	2
INMOBILIARIA SOCOVESA SUR S A	2
CAJA DE COMPENSACION DE ASIGNACION FAMILIAR DE LOS ANDES	2
CENTRO DE ESTUDIOS CIENTIFICOS	2
SOC EDUCACIONAL G Y S LTDA	2
COMERCIAL MARTINEZ Y ALVEAL LTDA	2
SOC GESTION INMOBILIARIA Y EDUCACIONAL LTDA	2
MEGASALUD SPA	2
SOC INMOBILIARIA NUSS Y COMPANIA LIMITADA	2
MINISTERIO PUBLICO	2
SOCIEDAD EDUCACIONAL DEL SUR LTDA	2
CHOCOLATERIA ENTRELAGOS LTDA	2
CONGREGACION SALESIANA INSPECTORIA SALESIANA.	2
PACEL S A	2
ADMINISTRACION EDIFICIO SANTA INES	2
COLMENA GOLDEN CROSS S.A.	1
CONDOMINIO HAVERBECK	1
SOCIEDAD ADMINISTRADORA RUIZ QUIROZ SPA	1
INVERSIONES Y ASESORIAS ENTRE TILOS LIMITADA	1
INDURA S.A.	1
ITAU CORPBANCA	1
INMOBILIARIA RIO CRUCES S.A.	1
KAIRATH	1
SOCIEDAD INVERSIONES Y TURISMO ARICA LIMITADA	1
LABORATORIO DE HISTOLOGIA Y CITOPATOLOGI	1
CAMANCHACA PESCA SUR S.A.	1
ADMINISTRADORA DE SUPERMERCADOS EXPRESS LIMITADA	1
FORESTAL RIO CALLE-CALLE S A	1

EDUARDO SCHILD Y COMPANIA LIMITADA	1
SOC ESCOLAR Y DE INVERSIONES BOOTH Y RIEBEL LTDA	1
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION GRAL DE OO PP DCYF	1
CERVECERIA KUNSTMANN LTDA	1
EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S A	1
Establecimiento	N° de fuentes
INSTITUTO NACIONAL DE DEPORTES DE CHILE	1
COMERCIAL Y SERVICIOS JOVI LIMITADA	1
SUBSECRETARIA DEL MINISTERIO DE AGRICULT	1
MULTITIENDAS CORONA S A	1
CONDominio TORREON LOS CANELOS	1
COMITE DE ADMINISTRACION EDIFICIO ENTRELAGOS	1
ANTONIO CASTILLO S A	1
FALABELLA RETAIL S.A.	1
SOC COMERCIAL NUEVA ERA LTDA	1
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE CHILE INACAP	1
SOC DE PROFESIONALES SALAS HERMANOS LTDA	1
HOGARES ALEMANES DE VALDIVIA S.A.	1
ZAROR	1
CIA DE SEGUROS DE VIDA CONSORCIO NACIONAL DE SEGUROS S A	1
INMOBILIARIA MAIPU LTDA	1
CLUB DE LA UNION DE VALDIVIA	1
FUNDACION EDUCACIONAL	1
PREUNIVERSITARIO PEDRO DE VALDIVIA CONCEPCION LIMITADA	1
COMUNIDAD EDIFICIO PICARTE	1
COMUNIDAD CONDOMINIO TEJA SUR EDIF. A Y F	1
INMOBILIARIA VALDIVIA LTDA	1
COLEGIO AUSTRAL LTDA	1
SOCIEDAD EDUCACIONAL DOMUS-MATER S.A.	1
RIPLEY STORE SPA	1
INVERME S A	1
COMUNIDAD COPROPIETARIOS EDIFICIO CENTRO	1
CONDominio BARRIO PRIVADO SILOS DE TOROBAYO	1
SAVAL VALDIVIA FEDERACION GREMIAL	1
TABOADA	1
SERVICIOS EDUCACIONALES INGRID CAROL OPAZO CABALIN	1
TRANSELEC S A	1
COMUNIDAD DE COPROPIETARIOS EDIFICIO CARLOS ANWANDTER	1
CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA	1
SERVICIO ELECTORAL	1
INVERSIONES LOS ROSALES SPA	1
SERVICIOS TURISTICOS VILLA PAULINA LIMITADA	1
BANCO DE CHILE	1
CORP NACIONAL FORESTAL	1
OBISPADO DE VALDIVIA	1
INMOBILIARIA E INVERSIONES PAZOS LIMITADA	1
AUTOMOTRIZ SALFA SUR LIMITADA	1

INMOBILIARIA LEHMANN LIMITADA	1
IGLESIA METODISTA PENTECOSTAL DE CHILE	1
Total general	515

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 CALDERAS INDUSTRIALES

La información procesada de los niveles de actividad para el tipo de fuente calderas industriales, da cuenta de un total de 12 calderas, de las cuales 3 declaran funcionamiento con biomasa combustible, 1 con carbón bituminoso, 5 con GLP y 1 a petróleo, tal como se puede observar en la Tabla 19.

Para el inventario año base 2017, Cartulinas CMPC S.A. representaba la principal fuente de emisión del área de estudio, con 2 calderas a leña y 1 a petróleo. Luego, para la presente actualización se evidenció la incorporación de una nueva caldera a biomasa con inscripción durante el año 2019 y en operación a partir del año 2020, según consta en respaldo de consumo enviado directamente por el encargado de medio ambiente de la empresa. Esta caldera posee como equipo de control un precipitador electrostático. Luego, la unidad de emisión "caldera 3" a leña, que en 2017 se encontraba activa, actualmente se encuentra solo como equipo de respaldo y sin operación. Así mismo, la otra unidad "caldera 4" a leña, fue dada de baja en marzo de 2019, lo cual fue informado a SEREMI de Salud y a la Superintendencia de Medio Ambiente. Por otra parte, la unidad de emisión "caldera 5" a petróleo funciona como caldera de respaldo, además cambió su combustible de petróleo a GLP desde diciembre de 2021. De esta manera, para el año base 2021, se establece el funcionamiento de 3 calderas, 2 a biomasa (una de respaldo y una principal) y una a petróleo, la que para la proyección del inventario se considera funcionando a GLP, ya que el cambio de combustible se produjo recién en diciembre de 2021, pero el resto del año fue utilizado con petróleo.

Para el caso de la Clínica Alemana de Valdivia, en el inventario año base 2017 funcionaba como unidades de emisión principales, con 3 calderas a leña, las cuales fueron reemplazadas por calderas a gas, a finales del año 2017.

Para el caso de Levaduras Collico, para el inventario 2017 se registra el funcionamiento de una caldera a carbón bituminoso. Luego, mediante consulta de las actas de fiscalización de la SMA y por consulta directa en la fuente, se constató que esta caldera fue dada de baja en agosto del año 2022, funcionando con carbón hasta fines de 2021. Luego de lo cual pasó a utilizarse GLP como combustible. Considerando que el inventario de emisiones es año base 2021, se estiman las emisiones con el uso de la caldera a carbón, luego para la proyección del inventario se elimina esta unidad y se reemplaza por caldera a GLP.

INFODEMA representa otra fuente relevante inventariada para el año base 2017. Esta empresa contaba con 2 calderas a biomasa con niveles de emisión en torno a las 40 ton/año de MP10, sin embargo, para la presente actualización se determina que la empresa se declaró en quiebra durante el año 2020, lo cual consta en el acta de fiscalización de la SMA, en donde se advierte el recinto sin presencia de personal e instalaciones sin funcionamiento, por lo tanto, no se considera como fuente para el presente inventario de emisiones.

Todos los antecedentes recabados para las principales fuentes y las actas de fiscalización de la SMA se presentan en el Anexo 1. Información fuentes relevantes.

En lo que respecta al consumo de combustible, al final de la Tabla 19, se presenta el nivel de consumo, según tipo de combustible en unidades de ton/año, para esta categoría de fuente. En el caso de la biomasa combustible, las que declaran específicamente el uso de leña como combustible corresponden a las 2 calderas de PACEL S.A. y 1 en FRIVAL, las que en su conjunto consumen un total de 1.501 ton/año, equivalente a 4.057 m³/año, empleando una densidad de 370 kg/m³.

Tabla 19. Número de calderas de Industriales por empresa

ESTABLECIMIENTO	BIOMASA COMB.	CARBÓN BITUMINOSO	GLP	PETRÓLEO	TOTAL
CARTULINAS CMPC S.A	2			1	3
CLINICA ALEMANA VALDIVIA			3		3
CÍA. CERVECERA KUNSTMANN S.A			1		1
FRIVAL	1				1
PESQUERA ISLA DEL REY			1		1
LEVADURAS COLUICO S.A		1			1
PACEL S.A	2				2
Total general	5	1	5	1	12
CONSUMO COMBUSTIBLE (TON/AÑO)	1.565	964	935	123	

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 CALDERAS DE CALEFACCIÓN

El número más importante de fuentes catastradas corresponde a las calderas de calefacción, siendo las vinculadas a servicios educacionales las más numerosas, relacionadas a colegios, escuelas, jardines infantiles y recintos universitarios, tal como se puede observar en la Tabla 20. Del total de calderas de calefacción el mayor porcentaje funciona a gas, seguido de petróleo y leña (42%, 33%, 25%, respectivamente).

En el inventario 2017 se registraban algunas calderas que funcionaba a carbón, tal como el caso de la fuente vertedero Morrompulli y Edificio Consistorial de la I. Municipalidad de Valdivia. Luego de la consulta directa en la fuente, se verificó que no se encuentran en funcionamiento, señalando que en el vertedero Morrompulli no existe la fuente de emisión

y que en Edificio Consistorial se cambió durante el año 2019 a dos calderas a GLP mediante convenio con Abastible. Además, se encuentra la caldera de la empresa Klenner que también funcionaba a carbón, Instalación JKSCH Valdivia, la que no cuenta con fiscalización de la SMA, y tampoco cuentan con declaración de emisiones RETC 2020, una búsqueda de sus antecedentes da cuenta de que la empresa se encuentra en proceso de quiebra al año 2021, por lo tanto, se encontraría fuera de funcionamiento.

Otro cambio evidenciado para las calderas de calefacción corresponde al identificado para la empresa FRIVAL S.A. la cual en el inventario año base 2017 identifica la existencia de 3 grupos electrógenos y 1 caldera a leña, las cuales se encuentran activas. Mediante la revisión de las fiscalizaciones realizadas por la SMA, se identifica el funcionamiento de 2 calderas extras, una que funciona a gas y otra a pellet, lo cual fue corroborado en la declaración del RETC 2020, en donde se encuentran incorporadas. Mediante consulta directa al titular se pudo corroborar la existencia de estas fuentes, el consumo de combustible y emisiones.

Tabla 20. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente

COMBUSTIBLE	EDUCACIÓN	COMERCIAL	SALUD	EDIFICIO	PÚBLICO	INDUSTRIAL	OTROS	TOTAL
BIOMASA COMBUST.	25	23	1	11	7	3	2	72
BIOMASA COMBUST.	3	2						5
LEÑA	22	21	1	11	7		2	64
PELLET						3		3
GAS	56	9	32	5	3	8	7	120
GAS DE CAÑERÍA			2					2
GAS NATURAL			4		1			5
GLP	56	9	20	5	4	8	3	103
PROPANO			6				4	10
PETRÓLEO	38	25	5	10	12	5	1	96
PETRÓLEO DIESEL	37	25	5	10	12	5	1	95
PETRÓLEO N° 6	1							1
Total general	119	57	38	26	24	16	10	290

Fuente: Elaboración propia

De las 72 calderas de calefacción que utilizan biomasa, se observa que 14 unidades corresponden a equipos con potencia menor a 75 kW, mientras que, 57 unidades se encuentran entre los 75 y 1.000 kW. Solo una de las unidades se encontraría sobre los 1.000 kW, correspondiente a la caldera a pellet de la empresa FRIVAL S.A. con 1.576 kW.

Tabla 21. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente

Rango de potencia	N° de calderas
< 75 KW	14
75 kW - 1.000 kW	57
1.000 kW - 20.000 kW	1
Total general	72

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a las calderas de tipo residencial, con potencia menor a 75 kW, el PDA de Valdivia establece en su Artículo 34, que las calderas nuevas con potencia térmica nominal menor a 75 kWt deberán cumplir con el límite máximo de emisión para material particulado y eficiencia que se indica en la Tabla 20 del mismo documento, y corresponde a 50 mg/m³N y 85% respectivamente. Todo lo cual debe ser acreditado por el propietario de la caldera a través del registro y la presentación de un certificado de emisiones del fabricante ante la Superintendencia de Medio Ambiente. Respecto a este punto, de acuerdo a los reportes de cumplimiento de las medidas del PDA Valdivia desarrollado por la Superintendencia de Medio Ambiente, se da cuenta de que no se han acreditado calderas ante el organismo entre los años 2018 y 2020. Esto puede deberse al desconocimiento de la medida por parte de los propietarios de estos equipos.

Dado que no existe el registro de la cantidad de calderas de calefacción en este rango de potencia se ha revisado el inventario de emisiones del año base 2017, el cual establece para la Región de Los Ríos, que un 0,8% del parque de calefactores corresponde a calderas a biomasa. Luego, a partir de la encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión, desarrollada en el marco de la presente actualización, fue posible determinar que el 0,9% de las viviendas encuestadas cuenta con una caldera de calefacción residencial a biomasa, concentrado principalmente en el distrito de Isla Teja, además de otras encontradas en un condominio específico en el sector de las Ánimas. Éste último condominio, cuenta con una cantidad cercana a las 100 viviendas de amplia superficie, y dadas las características es probable que un amplio porcentaje de éstas tenga una caldera de calefacción residencial. Considerando estos resultados, es posible extrapolar a partir de la encuesta la cantidad de calderas residenciales en los sectores encuestados. De esta manera se estima que, en el Distrito de Isla Teja, existirían unas 292 calderas residenciales, considerando que el 15% de los hogares encuestados declaró una caldera a biomasa. Luego, para el distrito las Ánimas la estimación indica la existencia de 120 calderas residenciales. En resumen, a partir de este método se podría estimar un total de 412 calderas. Es posible que el método sobreestime la cantidad de calderas calculadas, dado que este tipo de equipos se debe concentrar en sectores específicos del distrito en donde existen viviendas de mayor superficie que tienen mayores demandas de calefacción de un hogar promedio, y el método supone la extrapolación de acuerdo a la cantidad total de viviendas del distrito, sin embargo, representa una aproximación que emplea los resultados de la encuesta como instrumento válido de caracterización, además de presentar resultados acorde a las estimaciones anteriores en el área de estudio.

Una mejora para esta metodología sugiere que se realicen campañas específicas por parte de la autoridad ambiental, dado que ya se encuentran identificados los sectores en donde se utiliza este tipo de equipos. Estos sectores se pueden abordar en terreno, a fin de catastrar

de estos equipos, además de informar a los propietarios la obligación de registrar sus calderas y cumplir con los límites de emisión.

La Figura 4, presenta la ubicación referencial de los sectores en donde se concentra el uso de calderas de calefacción en el distrito Isla Teja (D02) y Las Ánimas (D04).

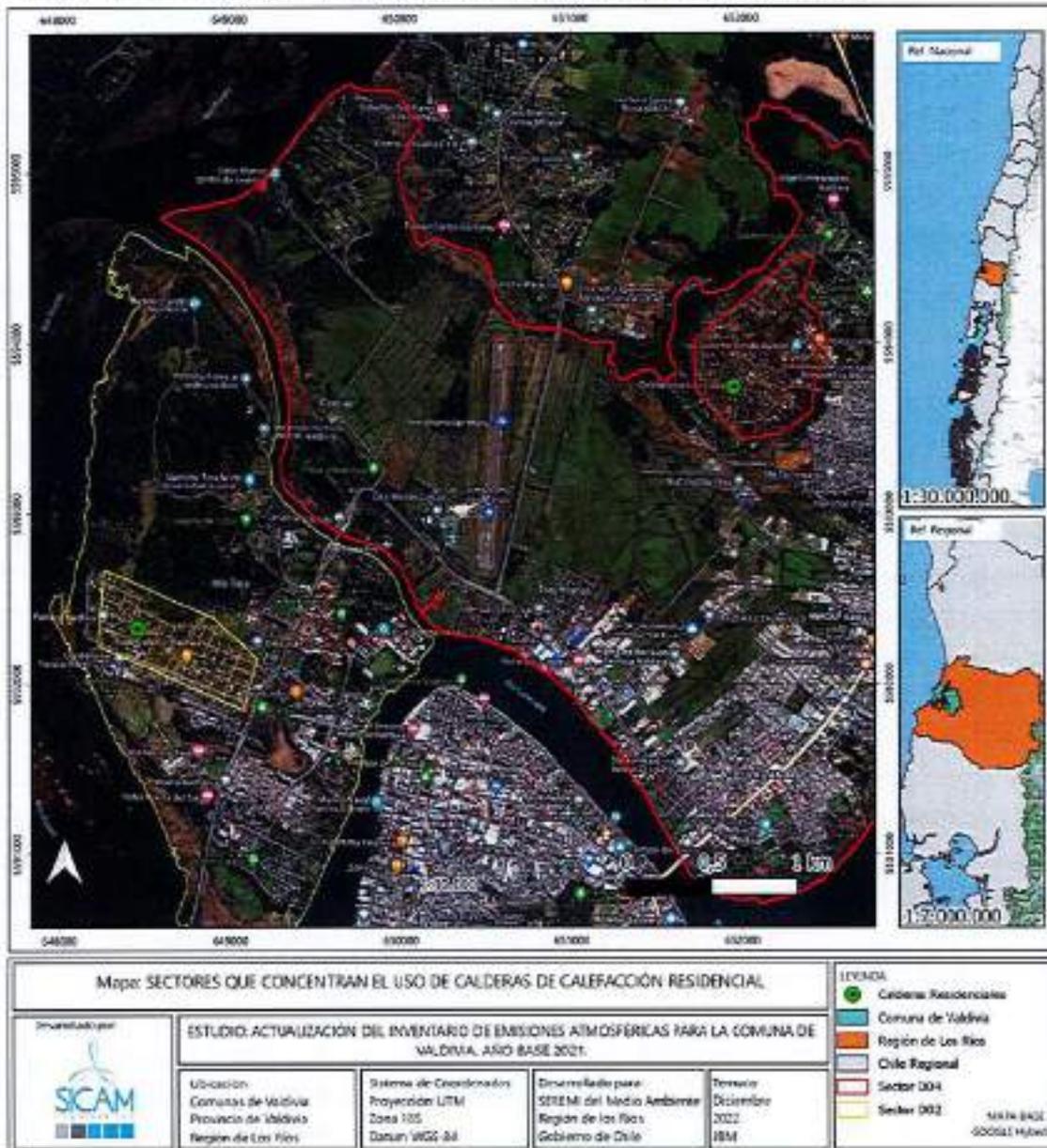


Figura 4. Mapa de ubicación de calderas residenciales en la comuna de Valdivia

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de la encuesta de encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión.

Los niveles de actividad estimados para las fuentes de calderas de calefacción se presentan en la Tabla 22 desagregados por tipo de combustible. Se observa un consumo de leña de 3.419 ton/año de leña, equivalente a 9.239 m³ de este combustible, empleando una densidad de 370 kg/m³.

Tabla 22. Consumo de combustible según tipo (ton/año)

COMBUSTIBLE	TOTAL
BIOMASA COMBUST.	4.115
BIOMASA COMBUST.	310
LEÑA	3.615
PELLET	190
GAS	110.905
GAS DE CAÑERÍA	0,03
GAS NATURAL	0,05
GLP	97.397
PROPANO	13.508
PETRÓLEO	1.007
PETRÓLEO DIESEL	999
PETRÓLEO N° 5	8

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las calderas de calefacción residencial, con la metodología antes expuesta, es posible determinar una aproximación del consumo de combustible, respecto a leña y pellet, alcanzando las 1.793 ton/año de biomasa combustible en su conjunto.

Tabla 23. Consumo de combustible según tipo (ton/año)

COMBUSTIBLE	N° DE CALDERAS RESIDENCIALES	CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO TOTAL	CONSUMO TOTAL (TON/AÑO)
LEÑA	124	21 m ³	2.596 m ³ /año	960
PELLET	288	2.886 kg	832.322 kg/año	832
TOTAL BIOMASA	412	-	-	1.793

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 CATASTRO DE EQUIPOS ELECTROGENOS

El registro de equipos electrógenos da cuenta que la mayoría de éstos se encuentran en fuentes de tipo comercial, y en categoría otros, que corresponde principalmente a la fuente de Aguas Décima con distintas instalaciones de tipo sanitaria. Sin embargo, los establecimientos de tipo industrial, aun cuando no son los más numerosos, son los que

presentan el mayor consumo de combustible. En total se estima un consumo de 370 ton/año de Petróleo diesel, equivalente a 441 m³/año, empleando una densidad de 840 kg/m³.

Tabla 24. Número de Equipos Electrogénos por Categoría y consumo de combustible

Rubro	N° de Fuentes	Consumo Combustible (Ton/año)
COMERCIAL	63	67
OTROS	35	5
INDUSTRIAL	31	277
SALUD	17	3
EDIFICIO	14	1
PÚBLICO	9	15
EDUCACIÓN	6	1
Total general	175	370

Fuente: Elaboración propia

2.3.6 CONSUMO DE COMBUSTIBLES

A continuación, en la Tabla 25 se presenta el resumen del consumo de combustibles según categoría de fuente, considerando biomasa, carbón bituminoso, gas y petróleo, para el año base 2021 de las fuentes presentes en la comuna de Valdivia.

Tabla 25. Resumen del consumo de combustible según fuente puntual (ton/año)

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	FUENTE	Consumo (ton/año)			
			BIOMASA COMBUSTIBLE	CARBÓN BITUMINOSO	GAS	PETRÓLEO
Combustión	Comb. Externa Puntual	Caldera de Calefacción	4.115		110.905	1.007
		Caldera Industrial	1.565	964	935	123
		Caldera Residencial	1.792			
	Comb. Interna	E. Electrogeno				370
	Subtotal Combustión			7.472	964	111.840
Proceso	Gen. de Energía	Turbina de generación				10.175
	Ind. Alimentaria y Agropecuaria	Panadería			500	16
		Procesamiento de grano				1
	Subtotal Proceso					500
Total fuentes puntuales			7.472	964	112.340	11.693

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los datos obtenidos, dan cuenta de la distribución del consumo de combustible según fuente de emisión, tal como se puede observar en la Figura 5. El gráfico indica que las calderas de calefacción representan el 55% del consumo de la biomasa combustible, alcanzando las 4.115 ton/año, de un total de 7.472 ton/año. Para el caso del carbón bituminoso, esta se encuentra representado únicamente por la caldera industrial de

Levaduras Collico, la cual a partir del año 2022 deja de funcionar, tal como se indicó en el punto 2.4.2 del presente informe. Respecto al gas, el 99% es consumido por las calderas de calefacción. Para el caso del petróleo, el mayor consumo está representado por las turbinas de generación eléctrica con el 87% del consumo correspondientes a fuentes de la Termoeléctrica Antilhue. Luego, las calderas de calefacción alcanzan un 9% del consumo de este combustible.

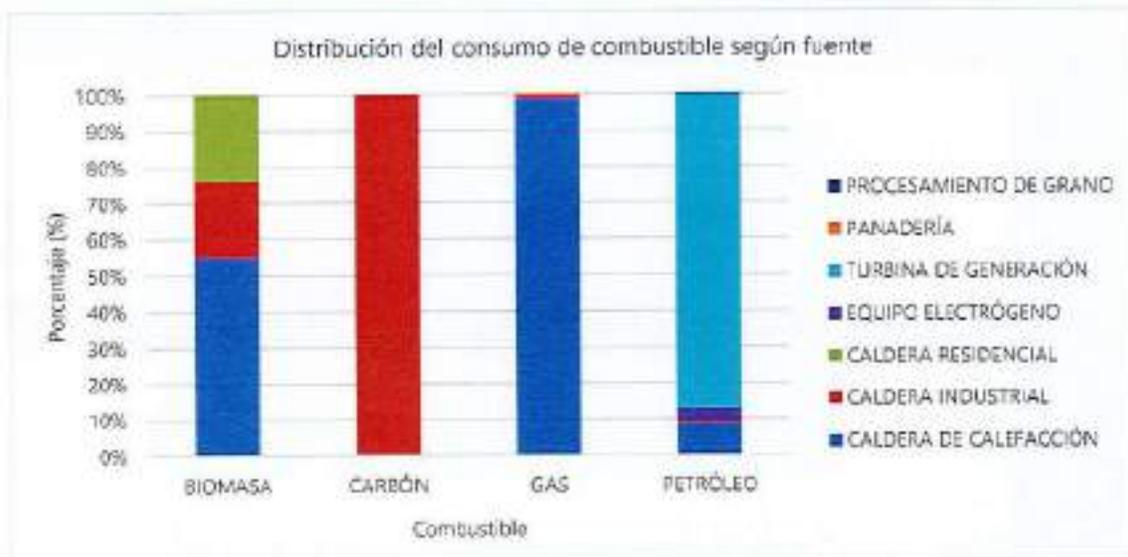


Figura 5. Distribución del consumo de combustible según fuente de emisión
Fuente: Elaboración propia

2.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la estimación de emisiones para fuentes puntuales, diferenciándose los totales parciales por categoría y tipo de fuente catastrada, en la Tabla 26 y Figura 6. El resultado indica que las fuentes puntuales en su conjunto emiten un total de 40,79 Ton/año de MP10 y 31,25 Ton/año de MP2,5 siendo las fuentes de mayor relevancia las calderas industriales, seguidas por las de calefacción, según se aprecia en la Figura 7 y 8 para MP10 y MP2,5 respectivamente. Los resultados en detalle se presentan en la base de datos para fuentes puntuales, contenida en el ANEXO 2. Fuentes Puntuales Valdivia 2021, que se adjunta como al presente informe.

Respecto a los otros contaminantes gaseosos, se observa que el NO_x se emite principalmente desde las calderas de calefacción y de las turbinas de generación eléctrica de la Central Antilhue, asociado principalmente al consumo de diesel, tal como se puede

observar en el gráfico de la Figura 9. Por otra parte, el SOx proviene principalmente de las calderas de tipo industrial, lo que se puede observar en la Figura 10.

Tabla 26 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Valdivia

Categoría	Subcategoría	Tipo Fuente	Emisiones por tipo de contaminante (Ton/Año)					
			MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera de Calefacción	17,08	15,13	0,75	91,74	75,54	0,49
		Caldera Industrial	15,90	9,18	23,54	47,96	13,03	2,70
		Caldera Residencial	5,28	4,45	0,06	1,22	11,05	0,19
		SubTotal Comb. Externa Puntual	38,26	28,76	24,35	140,92	99,62	3,39
	Combustión Interna	Equipo Electrogeno	1,20	1,16	0,92	26,82	6,43	1,46
		SubTotal Comb. Interna	1,20	1,16	0,92	26,82	6,43	1,46
Subtotal Combustión			39,46	29,92	25,27	167,74	106,05	4,85
Procesos	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías	0,10	0,10	0,00	1,81	0,75	0,05
		Procesamiento de Granos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		SubTotal Aliment y Agro.	0,10	0,10	0,00	1,82	0,75	0,05
	Generación de Energía	Turbinas de Generación eléctrica	1,24	1,24	0,25	75,27	0,62	0,08
		SubTotal Generación de Energía	1,24	1,24	0,25	75,27	0,62	0,08
	Subtotal Procesos			1,34	1,34	0,25	77,09	1,37
Total Fuentes Puntuales			40,79	31,25	25,51	244,82	107,42	4,97

Fuente: Elaboración propia

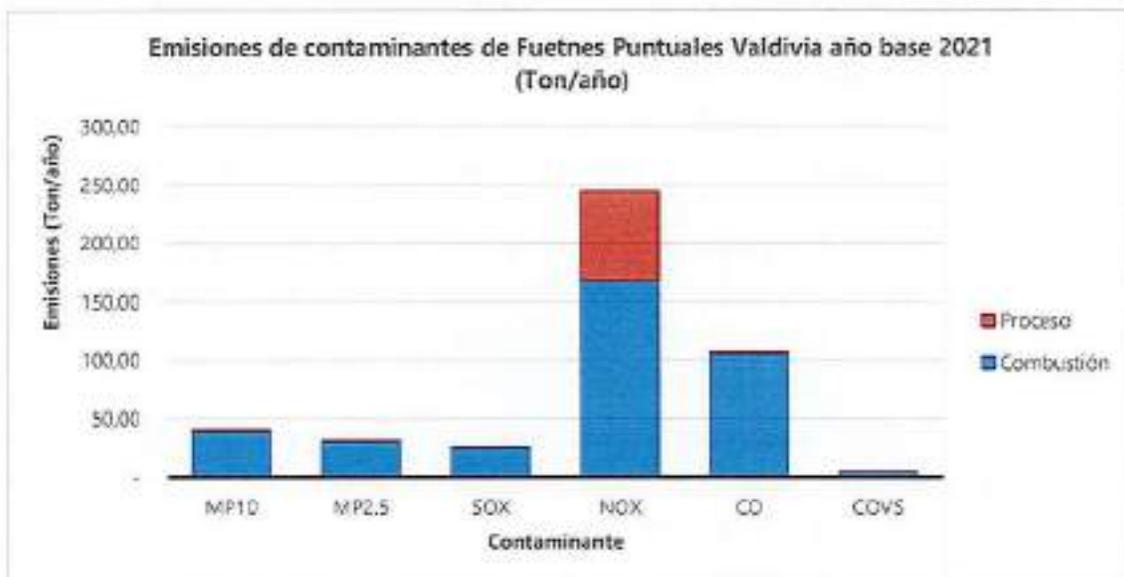


Figura 5. Emisiones totales por categoría Valdivia año base 2021

Fuente: Elaboración propia

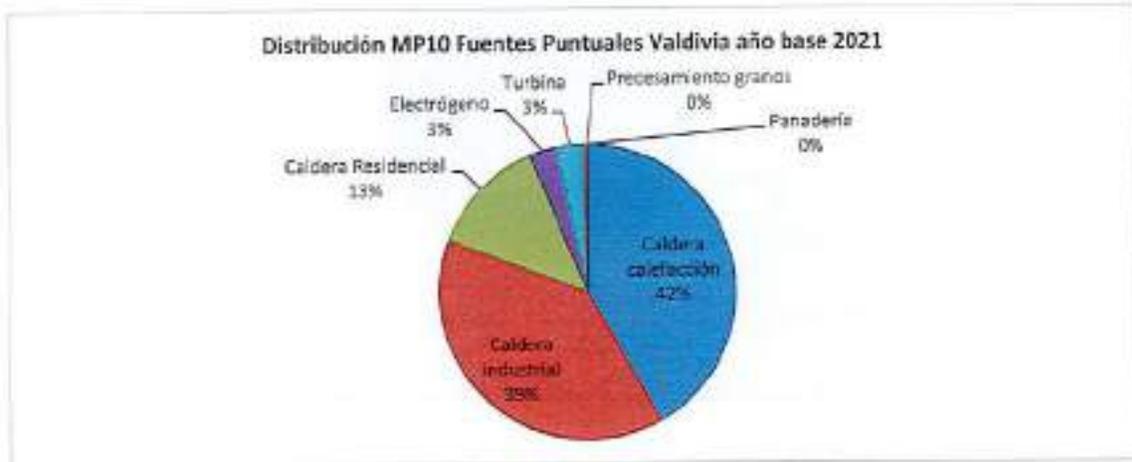


Figura 7. Distribución emisiones MP10 por tipología Valdivia año base 2021
Fuente: Elaboración propia

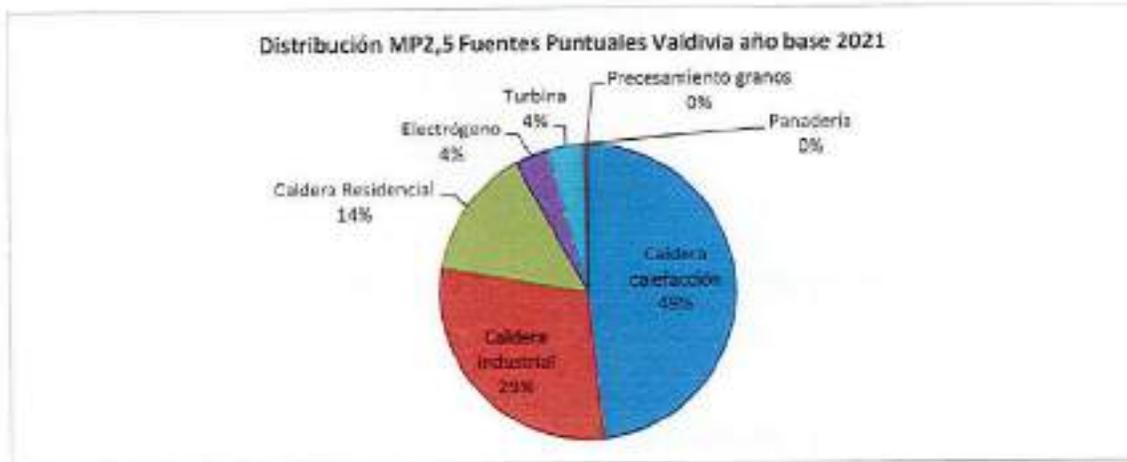


Figura 8. Distribución emisiones MP2,5 por tipología Valdivia año base 2021
Fuente: Elaboración propia

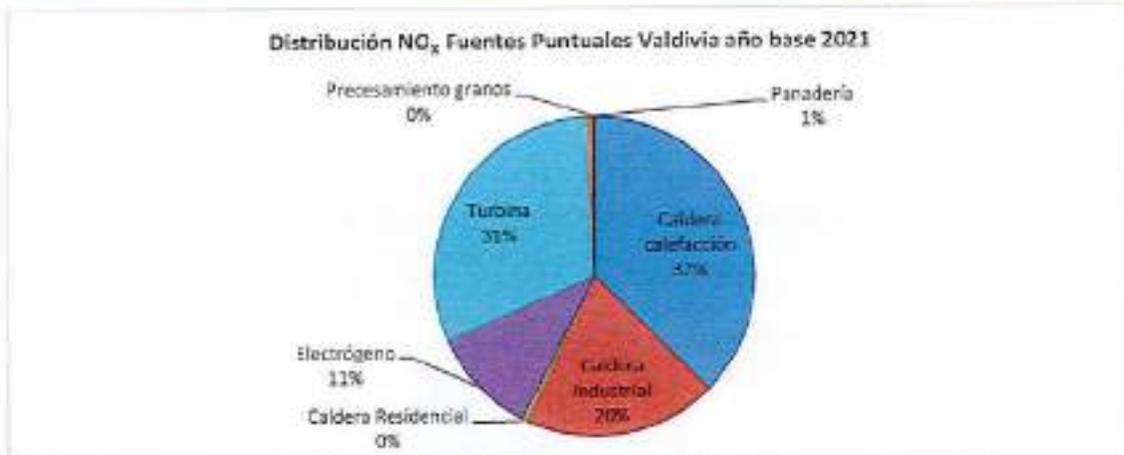


Figura 9. Distribución emisiones NO_x por tipología Valdivia año base 2021

Fuente: Elaboración propia

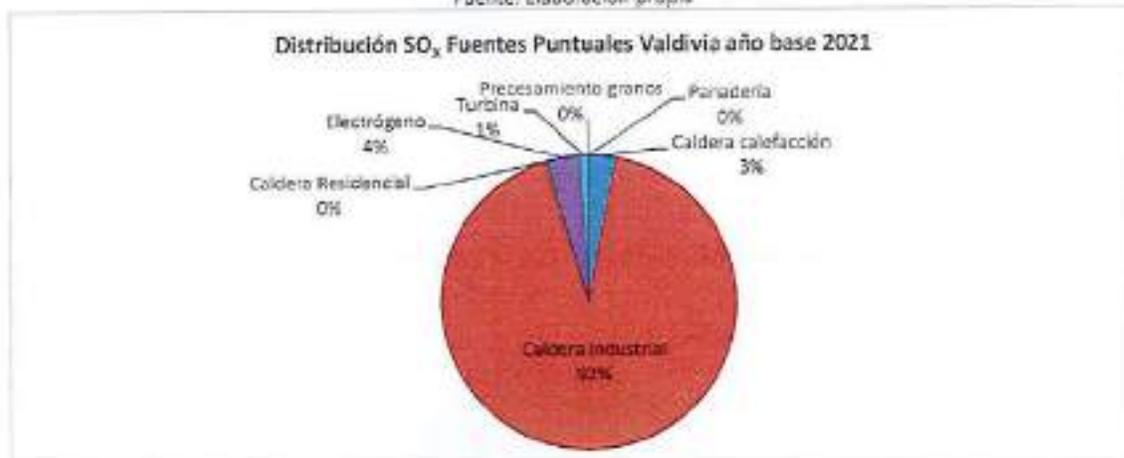


Figura 10. Distribución emisiones SO_x por tipología Valdivia año base 2021

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 RANKING DE PRINCIPALES EMISORES

A continuación, se presenta un ranking de los principales emisores, con énfasis en las fuentes: calderas industriales y calderas de calefacción, las cuales presentan el principal aporte dentro de los emisores puntuales. La Tabla 27 da cuenta de que el principal emisor corresponde Levaduras Collico, que aporta el 51% de las emisiones de fuentes puntuales, y Cartulinas CMPC Planta Valdivia, que anteriormente representaba la principal fuente de emisión se encuentra en el segundo puesto del ranking de emisores luego de realizar cambios en sus unidades de emisión al incorporar una caldera principal a biomasa con precipitador electrostático, sacando de funcionamiento una de las calderas a leña y dejando solo como respaldo una segunda caldera a leña, además de cambiar a gas una tercera

caldera que funcionaba a petróleo, de esta manera pasó de generar sobre las 100 ton/año de MP10 para el año base 2017, a solo 3,3 ton/año para el año base 2021, representando el 21% de las emisiones de fuentes puntuales. El resto de los 5 emisores con caldera industrial aportan el 29% de las emisiones de fuentes puntuales, en su conjunto. En total, las calderas de tipo industrial representan el 45% de las emisiones de MP10 de las fuentes estacionarias puntuales en la zona de estudio.

Tabla 27 . Ranking de principales emisores – Fuente: Calderas Industriales

FUENTE	EMISIÓN MP10 (TON/AÑO)	% EMISIÓN
LEVADURAS COLLICO SA	8,0	51%
CARTULINAS CMPC PLANTA VALDIVIA	3,3	21%
PACEL	2,7	17%
FRIVAL	1,7	11%
COMPAÑIA CERVECERA KUNSTMANN S.A.	0,1	1%
CLINICA ALEMANA VALDIVIA	0,1	0%
ISLA DEL REY	0,0	0%
TOTAL	15,9	100%

Fuente: Elaboración propia

Las calderas de calefacción que corresponden a 290 unidades representan el 42% de las emisiones de fuentes puntuales en su conjunto. Los principales emisores de esta fuente se presentan en la Tabla 28. Los primeros 10 establecimientos, que en su conjunto suman 48 calderas de calefacción representan el 63,3% de emisiones de esta fuente, luego, las 155 establecimientos restantes, con 242 calderas, se encuentran con emisión bajo las 0,5 ton/año de material particulado, representando en su conjunto el restante el 36,7% de las emisiones de calderas de calefacción.

Tabla 28 . Ranking de principales emisores – Fuente: Calderas de Calefacción

ESTABLECIMIENTO	N° DE CALDERAS	EMISIÓN MP10 (TON/AÑO)	EMISIÓN (%)
ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO DE VALDIVIA	7	4,5	26,2%
INSTITUTO ALEMÁN DE VALDIVIA	3	1,4	8,4%
PISCINA AQUA	4	1,2	7,1%
TURISMO DEL SUR S. A.	2	0,6	3,8%
CAMPUS ISLA TEJA	19	0,5	3,1%
SOCIEDAD INVERSIONES Y TURISMO ARICA LTDA.	1	0,5	3,1%
CAMPUS MIRAFLORES	5	0,5	3,1%
HOTEL MELILLANCA	3	0,5	2,9%
FRIVAL	2	0,5	2,8%
MOTELES KM 8	2	0,5	2,8%
OTROS (155 ESTABLECIMIENTOS)	242	< 0,5	36,7%

TOTAL	290	17,1	100%
--------------	------------	-------------	-------------

* Categoría "otros" considera 155 fuentes con tasas de emisión menores a 0,5 ton/año

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 CUMPLIMIENTO PDA VALDIVIA

El PDA Valdivia establece, en el Capítulo III: Control de emisiones al aire de calderas y otras fuentes emisoras, límites de emisión MP y SO₂ para fuentes puntuales, según el año de inicio de su operación, el tipo de combustible y el rango de potencia térmica.

Los límites establecidos en el PDA Valdivia para la emisión de MP (Art. 34 y Art. 35) y SO₂ (Art. 36), se indican a continuación en la Tabla 29 y Tabla 30, y se especifican para calderas existentes, esto es, aquella caldera que se encuentra operando a la fecha de entrada en vigencia del PDA (junio de 2017) o aquella que entrara en operación dentro de los 12 meses siguientes a dicha fecha, es decir, junio 2018. Y también para calderas nuevas, que corresponde a aquella que entra en operación desde junio de 2018 en adelante. El artículo 37 establece además que, para dar cumplimiento a los artículos 35 y 36 del PDA Valdivia las calderas con potencia térmica nominal superior a 20 MWt deben instalar y validar un sistema de monitoreo continuo de emisiones para material particulado y SO₂.

Tabla 29 . Límites de emisión de MP establecidos en PDA Valdivia

Potencia Térmica de la caldera	Límite Máximo de MP (mg/m ³ N)		Eficiencia (%)
	Caldera Existente	Caldera Nueva	
Menor a 75 kWt	--	50	≥85
75 kWt – 1 MWt	--	50	--
1 MWt – 20 MWt	50	30	--
Mayor a 20 MWt	30	30	--

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 20 y Tabla 21 PDA Valdivia.

Tabla 30 . Límites de emisión de SO₂ establecidos en PDA Valdivia

Potencia Térmica de la caldera	Límite Máximo de SO ₂ (mg/m ³ N)		
	Caldera Nueva	Caldera Existente	
		Desde enero 2019	Desde enero 2023
3 MWt – 20 MWt	400	--	--
Mayor a 20 MWt	200	600	400

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 22 y Tabla 23 PDA Valdivia.

En este sentido, de la revisión de las calderas catastradas mediante la actualización del inventario de emisiones, se identifican 3 calderas que se encuentran en la categoría de fuente nueva, correspondiente a la Caldera Industrial de Cartulinas CMPC Marca KPA Unicon Oy, a Biomasa, año de fabricación 2017 y con año de entrada en funcionamiento 2019. Esta fuente

tiene una potencia térmica nominal de 21,83 MWt, por lo que debe cumplir el límite de emisión de 30 mg/m³N de MP y 200 mg/m³N de SO₂.

Además, encontramos 2 calderas de la empresa FRIVAL, una que funciona a gas y la otra a pellet, con potencias de 263 kWt y 1,576 MWt respectivamente. En este caso, solo la caldera a pellet debería cumplir con los límites de emisión de MP establecidos en la categoría caldera nueva mayor con potencia entre 1 y 20 MWt, quedando fuera de la regulación para SO₂. En el caso de la caldera a gas, se excluye del límite de emisión para ambos contaminantes por utilizar un combustible gaseoso.

Tabla 31 . Calderas nuevas sujetas a regulación del PDA Valdivia

Fuente	Regulación según PDA	Plazo de cumplimiento	Estado de cumplimiento
Cartulinas CMPC Caldera a leña KPA Potencia: 21,83 MWt	Límite de MP: 30 mg/m ³ N Límite de SO ₂ : 200 mg/m ³ N	Desde su operación (año 2019)	Cumple MP (6,95 mg/m ³ N, medición 2021). Cumple SO₂ (25 mg/m ³ N, medición 2019). Empresa cuenta con sistema de monitoreo continuo de emisiones (CEMs), dando cumplimiento al artículo 37 del PDA.
FRIVAL Caldera a pellet Potencia 1,576 MWt	Límite de MP: 30 mg/m ³ N	Desde su operación (año 2020)	La empresa no presenta informe de medición isocinética para esta fuente.
FRIVAL Caldera a gas Potencia 263 kWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde su operación (año 2020)	Fuente exenta de verificar el cumplimiento por utilizar un combustible gaseoso en forma permanente.

De las unidades de emisión existentes, tenemos 299 fuentes (calderas de calefacción y calderas industriales), de las cuales 101 se encuentran en el rango de menor a 75 kWt. Luego, 192 se encuentran en el rango de 75 kWt a 1 MWt, por lo tanto, quedarían fuera de la regulación. Se encuentra dos calderas con potencia sobre 1 MWt que están sujetas a la regulación, correspondientes al Hospital de Valdivia y FRIVAL. El estado de cumplimiento de estas fuentes se presenta a continuación en la Tabla 32.

Tabla 32 . Calderas existentes sujetas a regulación del PDA Valdivia

Fuente	Regulación según PDA	Plazo de cumplimiento	Estado de cumplimiento
--------	----------------------	-----------------------	------------------------

Calderas existentes <75 kWt: 101 calderas	--	--	Fuera de la regulación
Calderas existentes 75 kWt – 1 MWt: 186 calderas	--	--	Fuera de la regulación
Hospital Valdivia Caldera a gas Potencia 3,6 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	Fuente exenta de verificar el cumplimiento por utilizar un combustible gaseoso en forma permanente.
COMPANIA CERVECERA KUNSTMANN S.A. Caldera a gas Potencia 1,0 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	Fuente exenta de verificar el cumplimiento por utilizar un combustible gaseoso en forma permanente.
Cartulinas CMPC Caldera a leña Escocesa Mixta Potencia: 12,9 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	Fuente sin funcionamiento, solo de respaldo.
Cartulinas CMPC Caldera Petróleo Escocesa Potencia: 10,7 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	Fuente exenta de verificar el cumplimiento por utilizar un combustible gaseoso en forma permanente. Cambió de combustible petróleo a gas a fines de 2021.
Levaduras Collico Caldera a Carbón Potencia: 1,6 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	Fuente exenta de verificar el cumplimiento dado que salió de funcionamiento a fines de 2021.
FRIVAL Caldera a leña Potencia 4,3 MWt	Límite de MP: 50 mg/m ³ N	Desde junio 2020	La empresa no presenta informe de medición isocinética para esta fuente.

El análisis del cumplimiento de la regulación establecida en el PDA de Valdivia para las fuentes puntuales indica que existen 3 fuentes que deben cumplir con límites de emisión, correspondiente a la Caldera a leña de Cartulinas CMPC, como caldera nueva, la cual cumple con los límites establecidos para MP y SO₂ (Art. 35 y Art. 36) y cumple con la instalación del sistema de monitoreo continuo (Art. 37). Además de la empresa FRIVAL, respecto a su caldera a pellet (fuente nueva potencia 1,576 MWt) y la caldera a biomasa (fuente existente potencia 4,3 MWt), las cuales no cuentan con medición isocinética disponible, tras solicitar directamente a la empresa, quienes remitieron las emisiones calculadas con factor de emisión, se revisó además el expediente de fiscalizaciones de la SMA, la cual tampoco da cuenta de mediciones isocinéticas para esta fuente, por lo que podría concluirse que se encuentran en incumplimiento.

2.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FUENTES PUNTUALES

Las fuentes puntuales catastradas para la presente actualización fueron georreferenciadas y distribuidas según atributos en el área de estudio. Los archivos en formato KMZ y SHP se

presentan en Anexo 3. Georreferenciación Fuentes Puntuales, adjunto al Informe. De esta manera, la Figura 11 presenta la distribución espacial de las fuentes, pudiendo observarse que casi la totalidad se concentran en el área urbana de la comuna de Valdivia. Luego la Figura 12 presenta la distribución de las fuentes puntuales según categoría, enfocándose al área urbana donde se encuentra la mayor cantidad de fuentes. Se identifican con etiqueta las fuentes más relevantes del área de estudio. Finalmente, la Figura 13 presente la distribución de fuentes según el nivel de emisión de MP10 como referencia, para el contaminante MP2,5 el resultado es similar en cuanto a distribución.



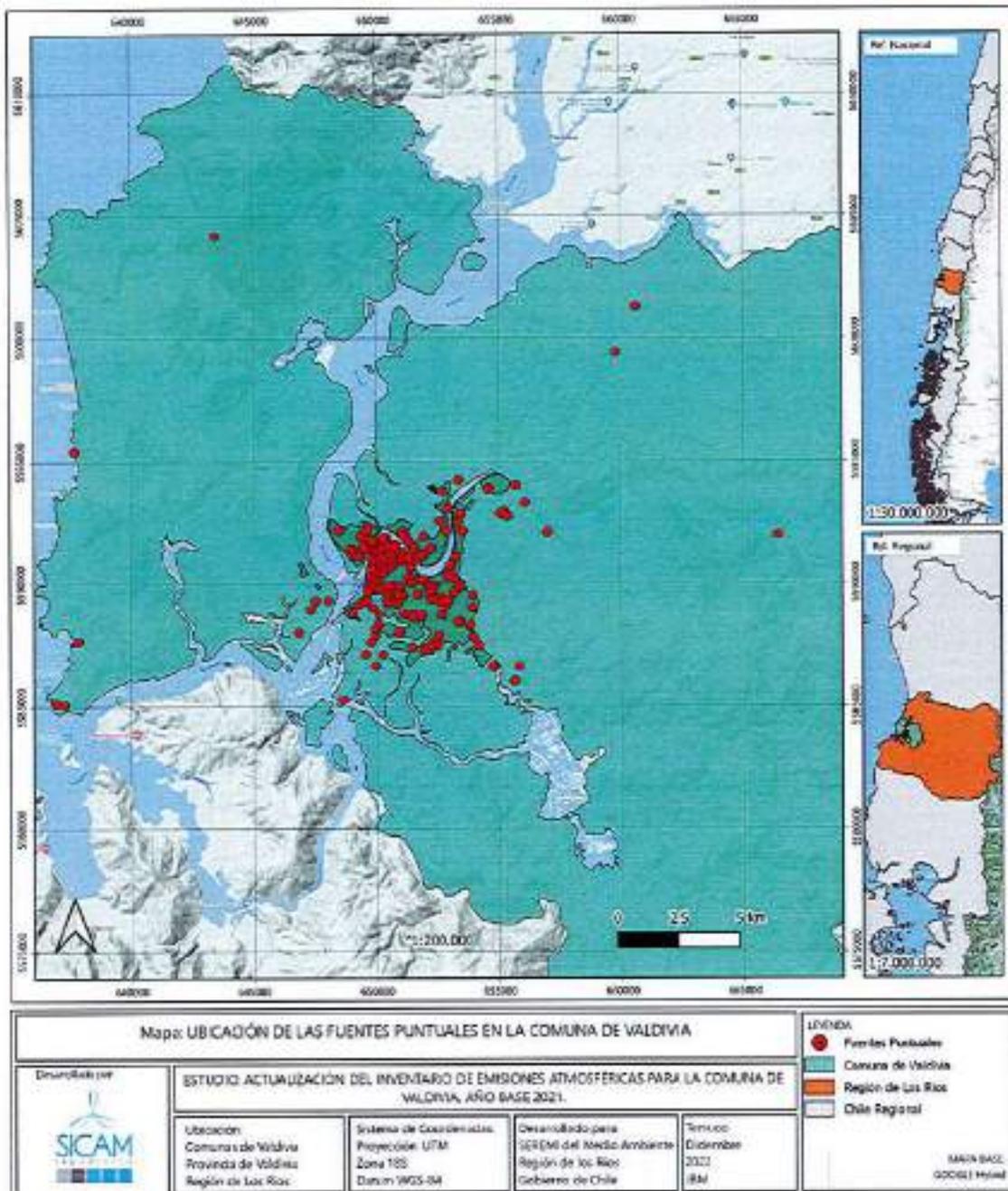


Figura 11. Ubicación de las fuentes puntuales en la comuna de Valdivia

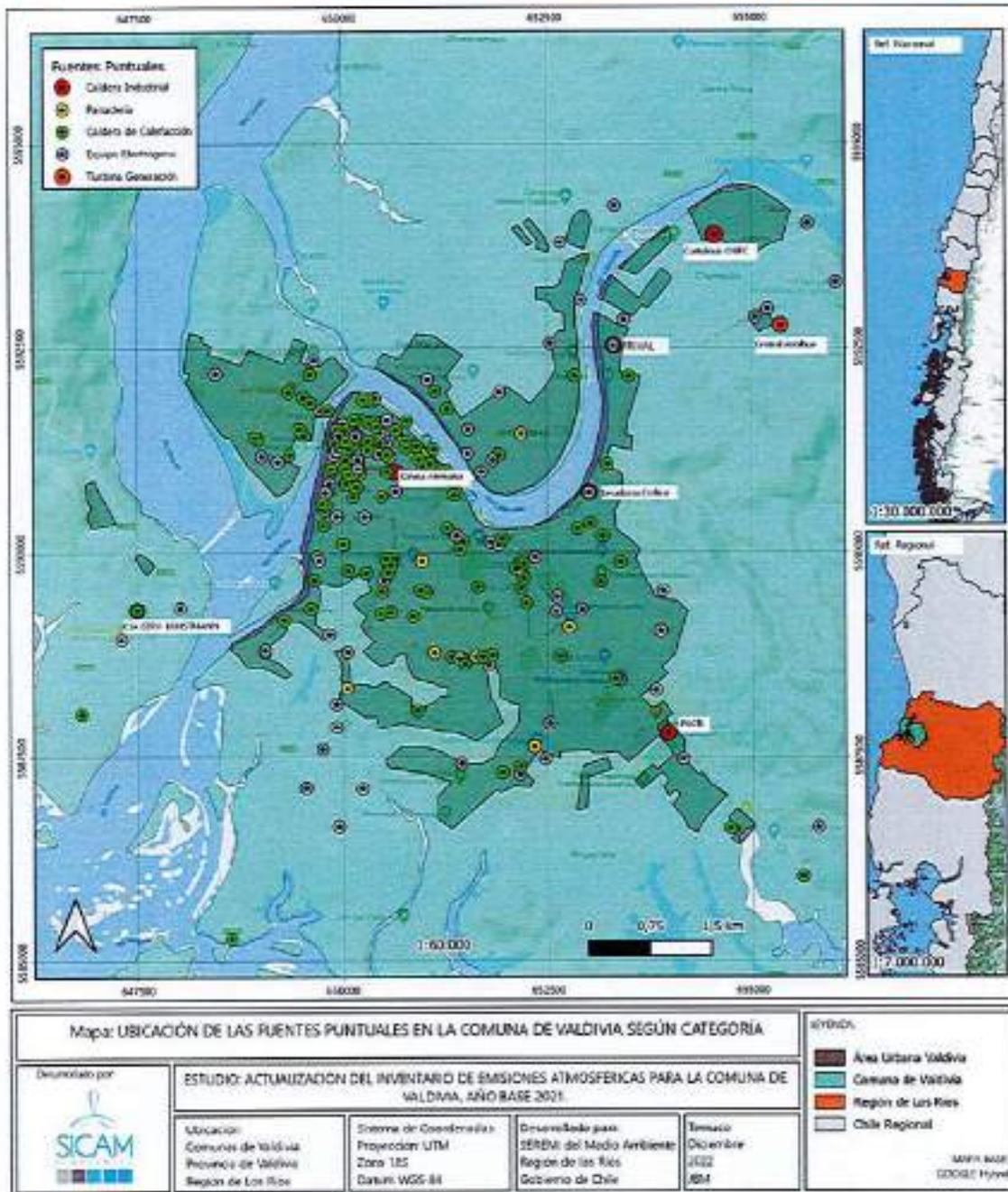


Figura 12. Ubicación de las fuentes puntuales según categoría

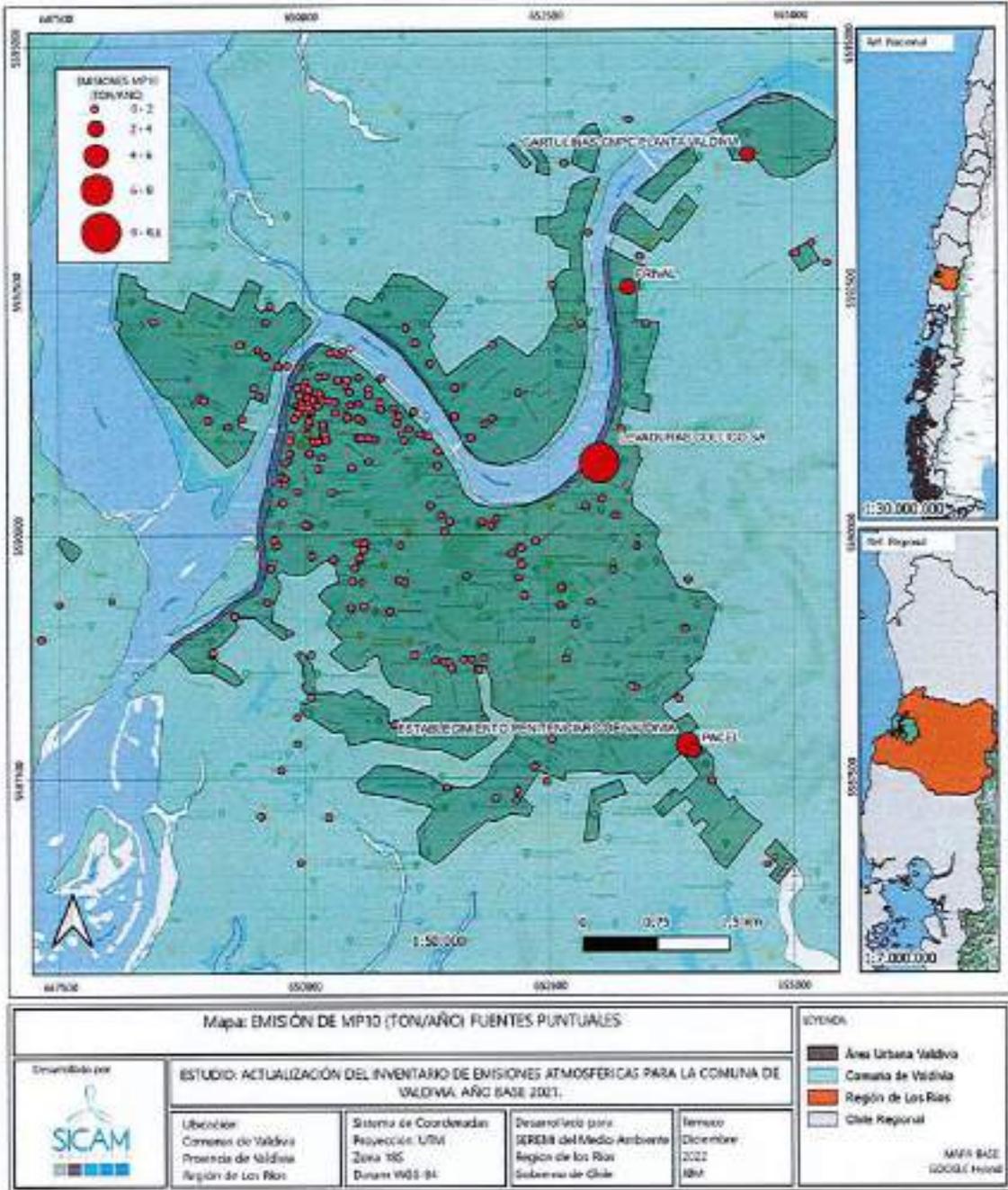


Figura 13. Distribución de fuentes puntuales según emisión de MP10

FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA



3 FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

La combustión residencial de leña y los diferentes aspectos involucrados con esta práctica representan las variables más importantes para la estimación de emisiones atmosféricas en ciudades del sur de Chile. Esto ha quedado de manifiesto en todos los inventarios desarrollados a la fecha en las ciudades ubicadas desde la Región Metropolitana al sur del país.

3.1 ANTECEDENTES GENERALES COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Factores que inciden en las emisiones

Las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña son muy variables y dependen de muchos factores. La experiencia y la evidencia disponible señalan que los factores más determinantes en la generación de elevadas tasas de emisión de contaminantes a partir de la combustión residencial de leña son las características de la leña, los equipos de combustión y las prácticas operativas por parte de los usuarios. En relación a esto:

- **Características de la leña:** Las características del combustible empleado es una variable crítica en la generación de emisiones. Respecto a la leña utilizada en los artefactos de combustión residencial, resulta relevante: el contenido de humedad, y la carga de la leña introducida en la caja de fuego. Esto quedó demostrado en los ensayos realizados en Suiza, a un calefactor residencial de fabricación chilena, donde se muestra que las emisiones aumentan hasta 60 veces, al pasar de una operación ideal (que considera leña seca), y una operación típica (que considera leña con mayor contenido de humedad, y uso de palos más grandes que ocupan mayor espacio dentro de la caja de fuego) [17].
- **Equipos de combustión:** las diferencias de diseño de los equipos de combustión de leña impactan de manera significativa en la calidad del proceso de combustión, y con ello, la cantidad de emisiones generadas. Así, las tecnologías más ineficientes, exhiben diseños que no disponen mecanismo de control de ingreso de aire de combustión, o en su defecto, facilitan una operación que impide configurar las condiciones óptimas que permitan alcanzar una relación adecuada de aire-combustible, desfavoreciendo el proceso de combustión e incrementando las emisiones. Por otra parte, las tecnologías más desarrolladas, resultan ser más eficientes en cuanto a la obtención y entrega de energía, así como en la reducción de emisiones contaminantes.

- **Prácticas operativas:** Una velocidad de combustión lenta y una baja intensidad de la llama repercute en mayores emisiones. De esta manera, las prácticas inducidas por los usuarios tales como "cerrar el tiraje" (restringir el ingreso de aire de combustión), o "sobrecargar la cámara de combustión o cargar troncos grandes" (reducir la turbulencia en la mezcla aire-combustible), redundará en el aumento de las emisiones contaminantes. La combustión de elementos ajenos (plástico, residuos, ropa, etc.), favorecerá, además de la formación de creosota y riesgos de inflamación, el incremento de las emisiones. Por otro lado, se tiene que las condiciones que promueven una velocidad de combustión rápida y la destrucción de la materia volátil, desprendida en las primeras fases del proceso de combustión, repercuten en menores tasas de emisión de contaminantes [18]

Consumo de leña en la comuna de Valdivia

Existen antecedentes respecto al consumo de leña en la comuna de Valdivia, según se ha determinado en el inventario de emisiones atmosféricas para el año base 2013 [7] a partir de una encuesta de caracterización de leña y uso de artefactos. Luego, en el inventario nacional [8] se determina el consumo de leña a partir de los resultados del estudio "Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera" realizado por la CDT para el Ministerio de Energía [19], en dicho estudio se presentan los consumos de leña para el año base 2015 y proyectado al año 2017 a nivel regional considerando las regiones: Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, Maule, Biobío, Ñuble, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Con estos antecedentes se observa que al año base 2013, el consumo anual de leña en el área urbana de la comuna de Valdivia corresponde a 391.613 m³, mientras que al año base 2017 se estima un consumo anual de 573.451 m³.

Por otra parte, se han realizado estudios específicos para la comuna de Valdivia, respecto a consumo de leña, como el desarrollado por el Sistema Nacional de Certificación de Leña a través de ACOVAL (Asociación de consumidores de Valdivia), el año 2020 [20], cuyo objetivo fue conocer los hábitos y conductas en torno a la adquisición y uso de leña en los hogares de Valdivia, así como posibles impactos de la pandemia de COVID-19. Se aplicaron 300 encuestas según distrito y los resultados indican que el 97% de los hogares utiliza leña como combustible para calefacción, con un consumo promedio de 9,3 m³st.

3.1.1 ALCANCES METODOLÓGICOS

La metodología de estimación de emisiones propuesta sigue la estructura sugerida en las diversas fuentes de referencia, manteniendo por defecto la estructura de los inventarios desarrollados previamente en el área de estudio, basados en la siguiente ecuación.

$$E_i = FE_{ij} \times NA_j \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

E_i : Emisiones del contaminante i en estudio (Ton/año)

FE_{ij} : Factor de emisión del contaminante i para un artefacto del tipo j (Ton/kg leña)

NA_j : Nivel de actividad, definido como el consumo anual de leña del artefacto j (kg leña/año)

Para la estimación de emisiones, inciden diversas variables que deben ser determinadas previamente, relacionadas tanto con nivel de actividad como con el factor de emisión adecuado para la estimación. Es así que el nivel de actividad está determinado por la penetración de la leña como combustible para calefacción residencial, el nivel de consumo de leña, la especie que se utiliza, además de las características de aislación térmica de la vivienda. En tanto, para el factor de emisión inciden variables como el tipo de artefacto, el tipo de operación y la humedad de la leña. Todas estas consideraciones deben verse reflejadas en la estimación de emisiones derivadas de esta fuente.

Por tal motivo, el énfasis para la estimación de emisiones se concentra en la aplicación de las metodologías específicas para caracterizar los niveles de actividad y determinación de los factores de emisión en la comuna de Valdivia. Para el presente estudio, la metodología considera:

1. Aplicación de una encuesta residencial, con características de representatividad estadística, con la cual se puede determinar:
 - Consumo total de leña en el área de estudio (Ton/año), y distribuida según nivel distrital.
 - Caracterización del tipo de artefactos de combustión residencial de leña, y su distribución en el área de estudio.
 - Identificación de los perfiles de uso de los equipos de combustión, según intensidad, modos de operación, y su variabilidad estacional.
2. Determinación de la humedad de la leña: En base a una campaña de medición exploratoria de humedad de leña en una fracción de las viviendas encuestadas, según el punto anterior.
 - Mediante metodología de muestreo adaptada a viviendas residenciales, mediante el uso de Xilohigrómetro Delmhorst RDM3.

3. Análisis de estadísticas demográficas que permite expandir los resultados de la encuesta. Se consideran los siguientes elementos:
 - Distribución de población y viviendas urbanas en la comuna de Valdivia, estableciendo la evolución que ha tenido en los últimos años.
 - Distribución del tipo de viviendas presentes en el área de estudio.

4. Análisis de Información referente a regulaciones de índole nacional y local: que entrega antecedentes para realizar la proyección de emisiones según los escenarios de evaluación requeridos. En este aspecto, se considera:
 - Desarrollo y uso de nuevas tecnologías de combustión residencial de leña.
 - Establecimiento de periodos de restricción al uso de leña.
 - Regulaciones referidas al aislamiento térmico de viviendas, que permite disminuir el consumo de leña.
 - Establecimiento de programas de sensibilización y educación ambiental.
 - Sustitución o recambio de tecnologías de combustión de leña, por otras más eficientes y menos contaminantes.
 - Prohibición al uso de tecnologías específicas, tales como chimeneas de hogar abierto, y restricción de tecnologías específicas durante episodios de contaminación (GEC).

Este es un factor determinante a la hora de proyectar las emisiones, por cuanto permite construir escenarios futuros de manera más representativa.

3.1.2 FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión son, junto a los niveles de actividad (asociado básicamente al consumo de leña), las principales variables a considerar en el desarrollo de un inventario de emisiones, y de su calidad y representatividad dependerán en buena medida los resultados que se obtengan. Así, un factor de emisión que no represente fielmente las condiciones reales del proceso de combustión residencial de leña de un área determinada podrá generar problemas de incertidumbre de la estimación, ya que los resultados pudiesen ser ampliamente subestimados o sobrestimados.

En el contexto de la actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, para el año base 2013 [21], el consultor a cargo, SICAM INGENIERÍA, desarrolló el Anexo "Recopilación y selección de factores de emisión para su aplicación representativa en inventarios de emisión de la fuente combustión residencial de leña", en el cual se presenta una completa propuesta de factores de emisión (FE) a utilizar para estimar las emisiones de la fuente combustión residencial de leña, y que más tarde sería utilizada en los inventarios

desarrollados para la comuna de Valdivia, en la región de Los Ríos [7], las comunas de Concepción Metropolitano, en la región del Biobío [22] y las comunas del Valle Central, en la región de O'Higgins [23], en Temuco y Padre Las Casas, en la región de la Araucanía año base 2017 [24] y 2020 [25], además de ser considerado en el "Manual para el Desarrollo de Inventarios" encargado por el Ministerio de Medio Ambiente [14]

Para el presente estudio, se considera el uso de los FE indicados en dicha propuesta, lo cual obedece entre otros aspectos, a lo siguiente:

- Corresponde a FE validados por el Ministerio de Medio Ambiente, luego de su aplicación en diversos inventarios de emisión, y su inclusión en el Manual para el desarrollo de inventarios en Chile.
- No existen nuevos antecedentes que permitan actualizar alguno de los FE considerados en la propuesta.
- Mantener los mismos FE utilizados en la actualización anterior, de manera tal de no agregar confundentes al análisis de resultados.

A continuación, en la Tabla 33 y Tabla 34, se muestran los FE de MP10 y MP2.5, respectivamente, propuestos por SICAM Ingeniería para aplicar en la presente actualización del inventario de emisiones. Los FE para CO, NO_x, SO₂ y COVs.

Luego, en el Anexo 4, se adjunta el documento "Recopilación y selección de factores de emisión para su aplicación representativa en inventarios de emisión de la fuente combustión residencial de leña", donde se desarrolla de manera extensa un análisis de los FE propuestos, incluidos aquellos correspondientes a CO, NO_x, SO₂ y COVs.

Tabla 33. F.E. de MP10 para combustión residencial de leña (g MP10/kg neto de leña).

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	7,5 ¹	13,9 ¹	33,8 ²
Combustión lenta S/T	6,2 ¹	11,8 ¹	45,8 ³
Combustión lenta C/T	5,2 ¹	11,0 ¹	29,5 ⁴
Salamandra	12,7 ¹	28,5 ¹	-
Chimenea	10,1 ⁵	28,5 ⁶	-
Calefactor certificado	2,5 ⁷	11,0 ⁸	11,0 ⁴
Nueva Tecnología	2,1 ⁹	5,5 ¹⁰	8,9 ¹⁰
Calefactor a pellet	1,9 ¹¹	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

1. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base al análisis de los resultados obtenidos a partir del proyecto FONDEF D0811147, ejecutado por la UCT. Se obtuvieron valores ponderados para las distintas especies utilizadas, alineados con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional.

y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según especies de leña.

2. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a la experiencia desarrollada por sus profesionales, a través de mediciones realizadas *in situ*, y en laboratorio. Corresponde a una condición típica de las cocinas a leña, obtenida cuando se utiliza el horno para efectos de cocción de alimentos.
3. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir del análisis de resultados presentados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT, para un calefactor sin templador proveniente del programa de recambio de Coyhaique (previo a su chatarrización), operado con ingreso de aire completamente cerrado. El F.E. propuesto está en sintonía con resultados obtenidos en otros ensayos a nivel local e internacional, y coherentes con antecedentes bibliográficos internacionales en torno a la variación de emisiones según esta condición de mala operación.
4. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Seleccionado de los resultados asociados a un ensayo realizado en el Laboratorio de emisiones de la UCT a un artefacto usado proveniente del Programa de Recambio de Calefactores de la ciudad de Coyhaique, del año 2011.
5. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a resultados obtenidos en Laboratorio de Emisiones de la UCT, mediante mediciones realizadas a un artefacto tipo calefactor, pero que por adaptaciones realizadas después de años de uso, se opera como artefacto de hogar abierto, sin control de aire de combustión.
6. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para Salamandras, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
7. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida en base a los resultados de medición aproximados reportados por el Laboratorio DIRIGOLAB de EEUU, para la medición de un calefactor con templador (Amesti), en instancias que dicho modelo de calefactor estaba siendo sometido a certificación en Chile, y en el contexto de una evaluación del artefacto asociado a su funcionamiento con y sin el uso de un filtro catalítico.
8. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Corresponde al valor propuesto para calefactores C/T, ya que se sugiere que el comportamiento es similar en las condiciones señaladas.
9. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos realizados a un prototipo desarrollado por la industria local (réplica de calefactor SIRIUS). De igual manera, resultados similares fueron reportados por el Laboratorio DIRIGOLAB de EEUU, para la medición de un calefactor con templador (Amesti) que fue operado con un dispositivo catalítico instalado al inicio del cañón (Ecofiltro).
10. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA. Definido a partir de la experiencia del equipo profesional a cargo del estudio. En particular se consideraron los resultados de abatimiento de emisiones (% de reducción) obtenidas de mediciones realizadas en calefactores a leña que utilizan filtro catalítico (Ecofiltro), bajo las condiciones señaladas.
11. Corresponden a una propuesta de F.E. de SICAM INGENIERÍA, definida a partir de resultados de medición reportados por el Laboratorio de Emisiones de la UCT para ensayos a un calefactor a pellet importado y comercializado por una empresa de Temuco, y operada con pellet producido y comercializado en Chile. Al respecto, se debe destacar que esta corresponde a ensayos preliminares de un artefacto importado desde China, cuya calidad pudiese no representar los mejores atributos de esta tecnología.

Tabla 34. F.E. de MP2,5¹ para combustión residencial de leña (g MP2,5/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	7,0	13,0	31,5
Combustión lenta S/T	5,8	11,0	42,6
Combustión lenta C/T	4,9	10,2	27,5
Salamandra	11,8	34,1	*

Chimenea	9,2	26,6	-
Calefactor certificado	2,3	10,2	10,2
Nueva Tecnología	2,0	5,1	8,2
Calefactor a pellet	1,8	-	-

¹ Se considera que el 93,1% de las emisiones de MP10 corresponden a MP2,5.

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Tabla 35. F.E. de CO para combustión residencial de leña (g CO/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	305,4	444,7	1.139,7
Combustión lenta S/T	207,1	443,1	584,7
Combustión lenta C/T	129,1	238,5	400,8
Salamandra	309,9	464,1	-
Chimenea	126,3	401,0	-
Calefactor certificado	90,0	238,5	238,5
Nueva Tecnología	10,0	71,6	120,2
Calefactor a pellet	-	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Tabla 36. F.E. de NOx para combustión residencial de leña (g NOx/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	2,1	2,7	2,7
Combustión lenta S/T	2,0	3,0	3,0
Combustión lenta C/T	1,9	2,0	2,0
Salamandra	7,7	3,1	-
Chimenea	1,3	1,3	-
Calefactor certificado	1,9	2,0	5,3
Nueva Tecnología	1,9	2,0	5,3
Calefactor a pellet	-	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Tabla 37. F.E. de SO₂ para combustión residencial de leña (g SO₂/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	0,2	0,2	0,2
Combustión lenta S/T	0,1	0,0	0,2
Combustión lenta C/T	0,1	0,0	0,0
Salamandra	0,2	0,2	-
Chimenea	0,2	0,2	-
Calefactor certificado	0,1	0,0	0,0
Nueva Tecnología	0,1	0,0	0,0
Calefactor a pellet	-	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Tabla 38. F.E. de COVs para combustión residencial de leña (g COVs/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	114,5	363,5	1.033,2
Combustión lenta S/T	26,5	84,1	241,2
Combustión lenta C/T	26,5	84,1	241,2
Salamandra	114,5	363,5	-
Chimenea	114,5	363,5	-
Calefactor certificado	26,5	84,1	241,2
Nueva Tecnología	26,5	84,1	241,2
Calefactor a pellet	-	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Tabla 39. F.E. de HAPs para combustión residencial de leña (g HAPs/kg neto de leña)

Tipo de artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Cocina a leña	1,1	1,6	1,6
Combustión lenta S/T	0,0	16,3	16,3
Combustión lenta C/T	0,3	14,6	14,6
Salamandra	2,0	1,6	-
Chimenea	2,0	1,6	-
Calefactor certificado	0,3	14,6	14,6
Nueva Tecnología	0,3	14,6	14,6
Calefactor a pellet	-	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014 [21].

Carbono negro

Para la presente actualización se propone incorporar, además de los contaminantes criterio, la estimación de emisiones de carbono negro (*black carbon* (BC) en inglés). Un estudio reciente plantea que se estima que la razón BC/MP_{2,5} es de un 13,8% en cocinas a leña y de un 5,6% en calefactores a leña (Estrategia de Transición Energética Residencial, Ministerio de Energía [30]). Otro estudio estima que la quema de leña es responsable de un 45% de las emisiones de carbono negro, según el INGEI (Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, solicitado por el Ministerio del Medio Ambiente el año 2017, con año base 2013 [26]).

Dada la relevancia de este contaminante, se propone la revisión de las metodologías y factores de emisión actuales, para las distintas fuentes en la comuna de Valdivia, con énfasis en la combustión residencial de leña, siendo la más relevante en el área de estudio.

Si bien los inventarios de emisiones tienen incertezas tanto en metodología como en las estimaciones, éstas no son tan relevantes como las que posee el BC [27].

En el documento de la *Commission for Environmental Cooperation* (CEC) se establece una guía para la estimación de emisiones de BC [31], provenientes de diversas fuentes relevantes, dónde destacan: Fuentes de combustión de biomasa (incendios, quemas), fuentes industriales, fuentes móviles en ruta y fuera de ruta, y combustión residencial, para calefacción y cocción. Respecto a esta última se establecen diversos niveles de cuantificación que pueden ser relevantes para ser aplicados en el presente informe.

A continuación, se presenta resumidamente las opciones de cálculo disponibles

Opción 1.

La primera opción de cálculo de estimación de BC, utilizando los datos de consumo de combustible a nivel nacional. La opción de cálculo 1, está basada en la siguiente ecuación:

$$E_{BC} = \sum_i (Q_i \times EF_{i,PM_{2.5}} \times SF_{i,BC/PM_{2.5}}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- EBC : Emisiones de BC para combustión (sumatoria de emisiones para todos los combustibles)
- i : Tipo de combustible
- Q_i : Cantidad de combustible "i"
- EF_{i,PM2.5} : Factor de emisión para MP2,5 para el tipo de combustible "i"
- SF_{i,BC/PM2.5} : Factor de especiación para convertir MP2.5 a BC, para el tipo de combustible i

Opción 2.

La segunda opción, diferencia los factores de emisión por tipo de dispositivo (tecnología) y tipo de combustible. El nivel de actividad puede provenir de distintos niveles de resolución (nacional, regional u otro requerido por el área del inventario). Dicha opción se basa en la siguiente ecuación:

$$E_{BC} = \sum_{i,j} (Q_{i,j} \times EF_{i,j,PM_{2.5}}) \times SF_{BC/PM_{2.5}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- EBC : Emisiones de BC
- i : Tipo de combustible

- J : Tipo de tecnología de combustión
 $Q_{j,i}$: Cantidad de combustible "i" combustionado en el tipo de tecnología "j"
 $EF_{i,j,PM2.5}$: Factor de emisión para $MP_{2,5}$ para el tipo de combustible "i" y tipo de tecnología "j"
 $SF_{i,BC/PM2.5}$: Factor de especiación para convertir $MP_{2,5}$ a BC

Dado que el enfoque de la opción 2, rescata datos como tipo de artefacto, tipo y cantidad de combustible, los cuales han sido levantados en el desarrollo del presente inventario, es que se hace válida la utilización de dicha opción como forma de cálculo de las emisiones de BC. Tanto para las opciones 1 y 2 el factor de especiación (FS) definido se ha cuantificado y corresponde a 5,58% en peso [31] el que ha sido obtenido directamente del webFire de la EPA.

3.2 ACTUALIZACIÓN DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD

La combustión residencial de leña y las variables involucradas con esta práctica representan las variables más importantes para la estimación de emisiones atmosféricas en ciudades del sur de Chile. Esto ha quedado de manifiesto en los inventarios más recientes desarrollados a la fecha en las ciudades ubicadas al sur de la región metropolitana [7] [21] [22] [23] [24] [25].

A raíz de lo anterior, es de relevancia poder caracterizar de manera representativa el comportamiento de los consumidores en relación al uso de este combustible, para lo cual se aplicó una encuesta para recolectar información sobre el consumo domiciliario de leña, a objeto de disponer de información actualizada para estimar las emisiones atmosféricas asociadas a esta fuente emisora.

3.2.1 DISEÑO MUESTRAL PARA LA APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

A continuación, se presentan alcances del diseño muestral definido para la aplicación de las encuestas en la comuna de Valdivia, basado en la información del Censo de población y vivienda del año 2017 [1], y sus proyecciones al año 2021, que corresponde a la fuente de información más actualizada.

Población objetivo y marco muestral:

La población sujeta de estudio corresponde a los habitantes del área urbana de la comuna de Valdivia. El marco muestral para la aplicación de las encuestas se basa en los datos de

viviendas contenidos en el Censo de Población y Vivienda del año 2017 [1], y su desagregación a nivel de distritos censales.

Tipo de muestreo:

El diseño muestral, considera, el muestreo estratificado y conglomerado en dos etapas, con muestras desagregadas a nivel de distrito censal. En cada estrato, las unidades de muestreo corresponden a:

Unidades Primarias de Muestreo (UPM): constituidas por las manzanas de empadronamiento censal (conglomerado de viviendas). Las UPM son seleccionadas al azar.

Unidades Secundarias de Muestreo (USM): constituidas por viviendas particulares ocupadas en forma permanente al momento de la actualización. Por cada manzana se consideró la selección de 3 viviendas de manera aleatoria.

Tipología de vivienda y ubicación

La evolución de los últimos años deja de manifiesto que una fracción importante del universo de viviendas corresponde al tipo departamentos, los cuales tienen un comportamiento distinto en el uso de la leña y equipos de calefacción comparado con viviendas tipo casa. Por esta razón la tipología de vivienda a considerar para el levantamiento de información corresponde a las "tipo casa" ubicadas en el área urbana de la comuna.

Determinación del número de muestra

El tamaño de la muestra será definido de acuerdo a la siguiente expresión, acorde a la naturaleza y condiciones de la variable de estudio, considerando que el parámetro base a investigar corresponde a una media poblacional (consumo de leña).

$$n \geq \frac{4N \sum N_h S_h^2}{N^2 e^2 + 4 \sum N_h S_h^2}$$

Ecuación 6

Donde:

N : Número de manzanas totales, según información actualizada de Censo 2017.

N_h : Número de manzanas del estrato, según Censo 2017.

S_h : Coeficiente de variación de la variable en estudio.

Como referencia, se considera el coeficiente de variación calculado para la comuna de Temuco, según la última actualización del inventario de emisiones atmosféricas, el cual considera la desviación estándar de 4,4 m³st, sobre el promedio observado de 7,9 m³ st. Resultando un coeficiente de variación

de 0,56. Se toma como referencia, dado que puede presentar comportamientos similares a la comuna de Valdivia, en donde también se encuentra un PDA vigente en el periodo de tiempo similar.

- e : Error relativo con respecto al valor esperado de la variable en estudio. Para este caso se considera un error del 5%.

Lo anterior, considerando primero que todo, la naturaleza y condicionantes de la variable en estudio, cuyo parámetro base de investigación corresponde a una media poblacional para una zona determinada y bien delimitada (consumo promedio de leña), y luego, la disponibilidad de información demográfica y cartográfica actualizada, disponible a través del Censo de Población y Vivienda del año 2017 [1]. La suma de ambos elementos permite obtener una muestra con máxima representatividad para la zona de estudio, por cuanto permite hacer una distribución espacial para ejecutar el diseño muestral. Existen otras expresiones para determinar número de muestra, pero corresponden a ecuaciones de uso general en donde no se tiene mayor información respecto a parámetros específicos de la zona de estudio.

De esta manera, mediante la aplicación de la ecuación de cálculo, se determinó que la cantidad de manzanas a encuestar en el área de estudio corresponde a 379 manzanas censales para la comuna de Valdivia, distribuidas de manera proporcional al tamaño de cada distrito censal, resultando así en la aplicación de 1.134 encuestas en la zona de estudio, tal como se puede observar en la Tabla 40.

Tabla 40. Diseño muestral según distrito censal comuna de Valdivia

14101		Valdivia		
Código	Distrito	Mz estrato	Mz a encuestar	N° Encuestas
1410101	Camilo Henríquez	27	6	18
1410102	Isla Teja	61	14	42
1410103	Mercedez	27	6	18
1410104	Las Ánimas	122	29	87
1410105	Estación	185	44	132
1410106	Huellethue	217	51	153
1410107	Teniente Merino	253	60	180
1410108	Las Mulatas	504	119	357
1410109	Pantano	50	12	36
1410110	Aguirre	71	17	51
1410116	Estancilla	24	6	18
1410117	Niebla	61	14	42
Total Comunal		1.603	379	1.134

Fuente: Elaboración propia

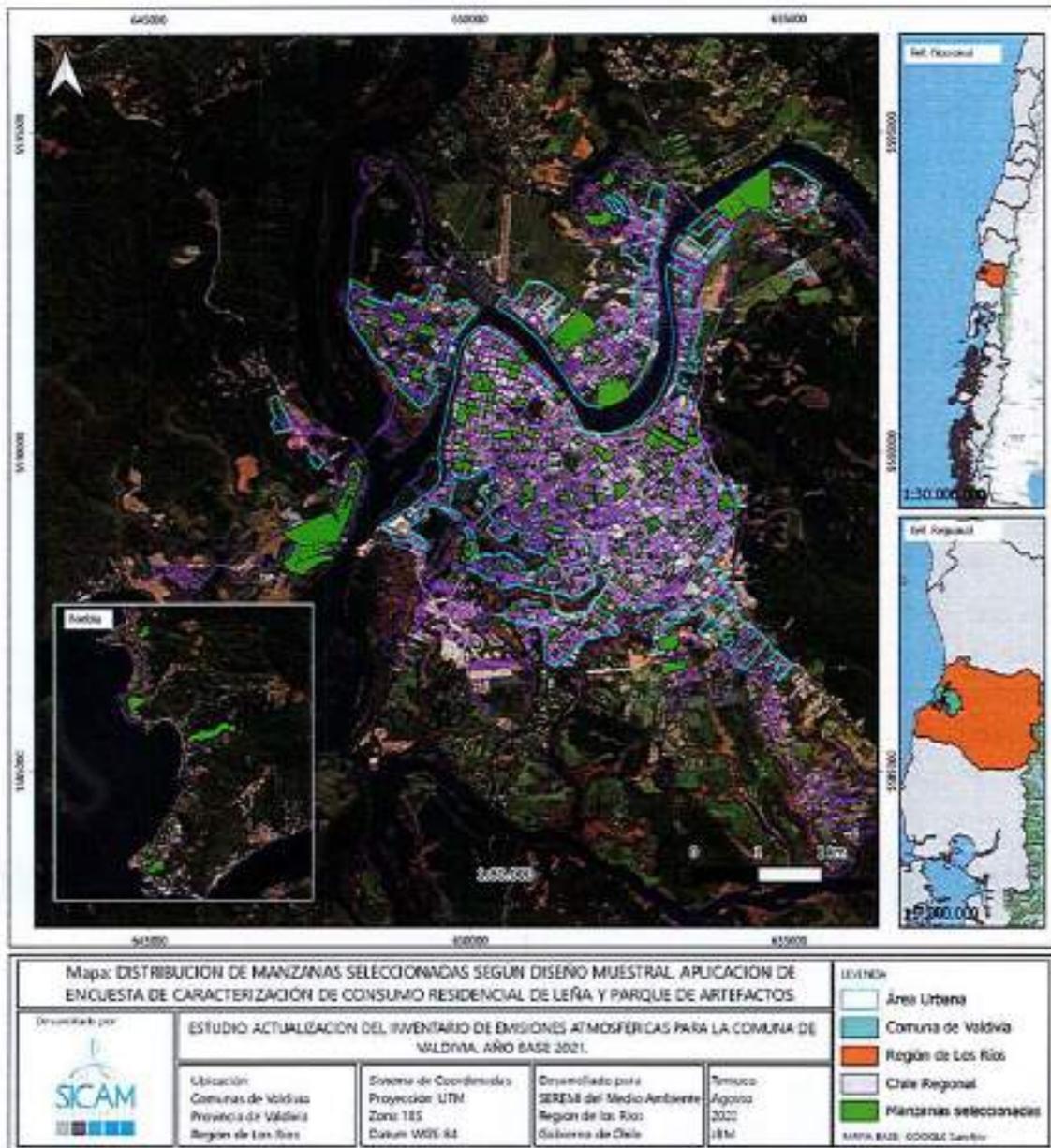


Figura 14. Distribución de manzanas seleccionadas según diseño muestral

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 APLICACIÓN DE LA ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL AL USO DE LEÑA Y SUS ARTEFACTOS DE COMBUSTIÓN

Para la aplicación del instrumento, que, según los resultados del diseño muestral, implicó la ejecución de 1.134 encuestas sobre consumo de leña residencial en la comuna de Valdivia, región de Los Ríos, se desarrollaron las siguientes actividades:

Definición del Instrumento

La encuesta fue definida en conjunto con la contraparte técnica del Estudio, y consistió en una ficha compuesta por seis ítems, más un módulo de observaciones. Cabe destacar que dicho instrumento fue diseñado tomando como base, uno de similares características utilizado en estudios previos de caracterización del uso residencial de leña realizado en otras zonas del país, con el mismo objetivo. El instrumento utilizado se entrega en el Anexo 5 del presente informe.

Módulo A : INFORMACIÓN PRELIMINAR

Módulo B : ÍTEM EQUIPOS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN

Módulo C : ÍTEM CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, PELLET P BRIQUETAS Y FORMA DE ABASTECIMIENTO

Módulo D : ÍTEM INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA, ANTECEDENTES GENERALES, CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.

Módulo E : ÍTEM PERCEPCIÓN/PROYECCIÓN DE CONSUMO Y USO DE ARTEFACTOS

Módulo F : MEDICIÓN DE HUMEDAD DE LA LEÑA

En términos generales y resumidos, el protocolo de aplicación de la encuesta considera los aspectos que se describen a continuación:

Organización del material

Para la aplicación de la encuesta, cada encuestador porta consigo los siguientes materiales:

- Credencial para Identificación
- Instructivo de encuestadores
- Identificación de las manzanas y viviendas a encuestar
- Copia impresa de cuestionarios
- Carpeta de terreno para proteger el material
- Implementos de seguridad personal e higiene asociados al Protocolo Covid-19

Capacitación del personal de terreno

Para el levantamiento de información en terreno se consideró un equipo de al menos 4 encuestadores debidamente capacitados para tales fines. La jornada de capacitación consideró una contextualización en relación a la problemática de la contaminación atmosférica y la justificación del estudio, además de la revisión detallada del instrumento a aplicar, así como la revisión de la metodología de aplicación de encuesta y recomendaciones acerca del trabajo en terreno, en relación al modo de acercamiento al encuestado, pautas

de conducta, manejo de situaciones, mecanismos de contacto directo con supervisor, entre otros. Además de abordar en detalle el protocolo de seguridad asociado a la contingencia Covid-19.

Planificación de las rutas

La aplicación de las encuestas en terreno se realizó mediante la selección de manzanas, a partir de las cuales se toman 3 encuestas por cada una. Para esto se elaboraron mapas para el trabajo en terreno que identifica los códigos de la manzana seleccionada.

Aplicación encuesta piloto

Este proceso consideró la aplicación de 10 encuestas, a modo de poner a prueba el instrumento, los tiempos de aplicación, la metodología de terreno y prever cualquier situación de relevancia antes de desarrollar el despliegue definitivo en terreno.

Aplicación del instrumento en terreno

La aplicación de la encuesta se llevó a cabo de acuerdo al siguiente protocolo de trabajo:

- Presentación como encuestador del estudio
- Verificación de la presencia de persona mayor de 18 años con residencia permanente en la vivienda en condiciones de responder la encuesta.
- Presentación el objetivo de la encuesta.
- Aplicación del protocolo Covid-19.
- Registro de la información de manera ordenada y con letra legible completando todos los campos, en los términos señalados en la capacitación.
- En caso de no encontrar moradores en la vivienda asignada, el encuestador asigna una de reemplazo.

Procedimiento de control de calidad

El encuestador reporta de manera periódica el trabajo desarrollado en terreno, y comunica manera oportuna cualquier tipo de inconveniente o anomalía experimentada en terreno, de acuerdo a las siguientes acciones:

- El encuestador reporta al supervisor de terreno el trabajo desarrollado de manera periódica.
- Entrega de las encuestas aplicadas al supervisor.

- Verificación por parte del supervisor de las encuestas para determinar información incompleta, incoherente o ilegible. En cuyo caso es devuelta al encuestador para solucionar dichos hallazgos, ya sea de manera telefónica o bien visitando nuevamente la vivienda.

Diseño de las bases de datos y Digitación

Se elaboró un archivo en formato Excel para la digitación. Este archivo se podrá presentar en formato SPSS si es requerido por la contraparte técnica.

Las encuestas fueron digitadas por personal de SICAM Ingeniería, trabajo que será supervisado por la encargada de bases de datos, analizando consistencia de la información.

Análisis de datos y obtención de resultados

Luego de contar con la base de datos digitada y validada, se realiza el análisis estadístico. Se confecciona tablas y gráficos que permiten presentar de manera clara y significativa los resultados del estudio, derivados directamente de la aplicación de la encuesta, además de otros resultados que se obtengan a partir del cruce de la información o de variables.

Los resultados de la encuesta se presentan en formato Excel, y se desarrolla además un documento en formato Word dedicado específicamente a presentar los resultados de la encuesta.

Para la validación de los resultados, se contará con la asesoría técnica del profesional estadístico Sr. Juan Moncada, quien estará a cargo de la determinación de los análisis y resultados que se desprendan de la aplicación del instrumento.

Factores de expansión de la muestra

Una vez obtenidos los resultados para cada unidad, estos serán expandidos al total del estrato en correspondencia con el diseño bietápico, asigna un factor de expansión a cada vivienda seleccionada, para lograr así, la estimación del consumo promedio y el consumo total de leña en el área de estudio, según la unidad territorial trabajada, en este caso, Distrito Censal.

De esta manera, los resultados finales de la aplicación de la encuesta contarán con un apartado que considere los resultados expandidos para cada distrito censal, según comuna, en el área de estudio.

Elaboración de cartografía

Con los resultados obtenidos se elaborarán mapas de distribución espacial a nivel de distrito censal de los resultados más significativos, tales como consumo de leña, distribución del número y categoría de artefactos, perfiles de operación de los calefactores, entre otros que se consideren relevantes, lo que permitirá observar espacialmente la caracterización del consumo de leña y parque de artefactos en las comunas de estudio.

3.2.3 RESULTADOS PRINCIPALES DE LA ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL AL USO DE LEÑA Y SUS ARTEFACTOS DE COMBUSTIÓN

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos de la aplicación de la "ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE CALEFACCIÓN RESIDENCIAL EN VALDIVIA AÑO 2021", los que posteriormente son utilizados para la estimación de emisiones atmosféricas asociados a la fuente combustión residencial de leña. Se adjunta el Anexo 6, donde se puede consultar en extenso el resultado de cada pregunta contenida en la encuesta.

Los resultados presentados corresponden al análisis de 1.103 encuestas procesadas como válidas, de un total de 1.130 consideradas en el diseño muestral, logrando sobre un 98% de efectividad en la etapa de aplicación del instrumento. La Tabla 41 muestra el total de encuestas aplicadas, considerándose para el análisis las de tipo "residencial" y las de tipo "residencial y comercial".

Tabla 41. N° de encuestas válidas respecto a aquellas aplicadas según diseño muestral

Alcance	TOTAL
Diseño muestral	1.130
Aplicación	
Residencial	1.085
Residencial y Comercial	18
Comercial u otro	27
Encuestas válidas¹	1.103

¹ se consideró encuestas válidas todas aquellas que lograron identificar la vivienda, y donde el habitante contactado accedió a responder la encuesta, siempre que el uso fuese residencial o residencial/comercial. Se descartaron 27 recintos de tipo comercial u otro como servicio, iglesia, jardín, etc.

Fuente: elaboración propia.

Leña y Pellet: Penetración porcentual y consumo promedio

A nivel comunal se obtiene como resultado una penetración del uso de la leña como combustible tanto para calefacción como cocción de alimentos de un 73,8%. Luego, respecto al uso de pellet como combustible para calefacción de viviendas se tiene una penetración del 19,8 % a nivel comunal.

Los resultados se presentan desagregados a nivel de distrito censal, tal como se puede observar en la Tabla 42, siendo los distritos con mayor penetración de pellet Isla Teja y Mercedes, con 37,5% en ambos casos. En el distrito Niebla, la irrupción del pellet como tecnología no ha sido relevante, alcanzando solo un 4,8% de viviendas que lo utilizan.

Tabla 42. Penetración de uso de leña y pellet (%) según distrito censal.

Código	Distrito	% Viviendas que consumen leña	% Viviendas que consumen pellet
1410101	Camilo Henríquez	78,6%	14,3%
1410102	Isla Teja	50,0%	37,5%
1410103	Mercedes	50,0%	37,5%
1410104	Las Ánimas	75,6%	11,6%
1410105	Estación	80,7%	15,1%
1410106	Huelihue	73,9%	19,6%
1410107	Teniente Merino	71,7%	25,0%
1410108	Las Mulatas	75,8%	19,7%
1410109	Pantano	69,4%	19,4%
1410110	Aguirre	68,6%	23,5%
1410116	Estancilla	44,4%	22,2%
1410117	Niebla	90,5%	4,8%
COMUNA	VALDIVIA	73,8%	19,8%

Fuente: elaboración propia.

Respecto al consumo de leña, se observa un consumo promedio en torno a los 8,8 m³/año, a nivel comunal. Luego, en el caso del pellet, se observa que el promedio se encuentra en los 1.358 kg/año, equivalente a unas 91 bolsas de 15 kg/año.

Tabla 43. Consumo promedio de leña y pellet según distrito censal.

Código	Distrito	Consumo Promedio de Leña (m ³ /año)	Consumo Promedio de Pellet (kg/año)
1410101	Camilo Henríquez	7,1	840,0
1410102	Isla Teja	9,3	977,1
1410103	Mercedes	7,1	1.224,0
1410104	Las Ánimas	8,8	924,0
1410105	Estación	10,3	1.292,5
1410106	Huelihue	9,1	977,0
1410107	Teniente Merino	8,0	1.260,3
1410108	Las Mulatas	8,0	1.633,9
1410109	Pantano	11,5	1.809,0
1410110	Aguirre	11,9	1.748,8
1410116	Estancilla	8,1	1.538,0
1410117	Niebla	9,5	1.530,0
COMUNA	VALDIVIA	8,8	1.358,1

Fuente: elaboración propia.

Parque de Artefactos

Uno de los resultados principales de la encuesta corresponde a la caracterización del tipo de artefactos presentes en la zona de estudio, ya que a partir de su distribución y consumo de leña/pellet en cada uno de ellos, se determina el nivel de emisiones contaminantes generadas a partir de su operación. En la Tabla 44 se muestran la distribución del tipo de artefactos utilizados en la comuna, según distrito censal.

Tabla 44. Distribución (%) del stock de artefactos a leña en la comuna de Valdivia.

Código Censal	Distrito	Calef. Certificado	Comb. Lenta C/T	Comb. Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimeneas y otra	Pellet	Total
1410101	Camilo Henríquez	30,8%	23,1%	7,7%	23,1%	0,0%	0,0%	15,4%	100,0%
1410102	Isla Teja	9,1%	36,4%	0,0%	27,3%	0,0%	3,0%	24,2%	100,0%
1410103	Mercedez	0,0%	42,9%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	42,9%	100,0%
1410104	Las Ánimas	19,5%	32,5%	7,8%	24,7%	2,6%	0,0%	13,0%	100,0%
1410105	Estación	21,5%	21,5%	8,3%	31,4%	0,8%	0,8%	15,7%	100,0%
1410106	Huellethue	12,6%	28,5%	9,3%	29,1%	0,7%	0,0%	19,9%	100,0%
1410107	Teniente Merino	16,7%	32,8%	5,0%	20,0%	0,0%	0,6%	25,0%	100,0%
1410108	Las Mulatas	20,2%	32,0%	6,1%	19,9%	0,6%	1,2%	20,2%	100,0%
1410109	Pantano	15,6%	15,6%	6,3%	40,6%	0,0%	0,0%	21,9%	100,0%
1410110	Aguirre	17,0%	38,3%	0,0%	19,1%	0,0%	0,0%	25,5%	100,0%
1410116	Estancilla	27,3%	27,3%	0,0%	18,2%	0,0%	0,0%	27,3%	100,0%
1410117	Niebla	28,6%	21,4%	21,4%	21,4%	2,4%	0,0%	4,8%	100,0%
COMUNA	VALDIVIA	18,4%	29,9%	6,8%	23,8%	0,7%	0,7%	19,9%	100,0%

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que, a nivel comunal la categoría de artefactos predominante corresponde a los calefactores tipo combustión lenta con templador, alcanzando un 29,9% del parque, seguido por las cocinas a leña con un 23,8%. Luego, los calefactores a pellet ocupan un lugar relevante en el parque, con un 19,9% del total, lo que evidencia un recambio tecnológico en la comuna, respecto a caracterización anterior, en el marco del inventario de emisiones año base 2013 [7], que lo situaba en un 0,1% del parque.

La Figura 15 presenta la distribución del parque de artefactos a nivel de distrito censal.

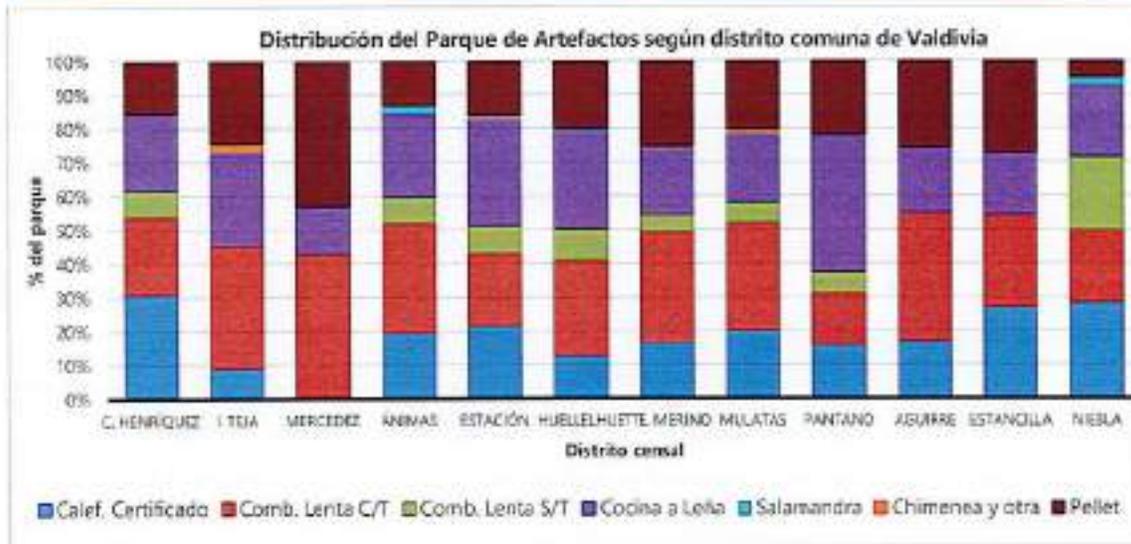


Figura 15. Distribución del parque de artefactos según distrito censal

Fuente: elaboración propia.

Modo de operación

Una variable de relevancia corresponde a las prácticas utilizadas por los usuarios para operar sus artefactos de combustión, específicamente, la práctica asociada a la manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión, por cuanto determinan el factor de emisión a utilizar en la estimación de emisiones.

Tabla 45. Manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión.

Código	Distrito	Buena operación (Tiraje abierto - medio)	Mala operación (Tiraje cerrado)
1410101	Camilo Henríquez	57%	43%
1410102	Isla Teja	7%	93%
1410103	Mercedes	36%	65%
1410104	Las Ánimas	28%	72%
1410105	Estación	38%	62%
1410106	Huellehue	51%	49%
1410107	Teniente Merino	45%	55%
1410108	Las Mulatas	51%	49%
1410109	Pantano	13%	87%
1410110	Aguirre	9%	91%
1410116	Estancilla	51%	49%
1410117	Niebla	44%	56%
COMUNA	VALDIVIA	42%	58%

Fuente: elaboración propia.

Humedad de la leña

Otro antecedente que resulta fundamental para que la estimación de emisiones atmosféricas sea representativa de lo que realmente se genera y emite en la comuna de Valdivia, corresponde al nivel de humedad de la leña utilizada en los diferentes tipos de artefactos utilizados. Para la actualización del inventario de emisiones año base 2021 se desarrolló una campaña de medición de leña en el área de estudio, logrando medir humedad en 101 viviendas a nivel comunal.

Para la definición de calidad de la leña en términos de contenido de humedad, se consideró lo establecido en la NCh2907.Of2005. Combustible Sólido – Leña – Requisitos, que indica porcentajes de humedad para leña seca, semihúmeda y húmeda. Para obtener este indicador se consideró la humedad promedio de cada lote muestreado. Se adjunta Anexo 7 con resultado de las mediciones de humedad.

Tabla 46. Resultados de la campaña de medición de leña según NCh. 2907/2005

Categoría	Nivel humedad	Frecuencia	Porcentaje
Seca	<25%	57	56,4%
Semi-Húmeda	25,1% - 30%	18	17,8%
Húmeda	>30%	26	25,7%
Tota		101	100,0%

Fuente: Elaboración propia

3.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

3.3.1 CONSIDERACIONES Y AJUSTES PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

A través de la aplicación de la "ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE CALEFACCIÓN RESIDENCIAL EN VALDIVIA AÑO BASE 2021" se obtuvieron datos para una muestra estadísticamente representativa, los cuales luego son extrapolados al universo de la población que constituye el área de estudio. La información utilizada para la expansión de la muestra corresponde a viviendas proyectadas al año 2021, en base al crecimiento intercensal año 2012 – 2017 para viviendas tipo casa, en la comuna de Valdivia. La base de datos que sistematiza la información se entrega en Anexo 8 del presente informe.

En la Tabla 47 se presenta la cantidad de viviendas tipo casa presentes en cada uno de los distritos censales del área urbana de la comuna de Valdivia, proyectadas al año base 2021.

Tabla 47. Cantidad de viviendas tipo casa según distrito censal de la comuna de Valdivia año 2021

Código	Distrito	Nº de Viv. Tipo casa 2021 ¹
1410101	Camilo Henríquez	1.322
1410102	Isla Teja	1.947
1410103	Mercedez	498
1410104	Las Ánimas	6.006
1410105	Estación	5.192
1410106	Huellethue	6.905
1410107	Teniente Merino	8.908
1410108	Las Mulatas	16.546
1410109	Pantano	3.043
1410110	Aguirre	2.863
1410116	Estancilla	614
1410117	Niebla	2.216
COMUNA	VALDIVIA	56.062

¹ considera viviendas totales menos viviendas tipo departamentos, en las zonas urbanas de los distritos. Datos obtenidos a partir de la proyección de las estadísticas censales año base 2017.

Fuente: elaboración propia, en base a Censo 2017 (INE).

3.3.2 NIVELES DE ACTIVIDAD

Luego de presentados los antecedentes asociados al marco muestral, y a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la encuesta, se determinaron los niveles de actividad a utilizar para la estimación de emisiones. En la Tabla 48 se muestra el consumo de leña y pellet para cada distrito censal del área urbana para la comuna de Valdivia. Se estima un nivel de consumo de 363.185 m³ st/año de leña, mientras que para pellet se estima un consumo anual de 14.827 ton/año.

Tabla 48. Consumo de leña según Distrito Censal en la comuna de Valdivia, año base 2021

Código	Distrito	Consumo Total de Leña según DC (m ³ /año)	Consumo Total de Pellet según DC (Ton/año)
1410101	Camilo Henríquez	7.387	159
1410102	Isla Teja	9.094	714
1410103	Mercedez	1.766	229
1410104	Las Ánimas	38.346	645
1410105	Estación	42.995	1.015
1410106	Huellethue	46.613	1.323
1410107	Teniente Merino	50.620	2.807
1410108	Las Mulatas	99.123	5.316
1410109	Pantano	24.210	1.070
1410110	Aguirre	23.318	1.178
1410116	Estancilla	2.211	210
1410117	Niebla	19.030	161
COMUNA	VALDIVIA	363.185	14.827

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estimados del consumo de leña fueron distribuidos espacialmente, a nivel de distrito censal, tal como se puede observar en la Figura 16. Se observa gráficamente la mayor intensidad de uso de leña en el distrito Las Mulatas (D08), siendo el distrito con mayor número de viviendas de la comuna. Por otra parte, los distritos D01, D02, D03 y D16 son los que presentan menor consumo de leña en su totalidad, encontrándose en el rango bajo los 20.000 m³/año cada uno.

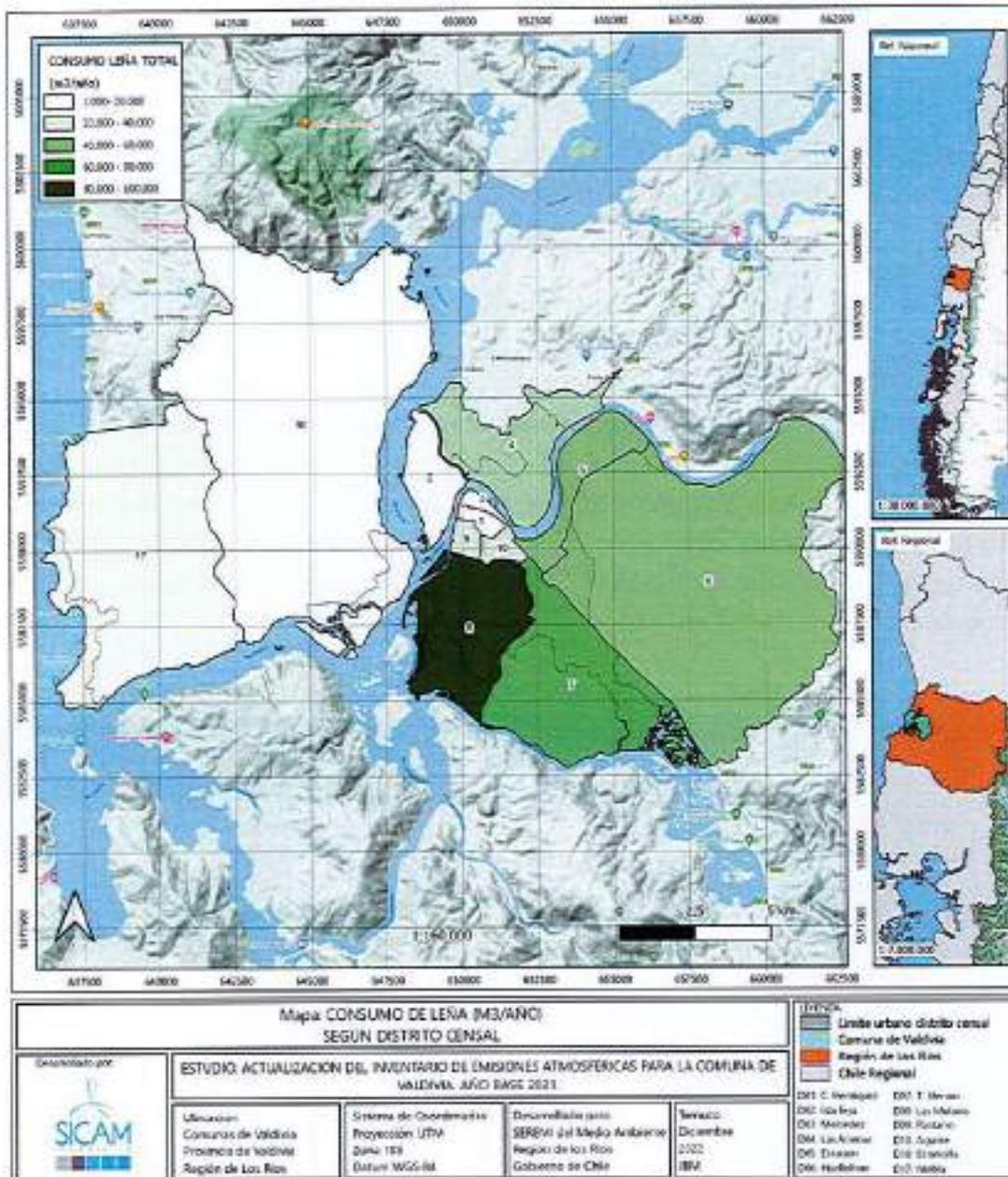


Figura 16. Distribución espacial del consumo de leña (m³/año) según distrito censal
Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo, el consumo de pellet se encuentra más demandado en los sectores con mayor densidad de viviendas, alcanzándose en el distrito las mulatas (D08) sobre las 5.000 ton/año.

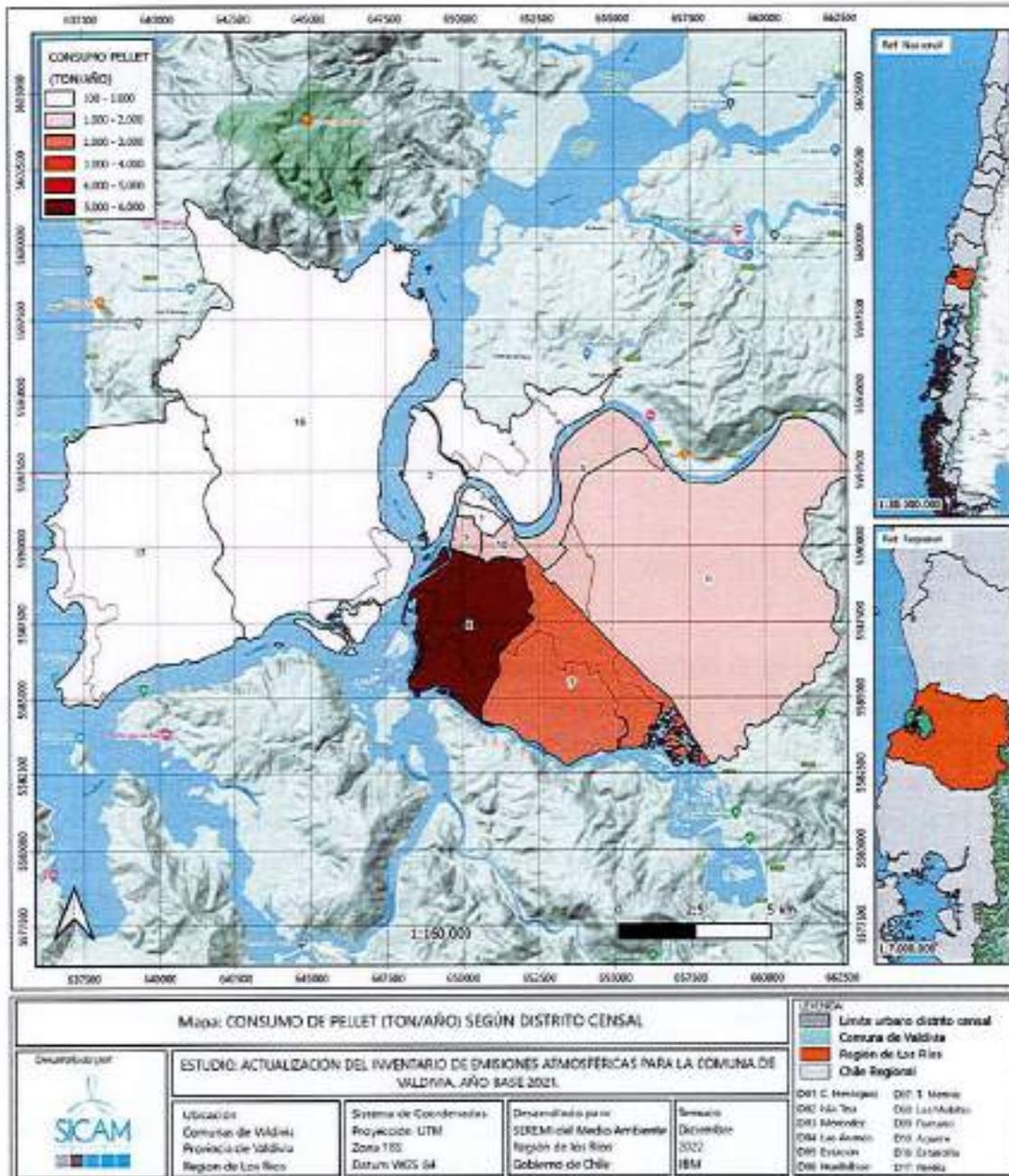


Figura 17. Distribución espacial del consumo de pellet (m³/año) según distrito censal

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 49 se muestra el stock de artefactos actualmente en uso según distrito censal del área urbana de la comuna de Valdivia. La estimación da cuenta de un parque de 43.111 artefactos a leña y 10.600 artefactos a pellet.

Tabla 49. Stock de artefactos en uso en distritos censales de la comuna de Valdivia

Código Censal	Distrito	Calef. Certificado	Comb. Lenta C/T	Comb. Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y obra	Pellet	Total
1410101	Camilo Henríquez	378	283	94	283	-	-	189	1.228
1410102	Isla Teja	146	584	-	438	-	49	389	1.606
1410103	Mercedez	-	187	-	62	-	-	187	436
1410104	Las Ánimas	1.048	1.746	419	1.327	140	-	898	5.377
1410105	Estación	1.134	1.134	436	1.658	44	44	829	5.279
1410106	Huellethue	857	1.941	632	1.986	45	-	1.354	6.815
1410107	Teniente Merino	1.485	2.920	445	1.782	-	49	2.227	8.908
1410108	Las Mulatas	3.253	5.159	976	3.207	93	186	3.253	16.128
1410109	Pantano	423	423	169	1.099	-	-	592	2.705
1410110	Aguirre	449	1.010	-	505	-	-	674	2.638
1410116	Estancilla	102	102	-	68	-	-	102	375
1410117	Niebla	633	475	475	475	55	-	106	2.216
COMUNA	VALDIVIA	9.908	15.964	3.647	12.890	374	328	10.600	53.711

Fuente: elaboración propia.

La Figura 18 presenta la distribución espacial de los artefactos a pellet en los distritos urbanos de la comuna de Valdivia, que en conjunto suman 10.600 artefactos al año base 2021. Se incorporó, además, la georreferenciación de las viviendas beneficiarias del Programa de Recambio de Calefactores (PRC) del Ministerio del Medio Ambiente, que al año 2021 han instalado 3.220 artefactos a pellet. En este mapa es posible observar que el distrito las Mulatas (D08) concentra la mayor parte de los calefactores a leña con una cantidad sobre los 3.000 artefactos. Se pudo determinar que 1.120 calefactores a pellet han sido instalados en este distrito a partir del PRC, por lo tanto, se observa que la mayor parte de los calefactores a pellet han sido adquiridos de manera particular, probablemente impulsado por el efecto del PDA Valdivia, las restricciones asociadas al uso de leña y por conocimiento de la nueva tecnología que la hace operacionalmente atractiva para los usuarios. En el caso de Estancilla (D16) corresponde a un distrito con una baja densidad de viviendas, aun así, se ha encontrado la presencia de artefactos a pellet con un valor proyectado de 102 artefactos. Luego, el distrito Niebla (D17) corresponde a una zona con un comportamiento distinto a la ciudad, en donde predomina ampliamente el uso de leña, y los calefactores a pellet representan un menor uso, encontrándose 106 calefactores de esta tecnología.

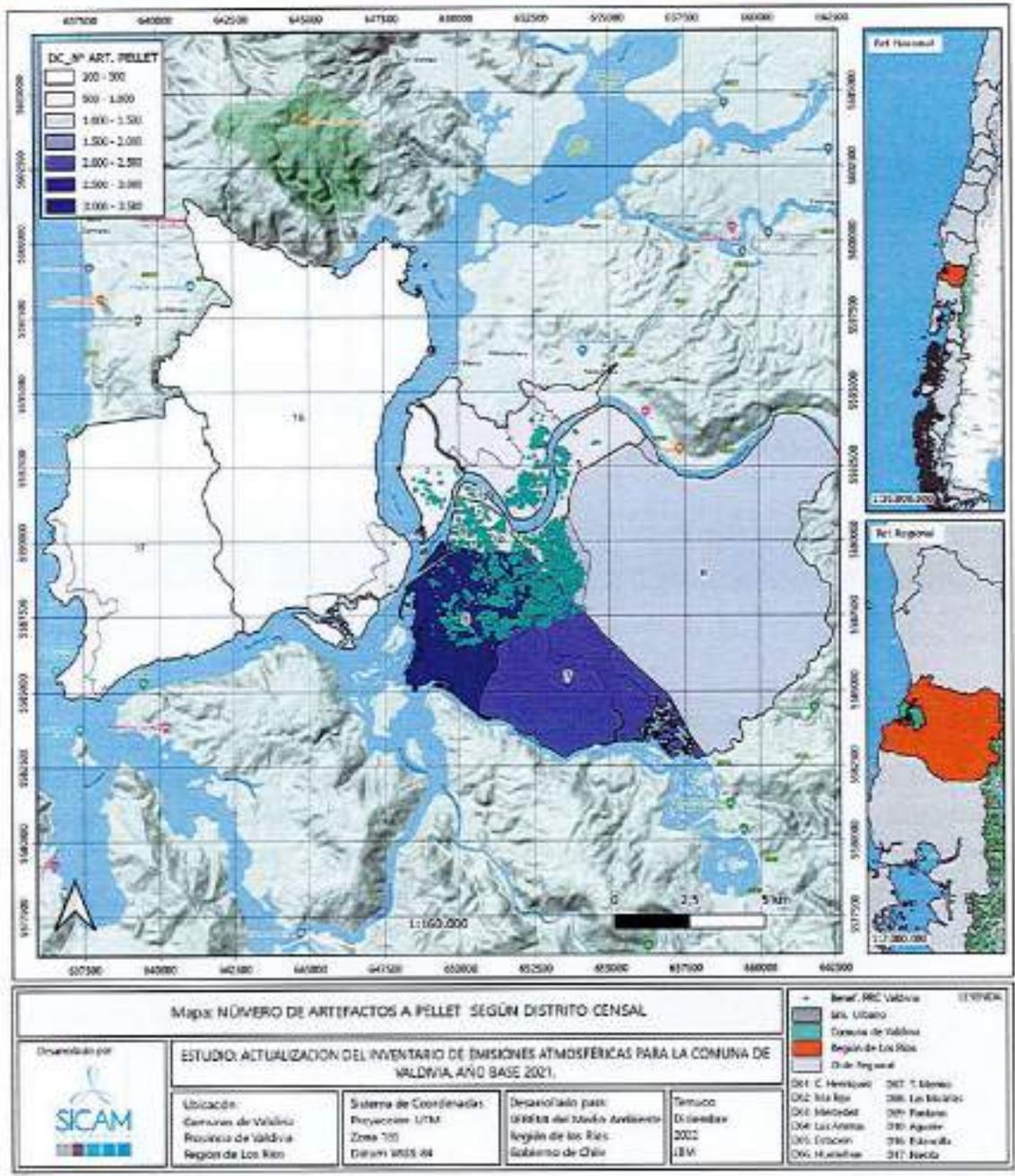


Figura 18. Distribución espacial del número de artefactos a pellet según distrito censal
 Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de emisiones, además de los antecedentes mostrados previamente, se utilizaron los factores de emisión detallados en el Anexo 4, que además fueron expuestos en el punto 3.1.2 del presente informe, y la información resultante de la encuesta, mostrada previamente. Debido a que los consumos son entregados en m³ de leña y los factores de emisión se encuentran en la unidad de gr de contaminante por kg de combustible, fue

necesaria la transformación de los niveles de consumo leña de m³st a kg, mediante el uso de la densidad según especie.

Tabla 50. Densidad de leña (kg/m³st) para leña nativa y exótica, bajo 3 condiciones de humedad.

VARIABLE	Leña seca (Hd: 25% b.s.)	Leña Semi húmeda (Hd: 45% b.s.)	Leña húmeda (Hd: 80% b.s.)
Densidad Hualla	368	426	529
Densidad Eucalipto	411	477	592

Fuente: INFOR, 2005.

Por otra parte, tal como se indicó en el punto anterior, el parámetro de humedad empleado corresponde a los resultados obtenidos de la campaña de medición de humedad en terreno, tal como se presenta en la Tabla 51.

Tabla 51. Distribución del contenido de humedad de la leña en la comuna de Valdivia, año 2021

VARIABLE	Leña seca (Hd: 25% b.s.)	Leña Semi húmeda (Hd: 45% b.s.)	Leña húmeda (Hd: 80% b.s.)
Distribución	56%	18%	26%

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 CÁLCULO DE EMISIONES

La Tabla 52 muestra la estimación de emisiones atmosféricas obtenidas para la fuente combustión residencial de leña de la comuna de Valdivia, para los contaminantes considerados en el estudio. Los resultados se presentan en toneladas año de contaminante para cada distrito censal.

Tabla 52. Estimación de Emisiones (Ton/año) según distrito censal comuna de Valdivia

Código Censal	Distrito	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	ON
1410101	Camilo Henríquez	39,6	36,8	945,6	9,1	0,2	646,1	2,1
1410102	Isla Teja	86,4	80,5	1.939,7	14,0	0,4	1.585,4	4,5
1410103	Mercedez	15,1	14,1	294,5	2,8	0,1	212,5	0,2
1410104	Las Ánimas	302,6	281,7	6.592,6	61,0	1,4	4.918,2	15,7
1410105	Estación	311,9	290,3	7.558,2	62,4	1,8	5.740,0	16,2
1410106	Huellethue	311,3	289,9	7.383,2	62,6	1,9	5.188,1	15,1
1410107	Teniente Merino	337,0	313,7	7.378,6	71,1	1,8	5.247,8	17,5
1410108	Las Mulatas	604,5	562,8	13.311,0	133,4	3,5	9.179,4	31,4
1410109	Pantano	226,8	211,2	5.939,3	38,5	1,2	4.974,2	11,8
1410110	Aguirre	203,9	189,8	4.277,1	37,8	0,7	3.407,4	10,6
1410116	Estancilla	12,9	12,0	292,9	3,0	0,1	219,8	0,7
1410117	Niebla	128,9	120,0	2.760,0	31,4	0,7	1.815,2	6,7
COMUNA	VALDIVIA	2.581,0	2.402,9	58.672,6	527,3	13,7	43.134,0	132,4

Fuente: elaboración propia.

La estimación de emisiones para MP2,5 proveniente de la combustión residencial de leña presentada en la tabla anterior se distribuyó espacialmente en los distritos censales, en donde se aprecia que el distrito las Mulatas concentra la mayor parte de las emisiones por representar el distrito con mayor cantidad de viviendas y por lo tanto, el mayor consumo de leña y pellet.

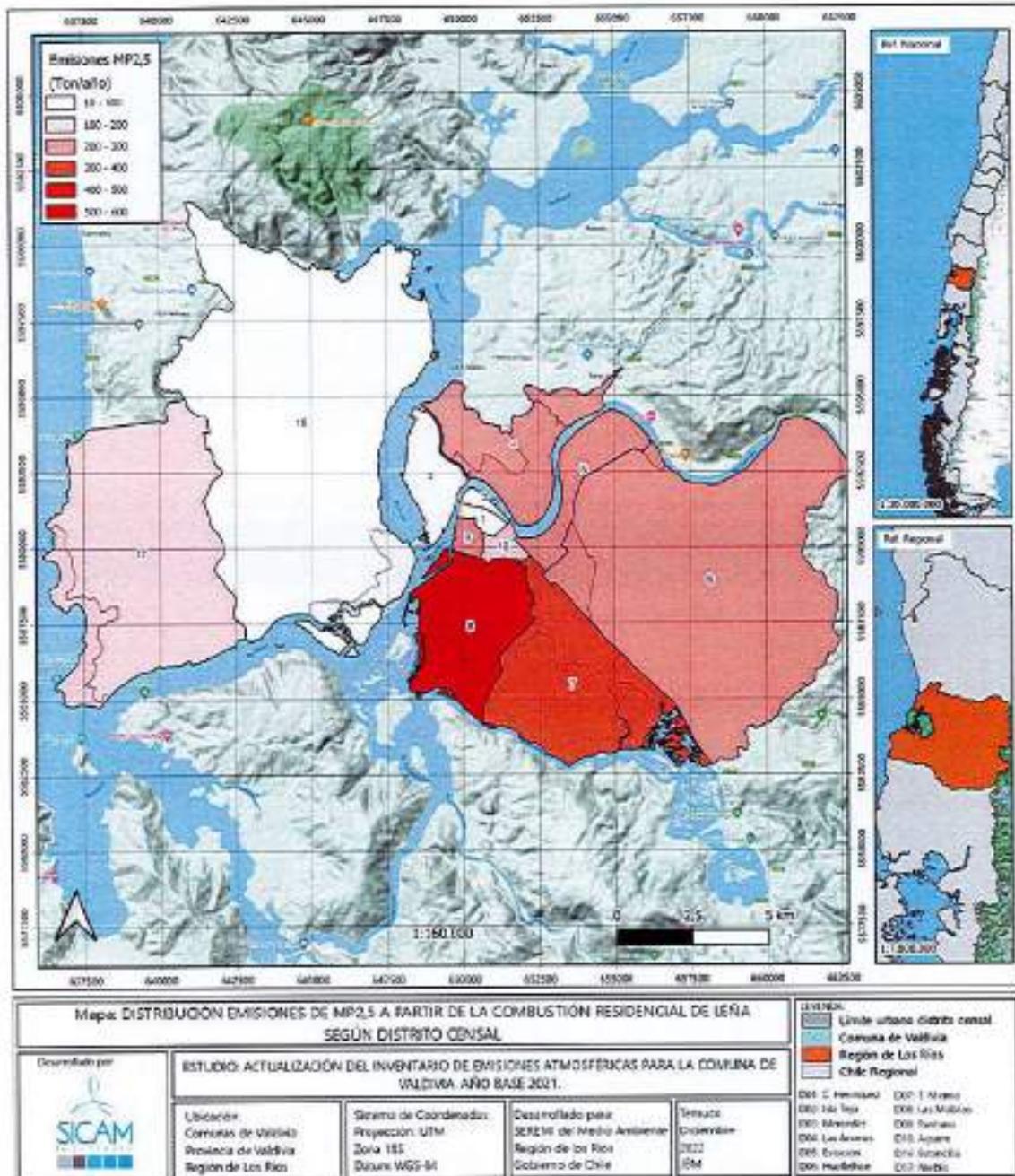


Figura 19. Distribución espacial de las emisiones de MP2,5 según distrito censal

Fuente: elaboración propia.

3.4 ANÁLISIS DE MEDIDA DE PROHIBICIÓN DE CALEFACTORES SEGÚN PDA

El PDA Valdivia [4], establece una serie de medidas tendientes a regular el uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos en la comuna. De esta manera, el artículo 4, establece que a partir de la entrada en vigencia del PDA (año 2017), se prohíbe utilizar chimeneas de hogar abierto. Luego, el artículo 5, establece que, a partir del 1º enero del año 2022, se prohíbe el uso de calefactores a leña en uso del tipo cámara simple, salamandras y hechizos. Finalmente, se indica en el artículo 6, que, a partir del 1º enero del 2025, queda prohibido el uso de todos los calefactores a leña, que no cumplan con el DS N°39, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, es decir se prohíbe el uso de calefactores no certificados. A través de la estimación del parque de calefactores a leña, presentada anteriormente es posible determinar la cantidad de calefactores que se encuentran en uso y que estarían en incumplimiento de acuerdo a las medidas de restricción del PDA.

La distribución del stock de artefactos a leña presenta una estimación proyectada a toda la comuna de unos 374 artefactos denominados "Chimenea y otra" que considera también al tipo hechizo. De esta categoría el resultado específico para chimeneas de hogar abierto es de unas 49 unidades en la comuna.

Tabla 53. Stock de artefactos en uso en que cuentan con prohibición de funcionamiento según PDA

Artículo	Entrada en vigencia	Tipo calefactor	Nº de artefactos en incumplimiento
Art. 4. Prohíbe Chimeneas de Hogar abierto	Desde junio de 2017	Chimeneas de hogar abierto	49
Art. 5. Prohíbe Calefactores cámara simple, salamandras y hechizos	Desde 01 enero 2022	Cámara simple	3.647
		Salamandras	374
		Hechizos	278
Total			4.348

Fuente: elaboración propia

FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS



4 FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS

4.1 ANTECEDENTES GENERALES FUENTES DE ÁREA COMERCIAL, QUEMAS Y OTRAS

Una fuente de área puede ser definida como una colección de unidades de emisión similares dentro de un área geográfica [32]. Por otra parte, se les considera demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. En su conjunto, sin embargo, las fuentes de área pueden representar una fracción significativa de las emisiones de contaminantes, razón por la cual deben incluirse dentro del inventario de emisiones para asegurar que éste se encuentre completo.

De esta manera, además de las fuentes de emisión tradicionales, a las cuales se les atribuye la responsabilidad de aportar las mayores emisiones en las ciudades del centro y sur de Chile, como son la combustión residencial de leña, fuentes industriales y fuentes móviles, en el área de estudio se encuentran las denominadas fuentes de área que están presentes en muchas actividades cotidianas. Estas fuentes han sido clasificadas según su origen, en fuentes residenciales, fuentes comerciales, quemas y otras. Luego, cada fuente se desagrega en categorías y subcategorías, tal como se presenta a continuación en la Tabla 54.

Tabla 54. Clasificación de las fuentes de estacionarias de área

Fuente	Categoría	Subcategoría
Fuentes residenciales	Combustión externa	Gas licuado (GLP)
		Gas ciudad (GC)
		Gas natural (GN)
		Kerosene
	Evaporativas Residenciales	Leña
		Solventes uso doméstico
		Pintura arquitectónica
Fuentes comerciales	Evaporativas Comerciales	Emisiones Residenciales de NH ₃
		Fugas Residenciales de GLP
		Distribución de combustibles
		Lavasecos
	Restaurantes y comida rápida	Pintura industrial (vehículo)
		Aplicación de asfalto
		Fugas comerciales de GLP
Quemas	Quemas e Incendios	Restaurantes
		Asadurias
		Quemas agrícolas
		Incendios forestales
		Incendios urbanos
Otras fuentes de Área	Disposición de residuos	Incendio de vehículos
		Consumo de cigarrillos
	Emis. Biogénicas	Emisiones desde vertederos
		Aguas servidas (PTAS)
	Actividades agropecuarias	Emisiones biogénicas
		Aplicación de fertilizantes
	Aplicación de pesticidas	
	Labranza agrícola	
	Crianza animal	

Fuente: Elaboración propia
 *N/A: No aplica
 - Fuente no inventariada

Respecto al análisis metodológico y selección de factores de emisión representativos concernientes a este tipo de fuentes, el presente informe considera una estructura diferenciada según el tipo y categoría de fuente y la disponibilidad de material de consulta. En cualquier caso, la expresión general para la estimación de emisiones de fuentes de área está dada por la siguiente ecuación [9].

$$E = NA \times FE \times (1 - ER/100) \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio [ton/año]
- NA : Nivel de actividad
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio
- ER : Eficiencia general de reducción de emisiones (%)

4.2 FUENTES RESIDENCIALES

Las clasificaciones internacionales definen a las fuentes emisoras de área tipo residenciales, a aquellas fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos que se asocian a diferentes actividades de tipo doméstico. Luego, los inventarios realizados en Chile, que adoptan esta clasificación, han considerado en su elaboración el desarrollo metodológico y la estimación de emisiones de fuentes residenciales, desagregadas según diferentes categorías y subcategorías. Tal como se señaló en la Tabla 54, las categorías de fuentes residenciales de área abarcan las de combustión externa y las evaporativas, siendo en la primera la combustión de leña, la más relevante del área de estudio, y, por lo tanto, abordada en un capítulo específico en el presente informe.

4.2.1 FUENTES DE COMBUSTIÓN EXTERNA

La combustión externa es una de las fuentes residenciales, que tiene relación con las emisiones atmosféricas que se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares ya sea para calefacción, calentar agua o cocción de alimentos.

Si revisamos los antecedentes disponibles para la comuna de Valdivia, observamos que los combustibles disponibles para estos efectos son el gas licuado de petróleo (GLP), kerosene, y leña.

4.2.1.1 Gas Licuado (GLP), Gas Natural y Kerosene

Metodología

Las emisiones provenientes de esta fuente dependen del tipo de combustión, la composición del combustible y del tipo de equipo donde se produce la combustión. Las emisiones se determinan al multiplicar el consumo de combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la expresión general presentada en la Ecuación 8.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- E: Emisión contaminante (Ton/año)
 FE: Factor de Emisión (Kg contaminante/1000 m³ de combustible)
 NA: Consumo de combustible (m³)

Factores de emisión

El GLP es considerado como un combustible limpio ya que no produce emisiones visibles, sin embargo, genera contaminantes gaseosos como óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos, así como también pequeñas cantidades de dióxido de azufre y material particulado. Comparativamente, el kerosene presenta emisiones mucho mayores que el GLP. Los factores de emisión de los contaminantes generados por la quema de estos combustibles se presentan en la Tabla 55.

Tabla 55. Factores de emisión para GLP y Kerosene

Combustible	COV	CO	NO _x	SO _x ¹	MP10	MP2.5	Unidad	Referencia
GLP	59,8	382,9	1.555,7	1.432,5	20,3	20,3	Kg/1000 m ³	AP42 [9]
GN	0,09	0,64	1,50	0,01	0,03	0,03	Kg/1000 m ³	AP42 [9]
Kerosene	83,8	574,4	2.082,3	4.918,4	129,2	99,3	Kg/1000 m ³	CARB [33]

1: Corresponde a SO₂

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

De acuerdo a lo informado por la SEC para el año 2021, el nivel de ventas de GLP es de 16.588 ton/año en la región de Los Ríos, por consumidor de tipo residencial [34]. De los cuales el 12.502 Ton/año se consumen en Valdivia, considerando que el consumo de gas es proporcional a la cantidad de población. Del consumo total se descarta el 3,5% de pérdida por envasado. Para obtener el nivel de actividad en m³/año se emplea una densidad del gas de 0,550 ton/m³ [15].

Respecto al nivel de actividad del kerosene, el nivel de consumo doméstico es reportado por ENAP, a través de sus ventas totales y de las compañías distribuidoras, que corresponde a 3.408 m³ durante el año 2021 para la Región de Los Ríos [34], sin embargo, al no existir un detalle de consumo por comunas, es necesario suponer que el consumo de Kerosene está en una directa relación con la población.

Tabla 56. Nivel de actividad para GLP y Kerosene

Combustible	Consumo combustible año 2020	Referencia
	Valdivia	
GLP (m ³ /año)	22.732	SEC – Venta anuales GLP [34]
Kerosene (m ³ /año)	1.489	SEC – Ventas anuales Combustibles líquidos [34]

¹ considera el descarte del 3,5% por pérdida en envasado.

Fuente: Elaboración propia en base a información SEC

Estimación de Emisiones

Las emisiones provenientes de las fuentes de combustión externa residencial se presentan a continuación en la Tabla 57, asociadas a la combustión residencial de GLP y Kerosene.

Tabla 57. Estimación de emisiones para GLP y Kerosene

Fuente	Emisiones (Ton/año)					
	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV
GLP	0,46	0,46	32,56	35,36	8,71	1,36
Kerosene	0,19	0,15	7,33	3,10	0,86	0,12

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES

4.2.2.1 Solventes de Uso Doméstico

El uso de varios productos que contienen compuestos orgánicos volátiles (COVs) contribuye a la formación de ozono troposférico.

Los productos de consumo doméstico que emiten COVs incluyen aerosoles, productos para el hogar, para el cuidado personal, limpiadores para frotar, líquidos para el cuidado de automóviles, abrillantadores y ceras, adhesivos, desodorantes, detergentes, entre otros.

Metodología

Los inventarios de emisiones anteriores a nivel nacional han aplicado el método de cálculo utilizado por la EPA [9], empleando la expresión general presentada en la Ecuación 9, donde

se consideran factores de emisión per cápita y el nivel de actividad está dado por cifras de población.

$$E = P \times FE$$

Ecuación 9

Donde:

- E: Emisión COVs (kg/año)
- FE: Factor de Emisión per cápita (kg COV/persona/año)
- P: Población (número de habitantes)

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los presentados por la EPA en el documento del "Emission Inventory Improvement Program" (EIIP) [32], que considera la emisión de COVs per cápita.

Tabla 58. Factores de Emisión para uso de solventes

Productos	Factor de Emisión (kg COV/persona/año)	Referencia
Productos en Aerosol	0,05	EIIP Tabla 5.4-1 [32]
Productos Domésticos	0,36	
Productos de Cuidado personal	1,05	
Productos de Cuidado Automotriz	0,61	
Adhesivos y Selladores	0,26	
Pesticidas Comerciales y Domésticos	0,81	
Productos Misceláneos	0,03	
Total	3,2	

Fuente: Elaboración propia en base a EIIP Tabla 5.4-1[32]

Nivel de Actividad

El nivel de actividad para esta fuente está dado por la población total proyectada al año 2020 del área de estudio, según cifras entregadas por el INE [1].

Tabla 59. Nivel de actividad para uso de solventes

Comuna	Valdivia	Referencia
Población proyectada (año 2021)	178.226	Censo de Población - INE 2017 [1]

Fuente: Elaboración propia en base a la proyección poblacional al año 2021, INE 2017.

Estimación de Emisiones

Las emisiones generadas a partir del uso de solventes a nivel residencial se presentan en la Tabla 60, en unidades de ton/año de COVs. Se observa que la mayor generación proviene de los productos de cuidado personal, seguido por uso de pesticidas.

Tabla 60. Estimación de emisiones provenientes del uso de solventes

Tipo de Fuente	Valcivia	
	Emisiones (Ton/año COVs)	distribución porcentual
Productos en Aerosol	8,2	1,5%
Productos Domésticos	64,2	11,4%
Productos de Cuidado personal	187,1	33,2%
Productos de Cuidado Automotriz	108,7	19,3%
Adhesivos y Selladores	46,3	8,2%
Pesticidas Comerciales y Domésticos	144,4	25,6%
Productos Misceláneos	5,3	0,9%
Total	564,3	100,0%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2 Pintura Arquitectónica

Las operaciones de pintado arquitectónico consisten en la aplicación de una capa fina de pintura al óleo, al agua, laca o barniz a superficies arquitectónicas, para renovación de fachadas o proteger de la corrosión, la humedad y la radiación a superficies.

Una gran gama de coberturas es utilizada tanto para interiores como exteriores y son en su mayoría aplicadas por dueños de casa y/o contratistas.

Las pinturas arquitectónicas están asociadas a la emisión de COVs, variando su generación en función de los productos constituyentes.

Metodología

Considerando las fuentes de información disponibles, se ha establecido el enfoque metodológico del Inventario Nacional de Emisiones de México [28], que emplea factores de emisión per cápita, siendo el nivel de actividad las cifras de población de la zona de estudio. La estimación se obtiene mediante la expresión de la Ecuación 10.

$$E = P \times F \times E$$

Ecuación 10

Donde:

- E: Emisión COVs (kg/año)
- FE: Factor de Emisión per cápita (kg COV/persona/año)
- P: Población (número de habitantes)

Factores de Emisión

El factor de emisión corresponde a un factor per cápita, siendo estimado en 1,36 kg de contaminante por persona al año.

Tabla 61. Factores de emisión Pintura Arquitectónica

Fuente	Factor de Emisión	Referencia
Pintado Arquitectónico	1,36 Kg COV /persona/año	Manual Inventario de Emisiones México [28]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad de esta fuente está dado por la población total proyectada al año 2020 del área de estudio, según cifras entregadas por el INE [1].

Tabla 62. Nivel de actividad Pintura Arquitectónica

Comuna	Valdivia	Referencia
Población proyectada (año 2021)	175.226	Censo de Población - INE 2017 [1]

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de las emisiones de COVs generadas por la actividad pintura arquitectónica se presenta en la Tabla 63.

Tabla 63. Estimación de Emisiones de Pintura Arquitectónica

Tipo de Fuente	FE (Kg/persona/año)	Emisiones (Ton/año COVs)
		Valdivia
Pintura Arquitectónica	1,36	242,39

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3 Emisiones Residenciales de Amoníaco (NH₃)

Las actividades agrícolas se consideran las principales fuentes emisoras de NH₃, sin embargo, existen otras fuentes generadoras de este contaminante, como es el caso de actividades

humanas cotidianas, y procesos fisiológicos asociados a seres humanos y animales domésticos.

Metodología

La metodología asociada a la estimación de esta fuente será la empleada en el Manual de Inventario de emisiones de México [28], considerando los factores de emisión per cápita, además de los niveles de actividad asociados a población según zona de estudio.

La expresión empleada para la estimación se presenta en la Ecuación 11.

$$E = P \times FE \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

E: Emisión COVs (kg/ año)

FE: Factor de Emisión per cápita (kg COVs/persona/año)

P: Número de habitantes según rango etario – Asociadas a actividades humanas

P: Número animal según tipo – Asociadas a actividades animales

Factores de Emisión

Los factores de emisión para este tipo de fuente están dados por cada actividad que genera el contaminante y se encuentran en función de la población humana y animal.

Tabla 64. Factores de emisión para fuentes residenciales de NH₃

Fuente	Factor Emisión	Unidad	Referencia
Transpiración humana	0,25	Kg/persona/año	Manual Inventario de Emisiones México [28]
Respiración humana	0,0016	Kg/persona/año	
Uso doméstico NH ₃	0,023	Kg/persona/año	
Pañales desechables	0,16	Kg/persona < 3 años /año	
Desechos humanos	0,023	Kg/persona/año	
Perros	2,49	Kg/animal/año	
Gatos	0,82	Kg/animal/año	

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad para actividades humanas corresponde a las cifras de población proyectadas al año 2021, según rango etario [1].

Tabla 65. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH₃ – actividades humanas

Número de habitantes por rango	Valdivia	Referencia
Población 0 - 3 años	7.587	INE 2017 [1]
Población > 4 años	170.639	
Población Total Proyectada	178.226	

Fuente: Elaboración propia

El nivel de actividad relacionado con las emisiones generadas por animales doméstico se obtiene mediante relaciones entre número de personas y número de animales de compañía. Para la comuna de Valdivia se encuentra una estadística asociado a un Estudio Demográfico Animales de la Universidad Austral de Chile, del año 2005, considera estimaciones de poblaciones caninas y felinas con dueño a nivel nacional, regional y comunal mediante las relaciones: 0,68 perros cada 1 vivienda, 0,71 gatos por vivienda [35]

 Tabla 66. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH₃ – animales domésticos

Población Animales	Valdivia	Referencia
Perros	43.019	Estudio demográfico animales. Universidad Austral de Chile [35]
Gatos	45.182	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de emisiones

La estimación de emisiones de NH₃ proveniente de las fuentes residenciales se presentan en la Tabla 67.

 Tabla 67. Estimación de Emisiones para fuentes residenciales de NH₃

Tipo de Fuente	Valdivia	
	Emisiones (Ton NH ₃ /año)	Distribución Porcentual
Transpiración humana	44,6	22%
Respiración humana	0,3	0%
Desechos humanos	3,9	2%
Uso doméstico de NH ₃	4,1	2%
Pañales	1,2	1%
Perros	107,1	54%
Gatos	37,0	19%
Total	198,2	100%

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4 Fugas Residenciales de GLP

Las pérdidas desde el GLP pueden ocurrir de diversas formas desde una red, pudiendo estar relacionadas a las operaciones asociadas a la distribución, como a defectos propios de los sistemas de contención.

Metodología

Para la estimación de emisiones provenientes de las fugas residenciales de GLP se utiliza la información de consumo combustible, provisto por las SEC, al cual se le aplica un porcentaje de pérdida estimado en base a la información de Inventarios de México. La ecuación empleada corresponde a la expresión general para estimación de emisiones, en donde el factor de emisión corresponde al porcentaje de fuga, tal como se presenta en la Ecuación 12.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- E : Emisión contaminante (Ton/año)
- FE : Factor de Emisión (% de gas que se fuga)
- NA : Toneladas GLP consumidas al año

Factores de Emisión

El factor de emisión corresponde al porcentaje de fuga del gas, establecido en el Manual de Inventario de Emisiones de México.

Tabla 68. Factores de emisión Fugas de GLP

Fuente	Factor de Emisión	Referencia
Fuga GLP Res.	3,6 %	Manual Inventario de Emisiones México [28]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por la cantidad de GLP envasado y a granel consumido en las comunas en estudio, para el sector residencial. Para esto se consideran estadísticas regionales de venta de GLP y se obtiene un valor proporcional en función de la población.

Tabla 59. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP - Residencial

Consumo GLP (ton/año)	Valdivia	Referencias
Envasado	7.249	SEC – Venta anuales GLP (34)
Granel	5.507	
Total	12.756	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de las fugas de GLP se presentan a continuación en la Tabla 70.

Tabla 70. Estimación de emisiones provenientes de fugas de GLP - Residencial

Contaminante	Emisiones (Ton/año)
	Valdivia
COVs	459

Fuente: Elaboración propia

4.3 FUENTES COMERCIALES

4.3.1 FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES

4.3.1.1 Distribución de Combustible

Las emisiones correspondientes a las pérdidas evaporativas de COVs para esta categoría, se producen en el almacenamiento, transporte y expendio de gasolina. Para otros combustibles las emisiones se consideran poco significativas dada su baja presión de vapor.

Metodología

El enfoque metodológico considera la obtención de datos del consumo de gasolina multiplicado por factores de emisión que determinan las pérdidas evaporativas, según lo indicado en el AP-42 Sección 5, "Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids" [36]

Factores de Emisión

Factor de Emisión por llenado de estanques

El factor de emisión resultante para la fuente distribución de combustible, por operaciones de llenado, se presenta en la Tabla 71.

Tabla 71. Factor de emisión para COV por transporte de combustible

Variable	Valor	Unidad	Referencia
L	1,05999E-06	Ton/ m ³ de líquido cargado	AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [36]

Fuente: Elaboración propia

Factor de Emisión por expendio final

Para el expendio final, las fuentes evaporativas de COV, se ocasionan durante el traspaso de combustible que realizan los camiones a las estaciones de servicio para su distribución final, y están asociadas a los llenados de los estanques subterráneos de gasolina con camiones distribuidores, respiración de estanques en el momento de llenado o vaciado y derrames accidentales durante el expendio. La Tabla 72 muestra las distintas etapas del expendio final de combustible con sus factores de emisión.

Tabla 72. Factores de emisión de COV para el expendio final

Etapas	FE (mg/l transferido)	Observación
Llenado de estanques y camiones	880	Alimentación sumergida
	1380	Llenado por rociado directo
	40	Llenado por traspaso de vapores
Respiración de estanques	120	---
Llenado de estanques de vehículos	1320	Llenado no controlado
	132	Llenado controlado
Derrames	80	---

Fuente: AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [6]

De esta forma, se obtiene el factor de emisión correspondiente a 0,004Ton COV/m³ de combustible.

Tabla 73. Factores de emisión de COV para distribución de combustible

Variable	Valor	Unidad	Referencia
FE llenado	1,05999E-06	Ton/ m ³ de líquido cargado	AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [36]
FE expendio Final	0,004	Ton/m ³	

Fuente: AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [36]

Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde al volumen de combustible (gasolina) transportado desde las plantas de almacenamiento a los camiones distribuidores. Para lo cual se considera que

el volumen de combustible transportado es igual al total de ventas de las compañías distribuidoras. La información de ventas de gasolinas se obtuvo desde los informes estadísticos de la SEC, para el año 2020 [34], el que incluye las ventas realizadas a la industria, comercio o particulares; empresas de transportes y al consumo interno de vehículos de las empresas distribuidoras.

Tabla 74. Nivel de actividad para estimación de fugas por distribución de combustible

Consumo de Combustible (m ³)	Ventas (m ³ /año)	Referencia
Región de La Araucanía	322.267	Estadísticas SEC [34]
Fracción Comuna/Región	43,7%	Censo 2017 [1]
Consumo por comuna	140.838	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de la distribución de combustible se presentan a continuación en la Tabla 75.

Tabla 75. Estimación de emisiones por distribución de combustible

Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)	
	Valdivia	
Expendio de combustible	556,6	
Transporte de combustible	0,1	
Total	556,7	

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Lavasecos

Dentro de las fuentes evaporativas de área, los lavasecos poseen una importancia relativa a la contribución de emisiones de COVs, debido a la utilización de solventes sintéticos halogenados y/o solventes orgánicos derivados del petróleo, para el proceso de lavado. El proceso general de limpieza en seco involucra 3 pasos: lavado de telas con solventes, centrifugado para retirar los excesos de solvente y el secado por una corriente de aire caliente [36].

Metodología

La metodología planteada en el Manual de Inventarios de México y la EPA proponen dos enfoques, uno emplea factores de emisión por número de trabajadores por lavaseco y otra emplea factores de emisión asociados a la población.

Para el presente inventario se utiliza el enfoque asociado a estadísticas de población local, para el cual emplea la expresión señalada en la Ecuación 13.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- E: Emisión COVs (Ton/año)
- FE: Factor de Emisión (Kg COVs/habitante-año)
- NA: Número de trabajadores por lavaseco

Factores de Emisión

El factor de emisión de COVs, generados en las operaciones de los lavasecos se presenta a continuación.

Tabla 76. Factor de Emisión por pérdidas por solvente para lavasecos.

Fuente	Factor de Emisión		Referencia
Lavasecos	0,0633	Kg COVs/habitante-año	Manual Inventario de Emisiones México [28]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de está determinado por la población del área de estudio.

Tabla 77. Nivel de actividad para estimación emisiones provenientes de Lavasecos

Comuna	Valdivia	Referencia
Población proyectada (año 2021)	178.226	Censo de Población - INE 2017 [1]

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de emisiones de COVs asociadas a las actividades de lavasecos, se presenta en la Tabla 78.

Tabla 78. Estimación de emisiones provenientes de Lavasecos

Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)
Lavasecos	11,3

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3 Pintura Industrial (Vehículos)

Esta categoría se refiere al revestimiento de automóviles como parte de su fabricación; incluye protección contra la corrosión en el punto de fabricación. Los contaminantes más importantes liberados en actividades de pintado industrial de vehículos son los COVs, provenientes de los solventes contenido en los revestimientos. También puede ser emitido material particulado al utilizar la pulverización como técnica de aplicación; sin embargo, muchos de las operaciones de pulverización se llevan a cabo en cabinas de pulverización equipadas con algún tipo de dispositivo de captación de partículas.

Metodología

El enfoque europeo para la estimación de emisiones provenientes de esta fuente considera factores de emisión asociados al consumo de pintura empleado para revestir los vehículos o al número de vehículos pintados [37], información que, por su especificidad y variedad de la industria, no se encuentran disponibles. Por lo que se emplea el enfoque asociado a la población, utilizado en el Manual de Inventarios de México [28] y se calcula según la expresión señalada en la Ecuación 14.

$$E = P \times FE \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- E: Emisión COVs (kg/ año)
- FE: Factor de Emisión per cápita (kg COVs/persona/año)
- P: Población (Número de habitantes)

Factores de Emisión

Los factores de emisión a aplicar corresponden a los que se presentan a continuación para aplicación de pintura industrial.

Tabla 79. Factor de Emisión para Pintado Industrial de Vehículos

Contaminante	FE (kg/persona-año)	Referencia
COV	0,14	Manual Inventario de Emisiones México [28]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad se encuentra asociado a cifras de población proyectada al año 2020 en el área de estudio, según información contenida en el último Censo efectuado en Chile.

Tabla 80. Nivel de actividad para Pintado Industrial de Vehículos

Comuna	Valdivia	Referencia
Población proyectada (año 2021)	178.226	Censo de Población - INE 2017 [1]

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones estimadas para la fuente Pintado Industrial de Vehículos se presenta en la Tabla 81.

Tabla 81. Estimación de Emisiones para Pintado Industrial de Vehículos

Tipo de Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)
	Valdivia
Pintura Vehículos	24,95

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.4 Aplicación de Asfalto

Los caminos de asfalto son una mezcla compactada de áridos y un ligante asfáltico. Grava natural, piedra manufacturada o subproductos del refinado de minerales metálicos se utilizan como agregado, cemento asfáltico o asfalto licuado se pueden usar como el aglutinante de asfalto [14].

Metodología

La metodología aplicada obedece a la ecuación general para la estimación de emisiones, en donde el nivel de actividad está dado por las toneladas de asfalto aplicadas en un año y se calcula según la expresión presentada en la Ecuación 15.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- E: Emisión contaminante (Ton/año)
- FE: Factor de Emisión (Kg COVs/ton asfalto aplicado)
- NA: Toneladas de asfalto aplicada

Factores de Emisión

Los factores de emisión a aplicar corresponden a los que se presentan a continuación para aplicación de asfalto.

Tabla 82. Factor de emisión por aplicación de asfalto

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
COVs	320	Kg COV/ton de asfalto	Manual Inventario de Emisiones Chile [14]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por la superficie de camino asfaltada durante el año de estudio, según estadísticas del MOP (Plan de Obras 2020-2021, Programa de Pavimentación Participativa, MINVU). Para estimar las toneladas de asfalto aplicadas se emplea un factor de aplicación de 100 toneladas de asfalto por km² de pavimento. De esta manera, se obtiene el nivel de actividad presentado en la Tabla 83.

Tabla 83. Nivel de actividad para aplicación de asfalto

Comuna	Km pavimentados	Ton asfalto	Referencia
Valdivia	2,9	6	Dirección de Vialidad

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones estimadas para la fuente Aplicación de Asfalto se presenta en la Tabla 84

Tabla 84. Estimación de Emisiones para aplicación de asfalto

Tipo de Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)	
	Valdivia	
Aplicación de asfalto	1,8	

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.5 Fugas Comerciales de GLP

Las emisiones fugitivas a partir del GLP son contaminantes que escapan a través de un proceso industrial, manejo de materiales, control operativo inadecuado, transferencia, almacenamiento o distribución. Con el equipo de GLP adecuadamente mantenido, las emisiones fugitivas son confinadas principalmente a las operaciones de transferencia de carga del tanque, y estas emisiones son controlables. Con el equipo mantenido de forma inadecuada, fugas en la distribución del sistema pueden ocurrir en válvulas y franges.

Metodología

De acuerdo a la metodología aplicada en otros inventarios de emisiones se propone la metodología de cálculo mediante factor de emisión, asociada al porcentaje de gas que se fuga, según se presenta en la Ecuación 16 .

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

- E : Emisión contaminante (Ton/año)
- FE : Factor de Emisión (% de gas que se fuga)
- NA : Toneladas GLP granel

Factores de Emisión

El factor de emisión corresponde al porcentaje de fuga del GLP.

Tabla 85. Factor de Emisión por Fugas Comerciales de GLP

Contaminante	Factor de Emisión		Referencia
COV	3,6	%	Manual de Inventarios México [28]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

Para determinar el nivel de actividad se estima la cantidad de GLP comercializado para la comuna de Valdivia.

Tabla 86. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP -Comercial

Consumo GLP (ton/año)	Valdivia	Referencias
GLP Industrial	1.955	SEC - Venta anuales GLP [34]
GLP Comercial	3.445	
Total	5.399	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de las fugas comerciales de GLP se presentan a continuación en la Tabla 87.

Tabla 87. Estimación de emisiones de fugas de GLP -Comercial

Fuentes emisoras	Emisiones COVs (Ton/año)	
	Valdivia	
Fugas Com. GLP	194,37	

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 RESTAURANTES Y COMIDA RÁPIDA

4.3.2.1 Parrillas y Asadurías

Para las fuentes denominadas restaurantes se considera solamente aquellos que ofrecen las llamadas "parrilladas" a sus clientes, pues son estos los que emplean combustibles como leña y carbón.

Metodología

Esta fuente se refiere a la operación de asar carnes, que por lo general son de vacuno o de pollo sobre una flama abierta en el que se permite que la grasa escurra hacia adentro de la flama abierta y que usen como combustible leña o carbón.

La EPA considera factores de emisión asociados a la cantidad de carne asada por tipo, sin embargo, este es un valor difícil de precisar, por lo tanto, la metodología a emplear será la utilizada en otros inventarios nacionales, que considera la parrilla como un horno de cocción que opera con carbón vegetal, por lo tanto, el factor de emisión está asociado al consumo de combustible.

$$E = NA \times FE$$

Ecuación 17

Donde:

- E : Emisiones provenientes de parrillas
- NA : Consumo de combustible (Ton/año)
- FE : Factor de emisión (Ton contaminante/Ton combustible)

En el caso de obtener información respecto a la cantidad de carne cocinada bajo esta técnica, se empleará este dato como nivel de actividad.

Factores de Emisión

Se han encontrado factores de emisión en función del tipo de carne asada y en función de la cantidad de carbón empleada como combustible para esta actividad (Tabla 88). Para la estimación de emisiones de esta fuente se empleará el factor para el cual haya información.

Tabla 88. Factores de emisión para restaurantes (parrillas) (Ton/ton)

Fuentes	Factores de Emisión (Ton contaminante/ ton combustible)					Referencia
	PTS	MP10	SO ₂	NO _x	CO	
Asadurías y parrillas	0,031	0,0208	0,00004	0,00375	0,003	DICTUC [39]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

Para estimar el nivel de actividad se solicita información a la municipalidad, vía ley de transparencia, respecto a la cantidad de patentes comerciales vigentes al año 2021 en Valdivia de las actividades económicas: restaurante, rotisería y elaboración de platos preparados. Luego, vía llamada telefónica se obtiene información acerca del nivel de consumo de combustible asociado a la actividad económica.

Algunos de los locatarios proporcionan información, sin embargo, otros la reservan por considerar información sensible para la competencia. Con la información que se pudo recopilar, se estableció un consumo promedio para completar la información de los locales que no indicaron consumo. Con esto, se obtuvo un consumo total de combustible carbón vegetal de 22 Ton/año para Valdivia. Los datos de consumo se presentan en la Tabla 89.

Tabla 89. Nivel de actividad para parrillas y asadurías

Tipo establecimiento	Número	Consumo promedio (kg/año)	Consumo total (kg/año)
Parrillas	5	2.040	10.200
Asadurías	2	6.000	12.000
Total	7		22.200

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de emisiones asociada a las actividades de Parrillas y Asadurías se presenta en la Tabla 90.

Tabla 90. Estimación de emisiones de Parrillas y Asadurías

Fuentes emisoras	FE (Ton Comb/Ton Comb)	Consumo carbón (Ton/año)	Emisiones (Ton/año)
		Valdivia	Valdivia
MP10	0,0208	22,2	0,46
MP2,5	0,0208	22,2	0,46
SO ₂	0,0000	22,2	0,00
NOX	0,0038	22,2	0,08
CO	0,0030	22,2	0,07

Fuente: Elaboración propia

4.4 QUEMAS

En la categoría quemas, se incluyen quemas agrícolas, incendios forestales, incendios urbanos (viviendas y vehículos) y consumo de cigarrillos, siendo las más relevantes, en

términos de generación de emisiones las dos primeras. Este tipo de eventos tiene una marcada estacionalidad y ubicación hacia zonas rurales y boscosas.

4.4.1 QUEMAS AGRÍCOLAS

Se considera en esta categoría a las quemas de restos de cultivos en la zona agrícola o lugar de cultivo, con fin de preparar los suelos para dobles cultivos o para el siguiente ciclo agrícola. La emisiones derivadas de la quema de residuos agrícolas son principalmente: MP10 y NO_x, COVs y CO.

Las emisiones de quemas agrícolas dependen de varios factores diferentes. En general se diferencian según los tipos de cultivos en distintas situaciones de actividad agrícola, como por ejemplo, actividades asociadas a quemas de residuos y rastrojos generados en la etapa de cosecha, actividades asociadas a podas y actividades de disminución de pastizales y hierbas, en donde para cada una de ellas serán relevantes las cargas de combustible por superficie consumida (cantidad de material orgánico por unidad de área de terreno).

Metodología

La California Air Resource Board (CARB) presentó en junio de 2005 una actualización metodológica para calcular las emisiones producto de las quemas agrícolas [40] donde el factor de emisión usado depende del tipo de cultivo y del tipo de quema.

Así las emisiones se calculan según la siguiente ecuación:

$$E = S \times FE \times FC \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

<i>E</i>	:	Emisiones anuales [Ton/año].
<i>S</i>	:	Superficie en hectáreas consumidas por quemas agrícolas.
<i>FE</i>	:	Factor de emisión del contaminante considerado (kg/Ton material).
<i>FC</i>	:	Factor de carga (Ton/ha)

Corresponde señalar que además se presenta un nuevo parámetro a contemplar, el factor de carga de combustibles (cantidad de material orgánico por unidad de área de terreno) para los diferentes tipos de cultivos.

Los factores de emisión utilizados actualmente por la CARB, corresponden a los publicados en la Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology [40], los cuales se encuentran detallados por tipos de cultivos agrícolas en distintas situaciones de actividad agrícola, como actividades asociadas a quemas de residuos y rastrojos agrícolas posterior a

la época de cosecha, actividades asociadas a podas y actividades de disminución de pastizales y hierba.

Las emisiones provenientes de quemas agrícolas han sido estimadas por varios inventarios nacionales, tales como los desarrollados para las regiones V, VI y IX, el año 2001 por CENMA; para la Región Metropolitana año 2007 por DICTUC, para Temuco y Padre las Casas año 2008, desarrollados por la UCTemuco, para Valle Central de O'Higgins año 2013, Concepción Metropolitano año 2013, Valdivia año 2014 y Temuco y Padre Las Casas años 2014, 2017 y 2020, desarrollados por SICAM Ingeniería, todos los cuales se basan en la metodología propuesta por la CARB [40].

Los niveles de actividad requeridos para el cálculo de las emisiones corresponden a las hectáreas quemadas por tipo de cultivo. De acuerdo a lo señalado en la Guía Metodológica de Inventarios de Emisiones [14], se recomienda presentar este tipo de emisiones según su distribución mensual, dado que el D.S. N°25/2016 del MMA que establece el PDA Valdivia [4] establece restricciones de fecha para estas actividades.

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los definidos por la CARB [40] y se presentan en la Tabla 91 según tipo de cultivo.

Tabla 91. Factores de emisión para quemas agrícolas por tipo de cultivo (Ton/Ton)

Cultivo	MP10	MP2.5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃	Factor de carga (Ton/ha)	Referencia
Trigo	0,0048	0,0046	0,0020	0,0004	0,0034	0,0561	0,0009	4,8	CARB [40]
Avena	0,0094	0,0089	0,0020	0,0003	0,0047	0,0617	0,0010	4	
Cebada	0,0065	0,0063	0,0023	0,0000	0,0068	0,0833	0,0013	4,3	
Vegetación	0,0072	0,0069	0,0020	0,0003	0,0049	0,0517	0,0008	5,4	
Ramas	0,0053	0,0045	0,0037	0,0011	-	0,0371	0,0004	1,9	
Desechos de pino	0,0081	0,0068	0,0035	0,0011	-	0,0719	0,0007	6,5	
Otros	0,0076	0,0073	0,0021	0,0003	0,0061	0,0538	0,0009	5,4	
Varios ¹									

¹Para la categoría Varios se calcula el promedio entre los factores de emisión de los que se compone la mezcla de cultivos

Nivel de Actividad

Los niveles de actividad requeridos para el cálculo de las emisiones corresponden a las hectáreas quemadas por tipo de cultivo.

La Tabla 92 presenta la superficie afectada por quemas agrícolas para los distintos tipos de cultivo, para la comuna de Valdivia, según información proporcionada por CONAF. Se

observa que la superficie es variable según el año evaluado, con un promedio de 47 ha por año, sujetas a esta práctica.

Tabla 92. Superficie afectada por quemas agrícolas años 2017-2021, comuna de Valdivia

Tipo cultivo	Superficie afectada (ha), según año de ocurrencia				
	2017	2018	2019	2020	2021
Agrícola	26,2	95,1	34,6	53,0	16,0
Forestal	2,0	3,5	2,2	0,9	
Forestal/Agrícola		0,3	0,4		0,0
Total general	28,2	98,8	37,2	53,9	16,1

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas entregadas por CONAF

Luego, para determinar el nivel de actividad, se desagregan las quemas por tipo de cultivo, y se emplean el promedio de los últimos 3 años, para la estimación de emisiones.

Tabla 93. Nivel de actividad quemas agrícolas años 2017-2021, comuna de Valdivia

Tipo Cultivo	Superficie (ha)
	Valdivia
Trigo	26,6
Avena	1,7
Cebada	
Vegetación	
Ramas	1,5
Desechos de pino	
Otros ¹	6,2
Varios ²	0,2
Total	36,3

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas entregadas por CONAF

Distribución temporal

El PDA de Valdivia prohíbe el uso fuego en terrenos agrícolas en el periodo comprendido entre el 01 de mayo y 30 de septiembre de cada año [4], por lo tanto, la temporada de quemas ocurre entre el 01 de octubre y el 30 de abril, lo cual se puede observar en el gráfico de distribución temporal presentado en la Figura 20, en donde se aprecia que el año 2017 el periodo de aplicación era más amplio abarcando desde marzo a mayo, luego, para los años posteriores en los meses permitidos por el PDA (entre diciembre y abril) en casi la totalidad de los eventos, observándose solo un evento el 06 de mayo de 2020 con 0,5 ha.

Se observa que la mayoría de los eventos queman superficie bajo 5 ha, observándose solo un evento inusual donde se queman 50 hectáreas durante el mes de marzo de 2018 (se

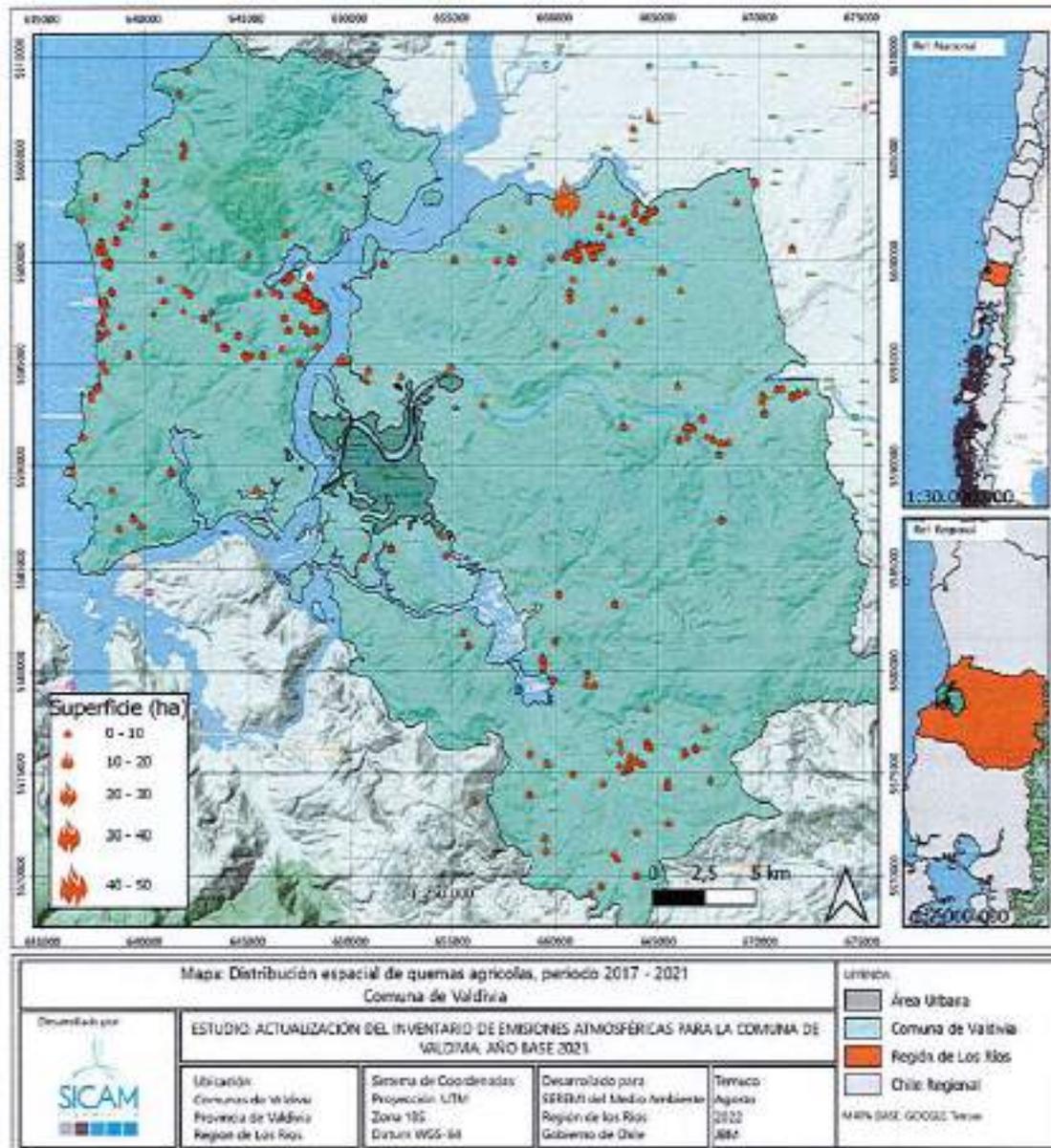


Figura 21. Distribución espacial de quemas agrícolas comuna de Valdivia periodo 2017-2021

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas de CONAF

Estimación de Emisiones

Con la metodología antes descrita se realizó la estimación de emisiones provenientes de las quemas agrícolas, las cuales están directamente relacionadas con la cantidad de hectáreas quemadas por tipo de cultivo.

Tabla 94. Estimación de emisiones de Quemadas Agrícolas Valdivia

Cultivo	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Trigo	0,60	0,57	0,24	0,05	0,43	7,01	0,11
Avena	0,06	0,06	0,01	0,00	0,03	0,42	0,01
Ramas	0,02	0,01	0,01	0,00	-	0,11	0,00
Otros	0,26	0,24	0,07	0,01	0,21	1,81	0,03
Varios ¹	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
Total	0,94	0,90	0,34	0,07	0,67	9,41	0,15

Fuente: Elaboración propia

¹Corresponde a dos o más tipos de cultivos

4.4.2 INCENDIOS FORESTALES

Esta fuente se asocia a procesos de combustión de origen natural y/o incontrolado, que consumen vegetación de diversas especies y que varían en edad, tamaño y densidad para una zona geográfica determinada. De ahí la relevancia de esta fuente, por su capacidad de emitir grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera, y el potencial impacto que estas puedan tener en áreas urbanas cercanas.

El tamaño y la intensidad, incluso la aparición de un incendio forestal depende directamente de variables tales como las condiciones meteorológicas, las especies de vegetación presentes en el área de ocurrencia y su contenido de humedad, y la cantidad de material combustible por hectárea (carga de combustible disponible). Una vez que se inicia un incendio, el material combustible seco se consume primero. Luego, si las condiciones imperantes en el evento favorecen las altas temperaturas e impiden realizar un rápido control, el material verde se secará rápidamente y dará lugar a la combustión del mismo, generando reacciones en cadena que extenderán el área afectada, elevando la emisión de contaminantes.

Metodología

Las emisiones generadas dependen de muchas variables, pero las más importantes son el tipo o especie quemada y el contenido en humedad de las mismas. Las emisiones más características generadas por los incendios forestales corresponden a MP10, CO, CO₂, COVs y NO_x.

La CARB establece una metodología basada en la cantidad de combustible o material que se quema en un incendio forestal, el cual varía según el tipo de vegetación afectada. De esta manera, la ecuación de cálculo incorpora la variable factor de carga, quedando según se muestra a continuación en la Ecuación 19.

$$E = S \times FE \times FC$$

Ecuación 19

Dónde:

- E : Emisiones anuales del contaminante considerado (Ton/año)
- S : Superficie en hectáreas consumidas por el fuego (Há)
- FE : Factor de emisión del contaminante considerado (kg/Ton)
- FC : Factor de carga del material consumido por el fuego (Ton/Há)

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los definidos por la CARB [40] y se presentan en la Tabla 95. Como se observa en la Tabla, estos factores de emisión dependen del tipo de vegetación que es afectada por el fuego del incendio, y varían levemente según la condición de humedad del material quemado.

Tabla 95. Factores de emisión para incendios forestales por tipo de cultivo (Ton/Ton)

Tipo Bosque	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃	Factor de carga (Ton/ha)	Ref.
Pino	0,00972	0,00824	0,00342	0,00104	0,00658	0,09261	0,00095	50,4	CARB [40]
Eucaliptus	0,00972	0,00824	0,00342	0,00104	0,00658	0,09261	0,00095	69,4	
Arboleado	0,01130	0,00959	0,00333	0,00104	0,00658	0,11214	0,00113	50,4	
Matorral	0,00630	0,00536	0,00360	0,00113	0,00653	0,05013	0,00050	7,0	
Pastizal	0,01130	0,00959	0,00333	0,00104	0,00485	0,11214	0,00113	4,1	
Varios ¹									

¹Para la categoría Varios se calcula el promedio entre los factores de emisión de los que se compone la mezcla de plantaciones
Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

Los niveles de actividad requeridos para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponden a las hectáreas quemadas por tipo de plantación o material. La Tabla 96 presenta la superficie afectada por incendios forestales según tipo de plantación, por temporada para la comuna de Valdivia, según información proporcionada por CONAF.

Se observa que, entre los años 2017 y 2021 la superficie afectada por incendios forestales es de 13 hectáreas por año, con una ocurrencia de 7 eventos por año en promedio. El año que presenta una mayor superficie afectada corresponde al 2021, con 23 ha, con 19 eventos registrados.

Tabla 96. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2017-2021 Valdivia

Tipo de plantación		2017	2018	2019	2020	2021
PLANTACIONES FORESTALES	PINO INSIGNE 0- 10 AÑOS	0,00	0,00	0,90	0,00	11,80
	PINO INSIGNE 11- 17 AÑOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	PINO INSIGNE 18 O MAS	0,00	0,01	0,00	1,65	1,60
	EUCALIPTO	0,02	1,20	0,35	0,40	2,01
	OTRAS ESPECIES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	TOTAL	0,02	1,21	1,25	2,05	15,41
VEGETACIÓN NATURAL	ARBOLADO	3,28	0,33	5,15	0,56	0,25
	MATORRAL	1,67	4,25	11,81	3,39	2,77
	PASTIZAL	0,58	0,90	4,80	0,44	3,44
	TOTAL	5,53	5,47	21,76	4,38	6,45
OTROS DAÑOS	AGRICOLA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	DESECHOS	0,00	0,04	0,59	0,05	1,12
	TOTAL	0,00	0,04	0,59	0,05	1,12
TOTAL SUPERFICIE AFECTADA		5,55	6,72	23,60	6,48	22,98

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por el Departamento de manejo del fuego, CONAF.

Como nivel de actividad se emplea el promedio de la superficie afectada por incendios, según tipo de plantación, de los últimos 3 años.

Tabla 97. Nivel de actividad por incendios forestales, Valdivia

Tipo plantación	Superficie afectada (ha)	
	Valdivia	
Pino 0 a 10		11,8
Pino 11 a 17		-
Pino 18 o más		1,6
Eucalipto		2,0
Subtotal plantaciones		15,4
Arboleado		0,3
Matorral		2,8
Pastizal		3,4
Subtotal vegetación natural		6,5
Agrícola		-
Desechos		1,1
Subtotal otros		1,1
Total		23,0

Distribución temporal

El perfil anual entre los años 2017 y 2021 permite observar, en Valdivia, la ocurrencia de un evento particular el mes de febrero de 2019 con un incendio que afectó cerca de 20 hectáreas, lo cual se encuentra sobre la tendencia (se elimina del gráfico para que no afecte la visualización del grupo de datos de mayor frecuencia de ocurrencia), en donde se observa que la mayoría de los incendios afecta a superficies menores a 10 hectáreas, en la comuna. Respecto al periodo de ocurrencia, se observa que en su mayoría se registran entre los meses de octubre a marzo, asociado a meses cálidos de cada año, mostrando una marcada estacionalidad.



Figura 22. Perfil temporal de los incendios forestales en la comuna de Valdivia periodo 2017-2021
Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas entregadas por CONAF

Distribución espacial

El mapa presentado en la Figura 23 permite visualizar la distribución espacial de los incendios forestales, para el periodo comprendido entre el año 2017 y 2021, en la comuna de Valdivia y su nivel de magnitud. Se observa que la mayoría de estos eventos se concentran en zona rural, cercanas al centro urbano y también en la zona costera de la comuna. Respecto a la magnitud se aprecia que principalmente ocurren eventos que afectan superficie bajo las 10 ha, con una superficie máxima cercana a las 20 ha afectadas.

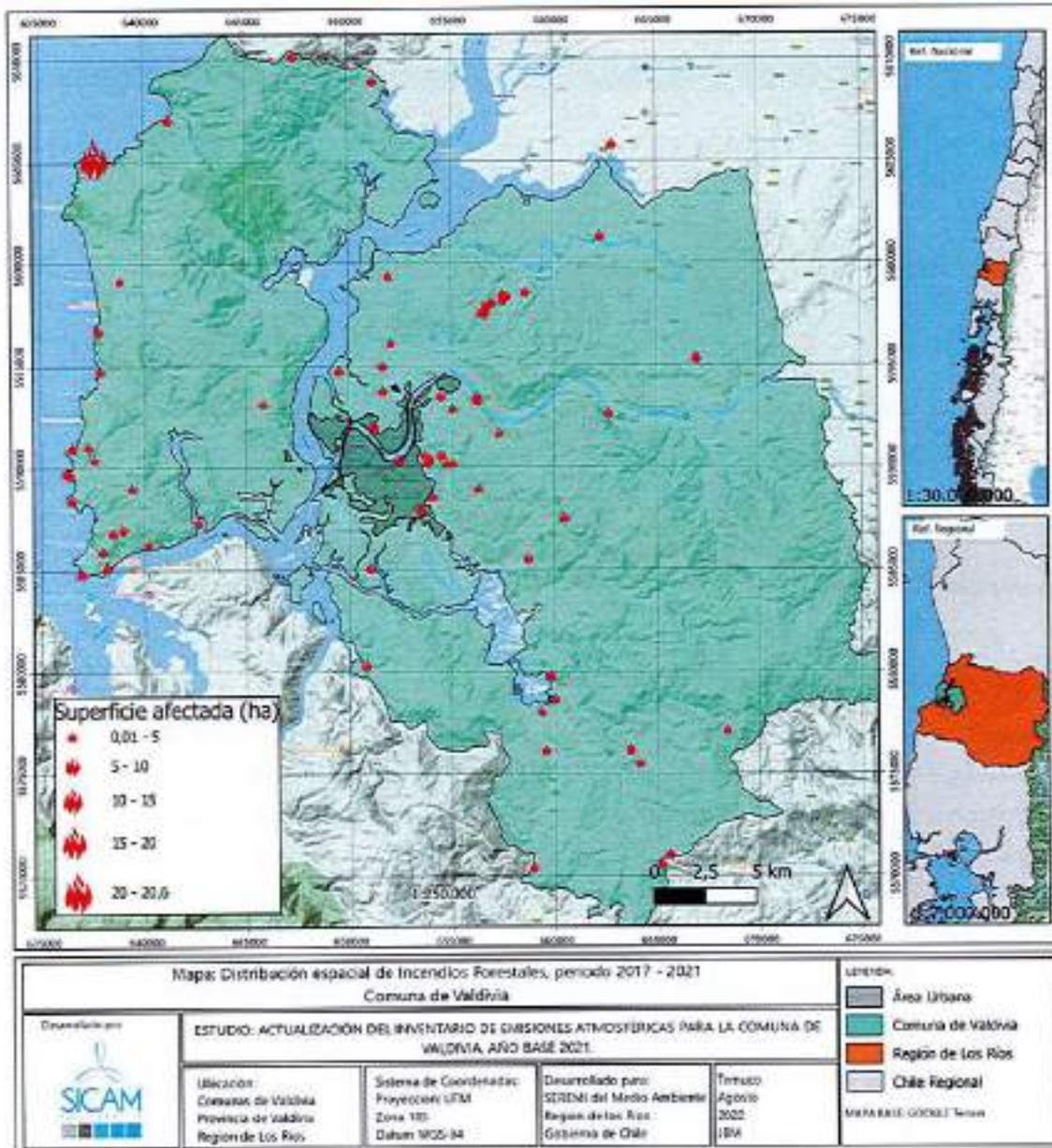


Figura 23. Distribución espacial de incendios forestales en la comuna de Valdivia periodo 2017-2021.

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas entregadas por CONAF

Estimación de Emisiones

Con la metodología antes descrita se realizó la estimación de emisiones provenientes de los incendios forestales, las cuales están directamente relacionadas con la cantidad de hectáreas quemadas por tipo de cultivo. Los resultados se presentan en la Tabla 98.

Tabla 98. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Valdivia

Cultivo	MP10	MP2.5	NOX	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Pino 0 a 10	5,78	4,90	2,03	0,62	3,91	55,08	0,56
Pino 11 a 17	-	-	-	-	-	-	-
Pino 18 o más	0,78	0,66	0,28	0,08	0,53	7,47	0,08
Eucalipto	1,36	1,15	0,48	0,14	0,92	12,92	0,13
Subtotal plantaciones	7,92	6,71	2,79	0,84	5,36	75,46	0,77
Arboleado	0,14	0,12	0,04	0,01	0,08	1,41	0,01
Matorral	0,12	0,10	0,07	0,02	0,13	0,97	0,01
Pastizal	0,16	0,14	0,05	0,01	0,07	1,58	0,02
Subtotal vegetación natural	0,42	0,36	0,16	0,05	0,28	3,97	0,04
Agrícola	-	-	-	-	-	-	-
Desechos	0,06	0,05	0,03	0,01	-	0,52	0,01
Subtotal otros	0,06	0,05	0,03	0,01	-	0,52	0,01
Total	8,40	7,12	2,97	0,90	5,64	79,95	0,81

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 INCENDIOS URBANOS Y VEHÍCULOS

Las emisiones generadas por los incendios urbanos son estimadas utilizando la metodología señalada en la "California Environmental Protection Agency, Carb, sección 7.14 Structure and Automobile Fires" [41]. Esta metodología considera el número de siniestros ocurridos durante el periodo de estudio.

Metodología

La expresión base para la estimación de esta fuente corresponde a la Ecuación 20

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio (ton/año)
- FE : Factor de emisión (kg/siniestros)
- NA : Nivel de actividad, definido en este caso por el número de siniestros ocurridos en un año (siniestro/año)

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los definidos por la CARB [41] y se presentan en la Tabla 99 y Tabla 100, para incendios estructurales y de vehículos, respectivamente.

Tabla 99. Factores de emisión para incendios de Viviendas

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
MP	9,57	kg/ incendio	CARB [41]
COV	12,29		
CO	148,57		
NOx	3,54		
SOx	0,02		

Fuente: Elaboración propia

Factores de emisión originales en Lb/incendio. Se utilizó un factor de conversión de 0,453 para obtener kg/incendio.

Tabla 100. Factores de emisión para incendios de vehículos

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
MP	7,71	kg/ incendio	CARB [41]
COV	3,27		
CO	9,64		
NOx	0,32		

Fuente: Elaboración propia

Factores de emisión originales en Lb/incendio. Se utilizó un factor de conversión de 0,453 para obtener kg/incendio.

Nivel de Actividad

El nivel de actividad puede ser obtenido mediante la información de incendios por tipo, para las comunas en estudio por parte de Bomberos. De acuerdo a la información proporcionada por el Cuerpo de Bomberos de Temuco, durante el año 2021 ocurrieron un total de 367 incendios en la comuna de Valdivia en viviendas y 111 incendios en vehículos.

Tabla 101. Nivel de actividad incendios urbanos

Item	Viviendas	Vehículos
N° Incendios ocurridos en Temuco 2020	367	42

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por el Cuerpo de Bomberos de Temuco

Para PLC se realizó una estimación en base a índices obtenidos del caso de Temuco

Estimación de Emisiones

Las emisiones generadas por la ocurrencia de incendios urbanos y de vehículos se presenta a continuación en la Tabla 102 para la comuna de Valdivia.

Tabla 102. Estimación de Emisiones Incendios urbanos según comuna

Contaminante	Emisiones Ton/año	
	Incendios viviendas	Incendios de vehículos
MP10	3,51	0,32
COV	4,51	0,14
CO	54,54	0,40
NOx	1,30	0,01

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 CONSUMO DE CIGARRILLOS

Las emisiones generadas por el consumo de cigarrillos se genera por la combustión del tabaco contenido en éste. La quema de cigarrillo puede generar emisiones de material particulado, CO₂, CO, NO_x, NH₃, además de formaldehído, cianuro de hidrógeno y fenoles [42].

Metodología

La expresión base para la estimación de esta fuente corresponde a la Ecuación 21.

$$E = C_N \times FE \quad \text{Ecuación 21}$$

Dónde:

C_N : Consumo de cigarrillos en el área de estudio (cigarrillos/año)

FE : Factor de emisión (mg/cigarrillos)

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los definidos por la CARB [42] se presentan los factores de emisión en la Tabla 103.

Tabla 103. Factores de emisión para consumo de cigarrillos

Compuesto	Factor de Emisión (mg/cigarrillo)	Referencia
MP2,5	8,1	CARB [42]
NO _x	0,89	
CO	96	
COVs ¹	0,193	
NH ₃	5,2	

¹ Obtenido a partir del promedio de emisiones de 16 especies de COVs (Acrylonitrile, Benzene, 1,3-Butadiene, 2-Butanone, Butyl acetate, Butyraldehyde, Ethyl acetate, Ethyl acrylate, Ethyl benzene, 3-Methyl- 1-butanol, Pyridine, Pyrrole, Styrene, Toluene, m,p-Xylene, o-Xylene)

Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde al número de cigarrillos que se consumen en la comuna de Valdivia, para lo cual es necesario conocer la prevalencia del consumo de tabaco en la región, así como también el consumo promedio por persona. La Encuesta Nacional de Salud, Chile 2016-2017 - Informe Tabaco, indica una prevalencia del consumo de cigarrillos en la Región de los Ríos es del 26,3% de la Población sobre 15 años. Además, se indica que el

consumo promedio en la zona sur es de 7 cigarrillos por día por persona. Con estos datos se determinó un nivel de actividad de 98.796.998 de cigarrillos/año en total.

Tabla 104. Nivel de Actividad para emisiones provenientes del consumo de cigarrillos

Comuna	Consumo cigarrillos / año	Referencia
Valdivia	98.796.998	ENCUESTA NACIONAL DE SALUD [43] [44]

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones generadas por el consumo de cigarrillos según comuna se presentan en la Tabla 105, y alcanzan 0,8 Ton/año de MP2,5.

Tabla 105. Estimación de Emisiones por consumo de Cigarrillos según comuna año 2021

Contaminante	Emisiones (Ton/año)	
	Valdivia	
MP2,5	0,80	
NO _x	0,09	
CO	9,48	
COVs ¹	0,02	
NH ₃	0,51	

Fuente: Elaboración propia

4.5 OTRAS FUENTES DE ÁREA

4.5.1 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

4.5.1.1 Vertederos

Los rellenos sanitarios y vertederos son utilizados para la disposición de residuos sólidos municipales. Sus emisiones más significativas son el CH₄ y los COVs.

Metodología

La metodología para estimar las emisiones generadas en el vertedero que propone la EPA, corresponde a la aplicación del modelo Landfills Gas Emissions Estimation Model (LandGEM) [45].

Este modelo se basa en una ecuación de primer orden donde se estima la cantidad de metano al año que se produce en el vertedero.

$$Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Ecuación 22

Donde:

QCH₄ : Tasa de generación de metano en el tiempo t, m³/año.

L₀ : Potencial de generación de metano m³ CH₄/Mg.

R : Tasa de depósito durante la vida activa de relleno.

e : Base de logaritmo natural.

k : Constante de la tasa de generación de metano.

c : Tiempo transcurrido desde que cierre del relleno, en años (c=0 si aún está activo).

t : Tiempo desde que comenzó a funcionar el relleno, en años.

Tabla 106. Tabla de valores para k.

Lluvia (mm/año)	Valor k
< 635	0,02
> 635	0,04

Fuente: AP42, EPA [45].

Para la estimación de emisiones del vertedero de la comuna de Valdivia se requiere la siguiente información: Año inicio de actividades, capacidad, vida útil, disposición de residuos por año en el vertedero.

Factores de Emisión

Los factores de emisión para esta fuente, presentados en la Tabla 107, se encuentran en función de la producción de metano del vertedero.

Tabla 107. Factores de Emisión para operaciones en Vertedero

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
NO ₂	0,00065	kg/m ³ CH ₄	AP-42 [45]
CO	0,012		
MP10	0,00027		

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El vertedero Morrompulli, ubicado en la comuna de Valdivia, recibe y dispone los residuos generados provenientes de las comunas de Valdivia, Panguipulli, Lanco, San José, Mafil, Los Lagos y Corral. Según se indica en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del Proyecto, el vertedero inicia las operaciones desde el año 2003 y se proyectaba a 15 años de vida útil, con la recepción de 50.000 ton/año de residuo. Luego, se revisó las

especificaciones técnicas de la licitación para la operación del vertedero se indica la recepción de 110.000 ton/año de residuos entre los años 2010 y 2016, luego, a partir del año 2017 se proyecta la recepción de 150.000 ton/año. La revisión de la licitación año 2022 que concesiona la operación del proyecto, disponible en Mercado Público, indica que su funcionamiento tiene fecha de término al año 2024, a partir de donde se iniciaría la operación de una estación de transferencia en la comuna.

La estimación de emisiones del vertedero es calculada por LANDGEM, luego, existen otras emisiones asociadas a los vertederos que tienen quema de gas como sistema de control, los cuales se presentan en la Tabla 108 y Tabla 109.

Tabla 108. Estimación de emisiones LANDGEM EPA

Emisiones	Emisión (m ³ /año)	Emisión (Ton/año)
CH ₄	10.618.403	7.084
COVNM	84.947	304
CO ₂	10.618.403	19.437

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109. Estimación de emisiones de otros contaminantes de vertedero

Compuesto	Emisiones (Ton/año)
NO ₂	6,9
CO	127,4
MP10	2,9
COVNM	304,5
CO ₂	19.437,0

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Las plantas de tratamiento de aguas servidas generan principalmente emisiones de COVs y NH₃.

Los COVs son emitidos desde las plantas de tratamiento, colectores y sistemas de almacenamiento, a través de la volatilización de los compuestos orgánicos desde la superficie del líquido. Las emisiones son gatilladas a partir de mecanismos difusivos y/o convectivos, los primeros se dan cuando las concentraciones en la superficie del agua son muy superiores a las concentraciones ambientales de un compuesto dado, mientras que el mecanismo convectivo ocurre por la acción de flujos de aire sobre la superficie del agua, siendo el flujo de volatilización directamente proporcional al flujo de aire sobre la superficie del agua [46].

Metodología

Para la estimación de contaminantes asociados a esta fuente se emplea la metodología que asocia el factor de emisión al caudal de agua tratada, según la expresión presentada en la Ecuación 23.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 23}$$

Dónde:

E : Emisiones del contaminante en estudio (ton/año)

FE : Factor de emisión (mg/litro)

NA: Caudal de agua tratada (litro/año)

Factores de Emisión

Los factores de emisión para esta fuente, presentados en la Tabla 110.

Tabla 110. Factores de Emisión para tratamiento de aguas servidas

Compuesto		Factor de Emisión	Fuente
COVs	15	mg COVNM/m ³ agua residual	EMEP/EAA, 2013
NH ₃	3,33	mg NH ₃ /L agua residual	Radian en CENMA,2009

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por el volumen de agua residual tratada en la planta de tratamiento de la comuna, el cual es de 11.452.584 m³/año para Valdivia, según indica la empresa sanitaria.

Tabla 111. Nivel de actividad para tratamiento de aguas servidas

Nivel de actividad	Valor	Fuente
Volumen de Agua Tratada (m ³)	11.452.584	Fuente: Memoria anual 2020, Aguas décima.

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

En la Tabla 112 se presenta la estimación de emisiones provenientes del tratamiento de aguas servidas en la comuna de Temuco.

Tabla 112. Estimación emisiones de tratamiento de aguas servidas

Compuesto	Emisiones (Ton/año)
COVNM	0,172
NH ₃	38,137

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

4.5.2.1 Aplicación de Fertilizantes

Metodología

La guía de elaboración y usos de inventario de emisiones de México [28], expone que la estimación de emisiones puede obtenerse mediante el uso de un factor de emisión por tipo de fertilizante. Los niveles de actividad corresponden a los contenidos de nitrógeno en los fertilizantes y la cantidad anual de los fertilizantes aplicados.

La Ecuación 24 establece la expresión para la estimación de emisiones de amoníaco.

$$Emisiones f = Usos f \times \%Nf \times FEf \quad \text{Ecuación 24}$$

Dónde:

- Emisiones f : Emisiones anuales totales de NH₃ para el fertilizante tipo f.
- Usos f : Uso anual total del fertilizante tipo f.
- %Nf : Contenido de nitrógeno del fertilizante tipo f.
- FEf : Factor de emisión para el fertilizante tipo f.

Factores de Emisión

Los factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones provenientes de la aplicación de fertilizantes son los indicados por la EPA en el AP-42, los cuales se presentan en la Tabla 113.

Tabla 113. Factores de emisión para aplicación de fertilizantes

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
NH ₃	183	g NH ₃ /Kg N aplicado	AP-42 [9]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por la cantidad de nitrógeno aplicado a los cultivos en la zona de estudio. El nivel de fertilización por tipo de cultivo se obtuvo de la metodología indicada en el inventario nacional, año base 2017 [8]. Con la información de superficie plantada según tipo de cultivo, obtenida a partir del último CENSO Agropecuario año 2022, y la tasa de fertilización se calcula el nivel de actividad para la comuna.

Tabla 114. Dosis de fertilizante por tipo y rendimiento de cultivo por Comuna

Tipo Cultivo	Sup (Ha/año) Valdivia	Tasa de N (kg/ha)	Aplicación de N (kgN/año)
Cereales	46	100	4.640
Cereales	25	80	2.000
Cereales	659	100	65.918
Cereales	130	100	13.000
Industriales	2	80	176
Forrajeras	3	0,1	0
Forrajeras	45	100	4.530
Forrajeras	203	100	20.300
Forrajeras	1	50	50
Forrajeras	56	50	2.795
Forrajeras	9	0,1	1
Forrajeras	30	200	6.000
Forrajeras	6	100	600
Forrajeras	1	50	50
Forrajeras	1	50	40
Forrajeras	1	50	25
Forrajeras	16	100	1.590
Leguminosas y Tubérculos	0	50	0
Leguminosas y Tubérculos	16	100	1.604
Leguminosas y Tubérculos	2	100	157
Leguminosas y Tubérculos	0	50	0
Frutales	2	80	160
Frutales	2	80	120
Total Cereales	1.255		123.756

Fuente: CENSO AGROPECUARIO 2022.

Estimación de emisiones

Las emisiones estimadas para esta fuente se presentan en la Tabla 115 y corresponden a 22,65 ton/año de NH₃ para la comuna de Valdivia.

Tabla 115. Estimación emisiones de aplicación de fertilizantes

Tipo de Cultivo	Valdivia	
	NA (Kg N Aplicado/año)	Emisión (Ton NH ₃ /año)
Cereales	85.558	15,66
Industriales	176	0,03
Forrajeras	35.981	6,58
Leguminosas y Tubérculos	1.761	0,32
Frutales	280	0,05
Total	123.756	22,65

4.5.2.2 Labranza Agrícola

Esta categoría involucra las siguientes fuentes contaminantes: Aplicación de fertilizantes (NH₃), Procesos microbiales en el suelo (NO), proceso de cultivo (NH₃ y NMVOCs), cultivo del suelo y cosecha (MP) [9].

Metodología

Para estimar las emisiones de generadas por labranza agrícola, se utiliza la ecuación derivada de CARB. La cual involucra Emisiones anuales del tipo de cultivo, Factor de emisión, Superficie del tipo de cultivo y Operaciones por acre del cultivo tipo

Para estimar las emisiones producto de la labranza agrícola se requiere conocer el área agrícola cultivada en las diferentes comunas y la identificación de las principales operaciones por tipos de cultivos.

Se describen los métodos para estimar las emisiones de NH₃, NO, COVNM y MP de la producción de cultivos y suelos agrícolas.

Las estimaciones de NH₃, provenientes de las actividades de fertilización de los terrenos agrícolas fueron estimadas en el punto anterior.

Para la estimación de COVNM y MP provenientes de la producción de cultivos y la agricultura suelos utiliza la expresión general presentada en la Ecuación 25.

$$E = FE \times NA$$

Ecuación 25

Dónde:

E : Emisiones del contaminante en estudio (kg/año)

FE : Factor de emisión (kg/Ha año)

NA : Nivel de actividad, área cubierta por el cultivo (Ha)

Es importante señalar que las emisiones de MP calculados aquí están destinadas a reflejar los montos encontrados adyacentes a las operaciones de campo. Una proporción sustancial

de esta emisión será normalmente depositada dentro de una corta distancia de la ubicación en la que se genera.

Factores de Emisión

Factores de emisión para estimar emisiones en labranza agrícola se detallan a continuación, en la Tabla 116.

Tabla 116. Factores emisión asociados a labranza agrícola

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
COVNM	0,86	Kg/Ha	König et al. (1995).
MP10	1,56	Kg/Ha	Van der Hoek & Hinz (2007)
MP2,5	0,06	Kg/Ha	Van der Hoek & Hinz (2007)

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

Los niveles de actividad están dados por la superficie de los distintos tipos de cultivo en la comuna de Valdivia, a partir de lo reportado en el último CENSO agrícola del INE, año 2022.

Tabla 117. Nivel de actividad asociados a labranza agrícola año 2021

Tipo Cultivo	Superficie (Ha)
	Valdivia
Cereales	861
Industriales	2
Forrajeras	371
Leguminosas y Tubérculos	18
Frutales	4
Total	1.256

Fuente: Estadísticas Agropecuarias INE, 2021.

Fuente: Censo agropecuario 2022.

Estimación de Emisiones

La tabla siguiente presenta las emisiones asociadas a actividades de Labranza Agrícola para la comuna Valdivia, para el año base 2021.

Tabla 118. Estimación de emisiones de actividades de labranza agrícola año 2021

Tipo Cultivo	Emisiones (Ton/año) Valdivia		
	MP10	MP2,5	COVNM
Cereales	1,34	0,05	0,74
Industriales	0,00	0,00	0,00
Forrajeras	0,58	0,02	0,32
Leguminosas y Tubérculos	0,03	0,00	0,02
Frutales	0,01	0,00	0,00
Total	1,96	0,08	1,08

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.3 Crianza Animal

En general, las emisiones de amoníaco asociadas a la crianza de animales provienen de 4 actividades: alojamiento de animales, almacenaje de estiércol, pastoreos (ruminantes y equinos) y aplicación de estiércol sobre el suelo. Las variables anteriores dependen del nivel de actividad de la región o comunas analizadas.

Metodología

A continuación, se presenta la expresión general para estimar las emisiones anuales de NH_3

$$E_{NH_3} = FE_{NH_3} \times N_{anim} = 1,21 \times FE_{NH_3-N} \times N_{anim} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

E_{NH_3} : Emisión anual de amoníaco (Ton/año).

FE_{NH_3} : Factor de emisión de amoníaco (Ton/animal/año).

FE_{NH_3-N} : Factor de emisión nitrógeno amoniacal (Ton/animal/año)

N_{anim} : Cantidad de animales

Factores de Emisión

Los factores de emisión se deben estimar de acuerdo a la actividad y al animal involucrado, como se explica a continuación, en la Tabla 119

Tabla 119. Método de obtención del Factor de Emisión Crianza Animal

Categoría animal	Ecuación para el cálculo del Factor de Emisión
Cerdos y Aves	Ec. 26 Alojamiento Ec. 28 Aplicación al suelo Ec. 30 Pastoreo
Bovinos, Ovinos, caprinos, camélidos y equinos: "Otros Animales"	Ec. 27 Alojamiento Ec. 29 Aplicación al suelo Ec. 31 Pastoreo

Fuente: Elaboración propia

Alojamiento:

Cerdos y Aves $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorC \times FactorF + FactorD \times FactorG}{1000} \times 365 \times 0,5$ Ecuación 27

Otros Animales $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorC \times FactorF + FactorD \times FactorG}{1000} \times 365$ Ecuación 28

Aplicación al suelo:

Cerdos y Aves $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorI}{1000} [Nex_{in} - (FactorC \times FactorF + FactorG \times FactorC) \times 365 \times 0,5]$ Ecuación 29
 Donde: $Nex_{in} = Nex \times FactorC$

Otros Animales $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorI}{1000} [Nex_{in} - (FactorC \times FactorF + FactorG \times FactorD) \times 365]$ Ecuación 30
 Donde: $Nex_{in} = Nex \times \left[\frac{FactorC + FactorD \times FactorE}{FactorC + FactorE(1 - FactorC)} \right]$

Pastoreo:

Cerdos y Aves $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorH}{1000} \times Nex \times (1 - FactorC)$ Ecuación 31

Otros Animales $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorH}{1000} \times Nex \times \left[1 - \frac{FactorC + FactorD \times FactorE}{FactorC + FactorE(1 - FactorC)} \right]$ Ecuación 32

Los valores de los Factores C, D, E, F, G, H, I y de Nex dependen del tipo de animal. El significado de estas variables es el siguiente:

- Factor C : Representa el período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno.
- Factor D : Representa el período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de verano.
- Factor E : Representa la diferencia entre las dietas con respecto al valor proteico.
- Factor F : Representa las emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época invernal.
- Factor G : Representa las emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época estival.
- Factor H : Representa la fracción de nitrógeno excretado en las heces y orina que se transforma en NH_3 , proveniente del pastoreo.

- Factor I: : Representa una fracción del nitrógeno aplicado como estiércol al suelo que se transforma en NH_3 . Está asociado al total de nitrógeno aplicado en forma sólida y líquida.
- Nex : Representa la excreción de nitrógeno en las diferentes categorías de animales.

Tabla 120. Factores para el cálculo del Factor de Emisión para distintos tipos de animales

Categoría	Factor C	Factor D	Factor E	Factor F ¹	Factor G ¹	Factor H	Factor I	Nex ²
Bovinos	0,50	0,50	1,00	0,04493	0,05869	0,080	0,220	59,540
Cerdos	1,00	0,00	0,00	0,01441	0,01441	0,000	0,140	14,730
Ovinos	0,08	0,00	1,00	0,00581	0,00581	0,046	0,220	12,000
Caprinos	0,08	0,00	1,00	0,00581	0,00581	0,046	0,220	12,000
Camélidos	0,08	0,00	1,00	0,00581	0,00581	0,046	0,220	12,000
Equinos	0,08	0,00	1,00	0,02423	0,02423	0,046	0,220	50,000

Fuente: INIA 1998

¹Unidades en Kg/animal/día;

²Unidades en Kg/animal/año.

Con la información entregada se calcularon los factores de emisión por tipo de animal y tipo de actividad de crianza, para el contaminante NH_3 , los cuales se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 121. Factores de emisión por categoría animal

Categoría Animal	FE _{em} (Ton/animal/año)			
	Alojamiento	Aplicación Suelo	Pastoreo	Total
Bovinos	0,0156	0,0074	0,0000	0,0230
Cerdos	0,0022	0,0011	0,0020	0,0052
Ovinos	0,0001	0,0001	0,0004	0,0007
Caprinos	0,0001	0,0001	0,0004	0,0007
Camélidos	0,0001	0,0001	0,0004	0,0007
Equinos	0,0006	0,0006	0,0017	0,0029

Fuente: INIA 1998

Niveles de Actividad

En la Tabla 122 se observan los niveles de actividad utilizados para estimar las emisiones de NH_3 para crianza de animales utilizando la metodología antes descrita según la información obtenida a partir del Censo Agropecuario y Forestal del año 2022.

Tabla 122. Niveles de actividad crianza animal

Comuna	Bovinos	Cerdos	Ovinos	Caprinos	Camélidos
Valdivia	11.563	617	3.980	184	24

Fuente: CENSO AGROPECUARIO 2022.

Estimación de Emisiones

En la Tabla 123 se presenta la estimación de emisiones de NH_3 asociadas a la crianza animal según comuna.

Tabla 123. Estimación de emisiones de Crianza Animal

Categoría Animal	Valdivia	
	NA (n° Animales)	Emisiones (Ton NH_3 /año)
Bovinos	11.563	389,6
Cerdos	617	5,2
Ovinos	3.980	4,1
Caprinos	184	0,2
Equinos	24	0,0
Total	345	1,5

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 FUENTES BIOGÉNICAS

En el caso de las fuentes biogénicas, para su estimación se emplea el modelo Megan 2.1, que es un modelo para estimar las emisiones de gases y aerosoles de los ecosistemas terrestres a la atmósfera. Para la caracterización se utilizan las Clases de Uso de Suelo señaladas para cada celda del área de estudio. Para el caso del inventario de Valdivia, se ha utilizado la estimación realizada por el inventario nacional de SISTAM, 2019 [8] ya que se considera que es información actualizada respecto a esta fuente.

Se observa que la mayor cantidad de emisiones corresponde a Isopreno (930 t/año), emitiéndose un total de 1.556 ton/año de COVs por parte de esta fuente.

Tabla 124. Estimación de Emisiones para fuentes biogénicas (Ton/año)

Comuna	ISOPRENO	MONOTERPENOS	SESQUITERPENOS	TOTAL COVS
Valdivia	930	577	49	1.556

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones Atmosféricas (SISTAM, 2019) [8]

4.6 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES FUENTES DE ÁREA AÑO BASE 2021

En la Tabla 125 se presenta el resumen del inventario de emisiones de fuentes de área en la comuna de Valdivia, para el año base 2021. Se presenta como Anexo la base de datos con la estimación de emisiones para esta fuente (Anexo 9).

Tabla 125. Resumen emisiones fuentes de área año base 2021 Valdivia

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES FUENTES DE ÁREA VALDIVIA (Ton/año)						
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
COMB. EXTERNA	GLP - GN - KEROSENE	0,7	0,6	39,9	38,5	9,6	1,5	-
	SOLVENTES DE USO DOMÉSTICO	-	-	-	-	-	564,3	-
FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	PINTURA ARQUITECTÓNICA	-	-	-	-	-	242,4	-
	EMISIONES RESIDENCIALES DE NH ₃	-	-	-	-	-	-	198,2
	FUGAS RESIDENCIALES DE GLP	-	-	-	-	-	459,2	-
FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE	-	-	-	-	-	556,7	-
	LAVASECOS	-	-	-	-	-	11,3	-
	PINTURA INDUSTRIAL (VEHÍCULOS)	-	-	-	-	-	25,0	-
	APLICACIÓN DE ASPALTO	-	-	-	-	-	1,8	-
RESTAURANTES	FUGAS COMERCIALES DE GLP	-	-	-	-	-	194,4	-
	RESTAURANTES Y ASADURÍAS	0,5	0,5	0,0	0,1	0,1	-	-
QUEMAS	QUEMAS AGRÍCOLAS	0,9	0,9	0,1	0,3	9,4	0,7	0,1
	INCENDIOS FORESTALES	8,4	7,1	0,9	3,0	80,0	5,6	0,8
	INCENDIOS URBANOS	3,8	-	-	1,3	54,9	4,6	-
	CONSUMOS DE CIGARRILLOS	-	0,8	-	0,1	9,5	0,0	0,5
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	EMISIONES DESDE VERTEDEROS	2,9	-	-	0,1	9,5	0,0	0,5
	P.T. AGUAS SERVIDAS	-	-	-	-	-	0,2	38,1
BIOGÉNICAS	EMISIONES BIOGÉNICAS	-	-	-	-	-	1.556,0	-
	APLICACIÓN DE FERTILIZANTES	-	-	-	-	-	-	22,6
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	LABRANZA AGRÍCOLA	2,0	0,1	-	-	-	1,1	-
	CRIANZA ANIMAL	-	-	-	-	-	-	400,6
Total		19,1	10,0	40,9	43,3	172,9	3.624,8	661,6

Respecto al aporte porcentual de las fuentes de área a las emisiones de contaminantes, es posible observar, los mayores aportes provienen de las quemas agrícolas y otras actividades agrícolas, para el M10 y MP2,5, según se puede apreciar en las Figura 24.

En relación a los gases contaminantes, se puede apreciar que el mayor aporte al SO_2 proviene de las fuentes de combustión externa, correspondiente al consumo residencial de GLP y Kerosene, al igual que el NOx .

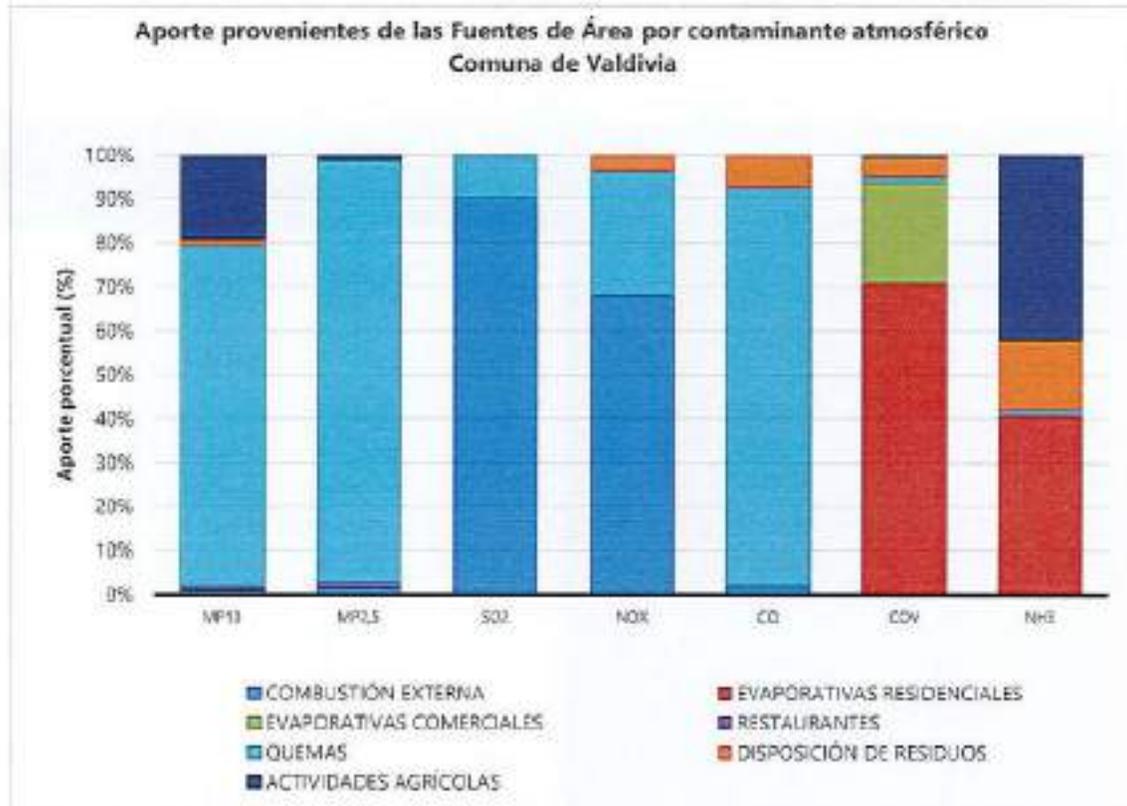


Figura 24. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Valdivia

Fuente: Elaboración propia

FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA



5 FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA

5.1 FUENTES MÓVILES EN RUTA

Los inventarios de emisiones desarrollados en Chile han empleado históricamente la metodología del Modelo de Emisiones Vehiculares (MODEM) la cual fue implementada por SECTRA, cuya estructura general de la metodología de cálculo de emisiones se presenta en el siguiente esquema:

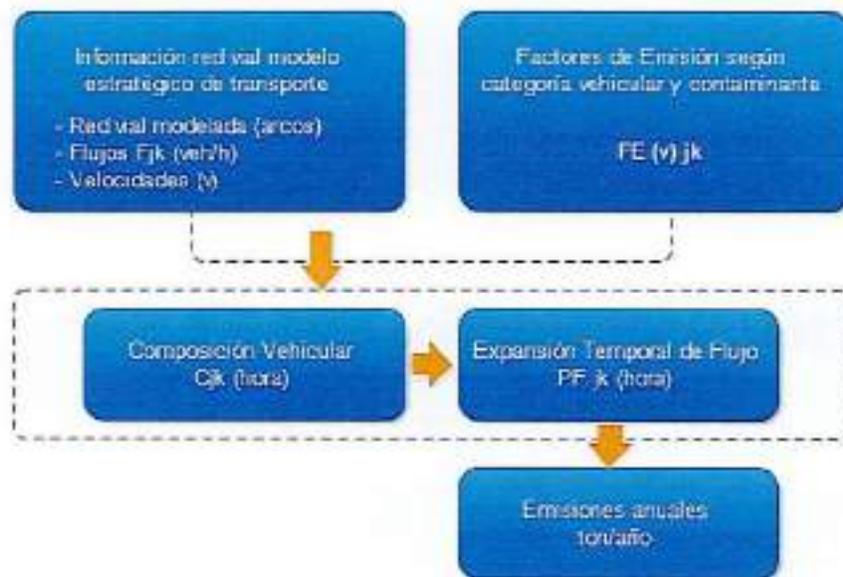


Figura 25. Metodología de cálculo MODEM

Fuente: SECTRA

De manera general, la metodología MODEM consiste en estimar los niveles de actividad de las diferentes categorías vehiculares y asociarle a cada una de ellas un nivel de emisión promedio o factor de emisión (CONAMA, 2009), de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$E_i = \sum_{k,c} \text{Nivel de actividad}_k \times FE_{ikc} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

E_i = Emisiones del contaminante i (gr)

$Nivel\ de\ actividad_k$	= Nivel de actividad de la categoría vehicular k (km-vehículos)
FE_{ike}	= Factor de emisión del contaminante i, para la categoría k evaluada, para el tipo de descarga de emisiones t (gr-km-vehículo)
k	= Categoría vehicular "k"
t	= Tipo de descarga de emisiones "t"

En relación al Nivel de Actividad, expresan en términos de Kilómetros Recorridos por los Vehículos (KRV), lo cual representa la distancia total recorrida por una población de vehículos en un periodo de tiempo determinado. Los KRV pueden ser estimados de distintas maneras. Por observación directa, mediante la contabilización del tráfico, modelos de transporte y otras.

Para predecir características de la actividad vehicular en un área determinada se emplean los modelos de transporte. En la Región Metropolitana se emplea el modelo ESTRAUS, mientras que, para otras ciudades de tamaño medio, incluida Valdivia, se emplea VIVALDI, según señala SECTRA.

En cuanto a la estimación de los factores de emisión que utiliza el modelo MODEM para calcular las emisiones, se consideran principalmente los factores de emisión propuestos en el estudio europeo COPERT IV (CENMA, 2009). Para la estimación de las emisiones vehiculares en caliente, las emisiones evaporativas y emisiones por partidas en frío que calcula MODEM son estimadas en base a factores COPERT III. El modelo COPERT tiene la ventaja de que en su documentación presenta explícitamente las ecuaciones que relacionan el tipo de vehículo y la velocidad promedio con el factor de emisión, siendo además la base de todos los estudios realizados a la fecha en Chile.

5.1.1 DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE EMISIONES

Según el tipo de descarga, la emisión total es desagregada en emisiones del tubo de escape, emisiones evaporativas, emisiones de polvo y de desgaste, por lo tanto, las emisiones totales se obtienen de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{total} = E_{caliente} + E_{partidas\ en\ frío} + E_{Evaporativas} + E_{polvo} + E_{Desgaste} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

E_{total}	: Emisiones totales del contaminante considerado (g)
$E_{caliente}$: Emisiones en caliente, Fase estabilizada del motor (g)
$E_{partidas\ en\ frío}$: Emisiones por partidas en frío (g)
E_{Polvo}	: Emisiones provenientes del polvo resuspendido por la circulación de vehículos sobre calles pavimentadas (g)

$E_{Desgaste}$: Emisiones por desgaste de frenos, neumáticos y superficie (g)

A su vez, se considera que las emisiones evaporativas provienen de:

- Emisiones durante el día (Diurnal)
- Emisiones por detenciones en caliente (*hot soak emissions*)
- Pérdidas durante el recorrido (*running losses*)

5.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS VEHICULARES

Dentro de las fuentes móviles en ruta, se ha establecido una clasificación de las distintas categorías vehiculares, de acuerdo a lo requerido por MODEM, como se muestra en la Tabla 126, en donde se presenta la categoría que fue considerada dentro de la clasificación de la flota vehicular del presente inventario de emisiones.

Tabla 126. Clasificación de las fuentes móviles en ruta

Categoría	Sub Categoría
Buses del Transporte Público	Buses licitados urbanos diésel Euro 1
	Buses licitados urbanos diésel Euro 2
	Buses licitados urbanos diésel Euro 3
	Buses licitados urbanos diésel sin norma
Camiones Livianos, Medianos y Pesados	Camiones livianos diésel Euro 1
	Camiones livianos diésel Euro 2
	Camiones livianos diésel Euro 3
	Camiones livianos diésel sin norma
	Camiones medianos diésel Euro 1
	Camiones medianos diésel Euro 2
	Camiones medianos diésel Euro 3
	Camiones medianos diésel sin norma
	Camiones pesados diésel Euro 1
	Camiones pesados diésel Euro 2
Camiones pesados diésel Euro 3	
Camiones pesados diésel sin norma	
Motocicletas	Motocicletas de cuatro tiempos Euro 1
	Motocicletas de cuatro tiempos sin norma
	Motocicletas de dos tiempos Euro 1
	Motocicletas de dos tiempos sin norma
Taxis Colectivos	Taxis colectivos a GNC Euro 1
	Taxis colectivos diésel Euro 1
	Taxis colectivos diésel Euro 3
	Taxis colectivos gasolineros Euro 1
	Taxis colectivos gasolineros Euro 3
Vehículos de alquiler	Vehículos de alquiler diésel Euro 1
	Vehículos de alquiler diésel Euro 3
	Vehículos de alquiler gasolineros Euro 1
	Vehículos de alquiler gasolineros Euro 3
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas diésel Euro 2
Vehículos livianos comerciales de uso de empresas diésel Euro 5	

Vehículos livianos comerciales	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas diesel sin norma
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas gasolineros Euro 1
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas gasolineros Euro 2
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas gasolineros Euro 3
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas gasolineros Euro 4
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas gasolineros no catalíticos
	Vehículos livianos comerciales de uso particular diesel Euro 1
	Vehículos livianos comerciales de uso particular diesel Euro 2
	Vehículos livianos comerciales de uso particular diesel Euro 3
	Vehículos livianos comerciales de uso particular diesel sin norma
	Vehículos livianos comerciales de uso particular gasolineros Euro 1
	Vehículos livianos comerciales de uso particular gasolineros Euro 2
	Vehículos livianos comerciales de uso particular gasolineros Euro 3
	Vehículos livianos comerciales de uso particular gasolineros no catalíticos
Vehículos Livianos Particulares	Vehículos livianos de pasajeros diesel Euro 1
	Vehículos livianos de pasajeros diesel Euro 3
	Vehículos livianos de pasajeros diesel Pre Euro
	Vehículos livianos de pasajeros gasolineros Euro 1
	Vehículos livianos de pasajeros gasolineros Euro 3
	Vehículos livianos de pasajeros gasolineros no catalíticos
Vehículos medianos	Vehículos Medianos diesel Euro 1
	Vehículos Medianos diesel Euro 2
	Vehículos Medianos diesel Euro 3
	Vehículos Medianos diesel sin norma
	Vehículos Medianos gasolineros Euro 1
	Vehículos Medianos gasolineros Euro 2
	Vehículos Medianos gasolineros Euro 3
Vehículos Medianos gasolineros no catalíticos	

5.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR

La caracterización del parque vehicular para la comuna de Valdivia se presenta a continuación en la Tabla 127 según estadísticas de transporte del INE, para el año base 2021.

Tabla 127. Caracterización parque vehicular para Valdivia, año 2021

Tipo	Categoría vehicular	N° de vehículos por categoría	% por categoría
Transporte particular y otros	Automóvil, SW, todo terreno	32.924	68,0%
	Furgón	1.655	3,4%
	Minibús	257	0,5%
	Camioneta	8.430	17,4%
	Motocicleta	1.479	3,1%
	Otros con Motor	22	0,0%
	Transporte colectivo	Taxi Básico	317
Taxi Colectivo		903	1,9%
Taxi Turismo		77	0,2%
Minibús. Transporte colectivo		221	0,5%

	Bus, transporte colectivo	609	1,3%
Transporte de carga	Camión Simple	1.125	2,3%
	Tractocamión	131	0,3%
	Tractor Agrícola	28	0,1%
	Otros con Motor	210	0,4%
	Total parque vehicular	48.388	100%
	Total Parque vehicular Regional	128.425	37,7%
	Total Parque vehicular País	6.102.351	0,8%

Fuente: Elaboración propia en base a INE 2020

5.1.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES FUENTES MÓVILES EN RUTA

Para el caso de fuentes móviles, se dispone de la estimación de emisiones para Fuentes Móviles en Ruta, que es manejada por el RETC, para el año 2020. Estos resultados se obtienen mediante la aplicación del modelo MODEM, según los datos de entrada de los modelos de transporte para las comunas del todo el país. Para la actualización del presente inventario de emisiones se utilizará esa información, siendo la más actualizada para el área de estudio.

Las emisiones generadas por las fuentes móviles, según las principales categorías vehiculares, para la comuna de Valdivia, se presenta a continuación en la Tabla 128.

Tabla 128. Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles, comuna de Valdivia, año 2021.

CATEGORÍA VEHICULAR	Emisiones (Ton/año) - VALDIVIA						
	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	NH ₃
Bus	3,2	2,8	0,15	130,0	39,8	14.363,58	0,05
Camión	1,8	1,6	0,04	36,4	11,4	4.193,92	0,05
Motocicletas	0,5	0,5	0,00	0,6	59,2	295,95559	0,01
Taxí	0,7	0,4	0,09	6,7	11,1	8.762,94	0,92
Vehículo Comercial	15,5	14,7	0,18	78,0	64,5	18.786,58	0,25
Vehículo Liviano	6,8	5,9	0,27	52,6	393,8	24.602,22	4,62
TOTAL	28,44	25,95	0,74	304,25	579,75	71.005,18	5,89

Fuente: Elaboración propia en base a RETC 2021

5.2 FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA

Las fuentes móviles fuera de ruta corresponden a aquellas que no circulan por carreteras o calles de la red vial establecida, si no que más bien corresponden a maquinarias de construcción, agrícola, forestal o las que circulan por caminos rurales, además de las aeronaves, ferrocarril y embarcaciones. Este tipo de vehículos utiliza combustibles puros como gasolina, diesel, gas, o mezcla con sistemas mixtos.

La estimación de las emisiones generadas por este tipo de fuente obedece a la misma ecuación general de cálculo que la presentada para fuentes en ruta. Por lo tanto, es necesario obtener cada uno de los componentes de la ecuación, es decir, los factores de emisión y los niveles de actividad asociado a cada tipo de fuente.

Es importante mencionar que los factores de emisión están dados para material particulado total, sin embargo la metodología EPA establece que para emisiones provenientes de los motores de las fuentes móviles fuera de ruta se asumen que todas las emisiones de MP corresponden a partículas menores a 10 micrones (MP10), por otra parte, señala que para obtener la fracción de MP2,5 es necesario aplicar un factor de 0,97, lo cual está basado en estudios de análisis de distribución de partículas para motores diésel.

5.2.1 MAQUINARIA AGRÍCOLA

Metodología aplicada

Para el cálculo de las emisiones provenientes de esta fuente, se caracterizó el parque de maquinaria agrícola mediante la información contenida en el Censo Agropecuario año 2022, por representar la fuente más actualizada para la información requerida. Para estimar los factores de emisión se emplea la metodología descrita en "EPA420-P-04-009, Abril 2004, NR-009c, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-- Compression-Ignition" [47]. La ecuación general de cálculo se describe como:

$$E_{i,k} = EF_i \cdot T_k \cdot C_k \cdot W \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

- $E_{i,k}$: Emisiones del contaminante i producidas por un vehículo tipo k
- EF_i : Factor de emisión del contaminante i para los vehículos tipo k
- T_k : Tiempo de operación promedio de los vehículos del tipo k
- C_k : Porcentaje de carga (respecto a la potencia nominal) durante la operación normal de los vehículos tipo k
- W : Potencia nominal (hp)

Factor de Emisión

Los factores de emisión están compuestos por varios factores cuyos valores son obtenidos mediante tablas presentadas en las metodologías propuestas por la EPA, para estimación de emisiones de fuentes fuera de ruta y que se presentan en el Anexo 10 del presente informe. Estos factores deben ser ajustados para todos los contaminantes en estudio, de esta manera

el factor de emisión para HC, CO, NO_x debe ajustarse de acuerdo a lo señalado en la ecuación siguiente.

$$EF_{adj}(HC, CO, NO_x) = EF_{SS} \times TAF \times DF \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

- EF_{adj}** : Factor de emisión ajustado (g/HP-h)
- EF_{SS}** : Factor de emisión en caliente (g/HP-h)
- TAF** : Factor de ajuste transiente
- DF** : Factor de deterioro

$$DF = 1 + A \times (\text{Age factor})^b \quad \text{Factor de edad } \leq 1 \quad \text{Ecuación 37}$$

$$DF = 1 + A \quad \text{Factor de edad } > 1 \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

$$\text{Age Factor} = \text{fracción de vida media expandida} = \frac{(\text{horas acumuladas} \times \text{factor de carga})}{\text{vida media a plena carga (h)}}$$

A y b: Constantes dadas para cada tipo de tecnología.

Para determinar el factor de emisión para el material particulado, este debe ajustarse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$EF_{adj}(PM) = EF_{SS} \times TAF \times DF - S_{PMadj} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

S_{PMadj} : Ajuste del factor de emisión de PM de acuerdo a la variación del contenido de sulfuro.

A su vez, el término anterior se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$S_{PMadj} = BSFC \times 453,6 \times 7 \times soxcnv \times 0,01 \times (soxbs - soxdsl) \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

- S_{PMadj}** : Ajuste del factor de emisión de PM de acuerdo a la variación del contenido de sulfuro (g/HP-h)
- BSFC** : Consumo de combustible específico del freno (lb combustible/HP-h)
- 453,6** : Conversión de libras a gramos
- 7** : gramos de PM sulfato/gramos de PM sulfuro
- soxcnv** : gramos de PM sulfuro/gramos de sulfuro combustible consumido
- 0,01** : conversión de porcentaje a fracción
- soxbs** : Porcentaje de peso por defecto de sulfuro en el combustible
- soxdsl** : Porcentaje de peso de sulfuro en combustible

Con la información anterior y los valores obtenidos en las tablas señaladas para la metodología EPA se calcularon los valores para los factores de emisión que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 129. Cálculo de los factores de emisión ajustados

Maquinaria	Factor Emisión ajustado (g/hp-h)					
	HC	CO	NO _x	MP	SO ₂	CO ₂
Tractor < 60 HP	0,3028	2,5812	4,5319	0,5905	0,9121	595,3072
Tractor 60 - 90 HP	0,3987	3,9848	4,5052	0,4113	0,9116	595,0014
Tractor > 90 HP	0,3674	1,4600	3,9301	0,3050	0,8200	535,1816
Cosechadora	0,3349	1,2592	3,8342	0,2173	0,8201	535,2851

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por las horas de uso de las distintas maquinarias de uso agrícola, para los principales cultivos desarrollados en la comuna. La Tabla 130 presenta las horas de uso por tipo de maquinaria según actividad y tipo de cultivo. Luego en la Tabla 131 se presentan las hectáreas por tipo de cultivo de acuerdo a cifras entregadas por el Censo Agropecuario año 2022.

Tabla 130. Horas de Uso de maquinaria por Hectárea según Actividad y tipo de cultivo

Actividad	Actividad	Cereales y Chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales
	Aradura		2	2	2
Rastra		4	4	4	0
Aplicación de Líquidos		2	2	4	2
Cultivación		1	1	1	0
Maquinaria	Tractor (Total)	9	9	11	2
	Cosechadora	2	2	0	0

Fuente: Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, CONAMA 2007 - 2008 (Obtenido de la Guía de Inventarios de Emisiones, MMA)

Tabla 131. Superficie (Ha) por tipo de cultivo por comuna Valdivia

Tipo Cultivo	Superficie (Ha)
	Valdivia
Cereales	861
Industriales	2
Forrajeras	371
Leguminosas y Tubérculos	18
Frutales	4
Total	1.256

Fuente: Estadísticas Agropecuarias INE 2017 y Estadísticas Agropecuarias Anuales INE, 2020.

Con la información anterior se determinó el nivel de actividad para la utilización de la maquinaria agrícola empleada en la comuna de Valdivia.

Tabla 132. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2020 comuna de Valdivia

Maquinaria	Horas de funcionamiento Maquinaria Agrícola				
	Cereales y Chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales	Total
Tractor	7.749,0	18,0	4.081,0	8,0	11.856,0
Cosechadora	1.722,0	4,0	-	-	1.726,0
Total Horas	6.631,4	15,4	3.492,4	8,0	13.562,0

Fuente: Elaboración Propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones provenientes de las actividades realizadas por la maquinaria agrícola se presentan a continuación en la Tabla 133.

Tabla 133. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola Valdivia

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)							
	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Tractor	0,3	0,3	0,3	0,7	3,4	2,5	0,3	450,8
Cosechadora	0,1	0,1	0,1	0,2	0,9	0,3	0,1	129,7
Total	0,4	0,4	0,4	0,9	4,3	2,8	0,4	580,5

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN

Metodología aplicada

La estimación de emisiones provenientes de maquinaria empleada en las faenas de construcción obedece a la misma metodología presentada para la maquinaria agrícola. La diferencia radica en la obtención de los niveles de actividad.

Factor de emisión

Para obtener los factores de emisión, se empleó la misma metodología presentada para la obtención de los factores de maquinaria agrícola. Éstos son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 134. Factores de emisión maquinaria de Construcción

Maquinaria	Factor Emisión Ajustado (g/litro-h)					
	HC	CO	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂
Retroexcavadora Chica	0,67	6,69	5,22	0,67	1,06	693,86
Retroexcavadora	0,73	2,12	4,44	0,36	0,96	624,30
Compactador - Doble Tambor	0,38	2,60	4,74	0,33	0,90	589,16
Compactador - Placa	0,29	1,69	4,77	0,48	0,90	589,45
Compactador - Pata Hidropistón	0,57	4,53	4,34	0,71	0,90	588,55
Vibrador de hormigón chico	0,60	6,93	4,12	0,88	0,91	594,37
Grúa	0,57	4,53	4,34	0,71	0,901	588,55

Fuente: Estudio Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana 2005, CONAMA RM 2006 (Obtenido de la Guía de Inventarios de Emisiones, MMA)

La siguiente tabla presenta los demás factores necesarios para el cálculo de las emisiones provenientes de la fuente.

Tabla 135. Valores utilizados para Factor de Carga y Potencia, según tipo de maquinaria

Maquinaria	Ck	W (HP)
Retroexcavadora Chica	0,50	80
Retroexcavadora	0,53	228
Cargador Frontal	0,50	80
Compactador	0,80	40
Vibrador de hormigón chico	0,80	10
Grúa	0,30	5

Fuente: Estudio Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana 2005, CONAMA RM 2006 (Obtenido de la Guía de Inventarios de Emisiones, MMA)

Nivel de Actividad

El nivel de actividad para esta fuente está dado por el número de horas de funcionamiento por tipo de maquinaria en función de los metros cuadrados de emplazamiento. Para esto existen valores estandarizados, los que se presentan a continuación en la Tabla 136.

Tabla 136. Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo

Pisos	M ² prom.	Retroexcavadora Chica		Retroexcavadora		Compactador					
		N°	Hrs de uso	N°	Hrs de uso	Doble tambor		Placa		Pata Hidropistón	
						N°	Hrs de uso	N°	Hrs de uso	N°	Hrs de uso
1	60	1	3,5					1	1,5		
2	80	1	5,0					1	2,5		
3	200			1	8,0	1	5,5	1	6	1	3,0
4	350			1	8,0	1	5,5	1	10,5	1	5,3
5	500	1	312,5	1	70,0	1	60,9	1	37,5	1	18,8
6	500	1	406,25	1	70,0	1	60,9	1	37,5	1	18,8
7	500	1	528,13	1	70,0	1	60,9	1	37,5	1	18,8
8	500	1	686,56	1	70,0	1	60,9	1	37,5	1	18,8
9 ó más	500	1	892,53	1	70,0	1	60,9	1	37,5	1	18,8

Fuente: Estudio Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana 2005, CONAMA RM 2006 (Obtenido de la Guía de inventarios de Emisiones, MMA)

Para la obtención de los niveles de actividad, se requiere conocer la superficie construida al año base 2021. Para esto, se cuenta con las estadísticas de edificación del INE que está desagregada por comuna, por número de pisos y por tipo de obra (obra nueva, ampliación, regularización), para este caso se utilizó la estadística del INE por contar con información más específica. Esta fuente emplea los datos del año 2020, bajo el supuesto que obras autorizadas al año 2020, se pueden construir al año 2021. En la Tabla 137 se detalla la información.

Tabla 137. Superficie de nuevas construcciones (m²) año 2020 por N° de pisos

N° Pisos	Temuco
1	7.404
2	22.875
3	3.123
4	
5	
6	
7	
8	6.396
9 ó más	35.825
Total	75.623

Fuente: Estadísticas de construcción INE 2020.

Con la información procesada respecto a la superficie de obras nuevas construidas, se obtuvo el nivel de actividad de la maquinaria de construcción para la comuna de Valdivia, según se presenta en la Tabla 138.

Tabla 138. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Valdivia

Maquinaria	Retroexcavadora Chica	Retroexcavadora	Compactador - Doble Tambor	Compactador - Placa	Compactador - Pata Hidráulica	Wibrador de formigón chico	Cida	Total
1	432	-	-	185	-	555	-	1.172
2	1.430	-	-	715	-	1.930	-	4.075
3	-	125	101	94	47	295	-	662
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8.782	895	780	480	240	4.065	8.782	24.024
9 ó más	63.950	5.016	4.366	2.687	1.343	26.149	63.950	167.460
Total	74.594	6.036	5.247	4.160	1.630	32.994	72.732	197.394

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones provenientes de las actividades realizadas por la maquinaria de construcción se presentan a continuación en la Tabla 139.

Tabla 139. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Valdivia

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)						
	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Retroexcavadora Chica	2,00	2,00	1,94	3,17	15,56	19,97	2,59
Retroexcavadora	0,26	0,26	0,25	0,70	3,24	1,54	0,53
Compactador - Doble Tambor	0,07	0,07	0,07	0,19	1,00	0,55	0,06
Compactador - Placa	0,06	0,06	0,06	0,12	0,64	0,22	0,04
Compactador - Pata Hidropistón	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,06	0,01
Vibrador de hormigón chico	0,04	0,04	0,04	0,05	0,20	0,34	0,03
Grúa	0,13	0,13	0,13	0,16	0,79	0,82	0,10
Total	2,57	2,57	2,49	4,40	21,48	23,51	3,39

Fuente: Elaboración propia

5.3 RESUMEN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES AÑO BASE 2020

La estimación de las emisiones de fuentes móviles en ruta y fuera de ruta se presenta a continuación en la Tabla 140, para la comuna de Valdivia

Tabla 140. Resumen de emisiones fuentes móviles Valdivia año base 2021

Fuente	Categoría vehicular	Emisión (Ton/año)							
		MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	NH ₃	COVS
Móviles En Ruta	Bus	3,2	2,8	0,2	130,0	39,8	14.363,6	0,0	5,5
	Camion	1,8	1,6	0,0	36,4	11,4	4.193,9	0,0	2,8
	Motocicletas	0,5	0,5	0,0	0,6	59,2	296,0	0,0	32,9
	Taxi	0,7	0,4	0,1	6,7	11,1	8.762,9	0,9	0,9
	Vehículo Comercial	15,5	14,7	0,2	78,0	64,5	18.786,6	0,3	13,4
	Vehículo Liviano	6,8	5,9	0,3	52,6	393,8	24.602,2	4,6	49,1
	Total Móviles En Ruta	28,4	26,0	0,7	304,3	579,7	71.005,2	5,9	104,6
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	0,4	0,4	0,9	4,3	2,8	580,5	N.D.	N.D.
	Maquinaria Construcción	2,6	2,5	4,4	21,5	23,5	2.871,9	N.D.	N.D.
	Total Móviles Fuera De Ruta	3,0	2,9	5,3	25,8	26,3	3.452,4	-	-
Total	31,4	28,8	6,0	330,1	606,1	74.457,6	5,9	104,6	

FUENTES FUGITIVAS

FRACCIÓN GRUESA DEL MP



6 FUENTES FUGITIVAS

Si bien, no todos los estudios o inventarios de emisión desarrollados en Chile coinciden en la manera de agrupar este tipo de fuentes, en cuanto a la subcategoría o categoría desde la cual se desprenden, si hay consenso en el tipo de contaminantes que éstas mayormente emiten, el material particulado grueso, o sedimentable.

Las fuentes consideradas en esta categoría corresponden a construcción y demolición y polvo resuspendido por caminos pavimentados y no pavimentados en las comunas de estudio. Se incorpora además a esta categoría, la producción de áridos, tal como se puede observar en la Tabla 141.

Tabla 141. Fuentes de referencia para estimar las fuentes fugitivas de área.

Subcategoría - Fuente Emisora	Descripción metodológica
Construcción y demolición	
Producción de áridos	Para la producción de áridos se consultará el SEIA para determinar los proyectos que se encuentran con actividades vigentes en el área de estudio y determinar sus niveles de emisión. Para la totalidad de fuentes se elaborará cartografía que permita identificar el nivel de emisión y el área de intervención de las faenas según información declarada por los mismos titulares de proyecto.
Construcción de caminos	El nivel de actividad corresponde a la superficie total de caminos construidos en el área de estudio, en un periodo de tiempo definido, información que puede ser obtenida según registros del MINVU o MDP.
Construcción de edificios	La información se puede obtener de los anuarios de edificación del INE, o bien de información de permisos de edificación de los Municipios.
Polvo resuspendido	
Caminos pavimentados y no pavimentados.	Corresponde a emisiones asociadas a vehículos que circulan sobre la superficie de caminos pavimentados y no pavimentados. Estas se calculan en función de la carga de sedimentos en la superficie de la calle pavimentada, las precipitaciones, flujo y largo del tramo. Esta fuente es estimada en conjunto con las emisiones provenientes desde Fuentes Móviles, en ruta.

6.1 PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS

6.1.1 NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE

Para la determinación del nivel de actividad de las actividades de producción de áridos se emplearon varias fuentes de información para conocer qué actividades de este tipo pueden estar en funcionamiento al año base del inventario de emisiones, año 2021. Se consultó la base de datos de proyectos ingresados al SEIA con resolución de calificación ambiental favorable, el catastro de unidades fiscalizables de la SMA y las consultas de pertinencia de ingreso al SEIA, lo cual da cuenta del número de fuentes instaladas en las comunas en estudio.

Para la determinación del nivel de actividad de las actividades de producción de áridos se emplearon varias fuentes de información para conocer qué actividades de este tipo pueden estar en funcionamiento al año base del inventario de emisiones, año 2021. Se consultó la base de datos de proyectos ingresados al SEIA con resolución de calificación ambiental favorable, el catastro de unidades fiscalizables de la SMA y las consultas de pertinencia de ingreso al SEIA, lo cual da cuenta del número de fuentes instaladas en las comunas en estudio.

Tabla 142. Catastro de producción de áridos en la comuna de Valdivia

Nombre Proyecto	Ubicación Cuota extracción	Fuente de información	Observaciones
Producción de áridos en Río Calle Calle	Sectores de Champullo, Mechuco, Huellehue y Pischuínco. 90.000 m ³ /año	SEIA - DIA	Este proyecto considera la extracción de 90.000 m ³ /año, con vida útil indefinida, desde el año 2003. La superficie de intervención es de 325.125, 325.125, 185.025, 312.000 m ² para los sectores de Champullo, Mechuco, Huellehue y Pischuínco, respectivamente. Cuenta con resolución exenta N°1627, del 05/12/2002 que declarada RCA favorable. Si se cumple lo indicado respecto a la vida útil del proyecto, éste debería encontrarse vigente al año 2021. El Titular Sociedad Desarrollo Urbano de Valdivia Ltda. cuenta con patente comercial en el rubro de la producción de áridos, vigente al año 2021.
Proyecto Río Calle Calle Sector Chincuin Comuna de Valdivia.	23 km aproximadamente de Valdivia y a 4,6 km de Antihue por la ruta T-35 6.200 m ³ /año	Consulta Pertinencia SEIA PERTI-2021-12724	Este proyecto considera la extracción de 40.000 m ³ por un periodo de 5 meses. La autoridad resuelve que el proyecto "no requiere ingresar obligatoriamente al SEIA en forma previa a su ejecución. Se considera 2,3 ha para sitio de acopio

Extracción Mecanizada de Áridos Río Calle Calle	sector Islas de ripio del Río Calle Calle 32.383 m3/año	Consulta Pertinencia SEIA PERTI-2021-6696	El proyecto considera la extracción de 32.382,75 m ³ de áridos en un periodo de 7 meses desde el sector islas de ripio del río Calle Calle, para ser utilizados en la obra vial MOP Construcción Circunvalación Valdivia y Puente Santa Elvira, Sector circunvalación Oriente Valdivia. Se resuelve no ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental. El sitio de extracción es de 0,3 ha.
Extracción mecanizada de áridos en un sector de Isla de Ripio en el río Calle Calle	sector de Isla de Ripio en el río Calle Calle 24.950 m3/año	Consulta Pertinencia SEIA PERTI-2020-1022	El proyecto considera la extracción de 49.900 m ³ de áridos en un periodo de 12 meses. El proyecto se ejecuta entre en año 2020 y 2021. Por lo tanto, se considerará que la mitad de la operación se ejecuta durante el año 2021. Se resuelve no ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental. El proyecto considera 1,1 ha.

Fuente: Elaboración propia en base a información del SEIA y SMA

6.1.2 FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO

Los factores de emisión para el manejo y producción de áridos se encuentran disponibles en el Informe Final de Recopilación de Factores de Emisión para el SEA [13], específicamente en el punto 4.8 Procesamiento de roca chancada y mineral pulverizado, en donde se presentan los factores según actividad. Para las fuentes identificadas se consideraron las operaciones típicas de las faenas asociadas a manejo de áridos para la estimación de emisiones. Se han identificado emisiones asociadas al proceso de chancado, tamizado y transferencia entre correas. Los factores de emisión se presentan a continuación.

Tabla 143. Variables para la estimación de emisiones de áridos

ACTIVIDAD	FACTOR EMISIÓN (kg/ton)
Chancado primario	0,0012
Chancado secundario	0,0012
Tamizado	0,0043
Transferencia en cintas transportadoras	0,00055
Carga de camiones	0,00005
Descarga de camiones	0,000008
Erosión en pilas	$f_e = k(s/1,5) \times (f/15) \text{ [kg/ha-día]}$ <p>Donde: $k_{V_{w10}} = 0,953$ s: contenido de finos = 8,5 f: % del tiempo en que la velocidad del viento es mayor a 5,4 [m/s]=3,2¹</p>

¹Obenido a partir de la data meteorológica Estación Austral, Valdivia, año 2021

6.1.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES PLANTAS DE ÁRIDOS

De acuerdo al nivel de actividad y los factores de emisión para las fuentes identificadas, es posible estimar las emisiones, las cuales corresponden a 8,3 Ton/año de MP10, para ambas comunas en estudio.

Tabla 144. Emisiones provenientes de fuentes de áridos

Fuente	Nivel de Actividad (Ton/año)	TOTAL MP10 (Ton/año)
Producción de áridos en Río Calle Calle	144.000	7,0
Proyecto Río Calle Calle Sector Chincuin Comuna de Valdivia	9.920	0,3
Extracción Mecanizada de Áridos Río Calle Calle	51.812	0,5
Extracción mecanizada de áridos en un sector de Isla de Ripio en el río Calle Calle	30.920	0,6
Total Padre Las Casas	245.652	8,3

Fuente: Elaboración propia

6.2 CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

6.2.1 NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE

La estadística de construcción de caminos se obtuvo mediante el registro del Plan de Obras 2020-2021, Programa de Pavimentación Participativa, MINVU [48]. Para conocer las obras ejecutadas durante el año 2021, para la comuna de Valdivia

Tabla 145. Proyectos aprobados para construcción de caminos en comuna de Valdivia, año 2020-2021

Población o nombre U.V.	Tipo de vía	Nombre	Longitud (m)	Area intervenida (m2)
C.V.D. CLARO DE LUNA	VEREDAS	PJE. LUIS PÉREZ JERIA	53	212
C.V.D. CLARO DE LUNA	VEREDAS	PJE. BRAULIO LEON	80	320
C.V.D. CLARO DE LUNA	VEREDAS	PJE. WALTER NEUMAN	93	372
J. DE V. N° 34 INDEPENDENCIA	PASAJE	PJE. 15	45,6	182
C.V.D. BARRIO TENIENTE MERINO	VEREDAS	PJE. LAGO PULLINQUE	141	564
J. DE V. N° 20 PETROHUE	VEREDAS	PJE. 1 NORTE	39	156
J. DE V. N° 20 PETROHUE	VEREDAS	PJE. 3 NORTE	135	540
C.V.D. CLARO DE LUNA	VEREDAS	PJE. MANUEL GARAY	58	232
J. DE V. N° 34 INDEPENDENCIA	PASAJE	PJE. 19	29,8	299
J. DE V. N° 34 INDEPENDENCIA	PASAJE	PJE. 11	26,6	266
J. DE V. N° 20 PETROFUE	VEREDAS	PJE. 6 ORIENTE	223	892
J. DE V. N° 34 INDEPENDENCIA	PASAJE	PJE. 18	45,2	452
J. DE V. N° 15 MENZEL	VEREDAS	CALLE VIÑA DEL MAR	264	1.056
C.V.D. BARRIO TENIENTE MERINO	VEREDAS	PALENA	223	892
J. DE V. N° 20 PETROFUE	VEREDAS	CALLE PETROHUE	191	764
J. DE V. N° 4 BARRIOS BAJOS	VEREDAS	CALLE BAQUEDANO	162	648
J. DE V. N° 20 PETROFUE	VEREDAS	PJE. 3 ORENTE	253	1.012
J. DE V. N° 4 BARRIOS BAJOS	VEREDAS	CALLE GOYCOLEA	214	856
C.V.D. BARRIO TENIENTE MERINO	PASAJE	PJE. LAGO GALLETUE	90	900
J. DE V. N° 6 BAQUEDANO	PASAJE	MOLLENDO	33	330
C.V.D. BARRIO TENIENTE MERINO	PASAJE	LAGO RUPANCO	67,8	678

J. DE V. N° 34 INDEPENDENCIA	PASAJE	PJE. 13	68,7	687
C.V.D BARRIO TENIENTE MERINO	PASAJE	PJE. LAGO AZUL	143	1.430
J. DE V. N°10 HUACHOPIHUE	CALLE	CALLE INGLATERRA	90,9	1.818
J. DE V. ANWANDTER	VEREDAS	CALLE JOSE MARTI	175	700
C.V.D BARRIO TENIENTE MERINO	PASAJE	LAGO TAGUA TAGUA	100	1.000
C.V.D BARRIO TENIENTE MERINO	PASAJE	PJE. LAGO ICALMA	92	920
J. DE V. N°10 HUACHOPIHUE	CALLE	CALLE IRLANDA	39	780

Fuente: Plan de Obras 2020-2021, Programa de Pavimentación Participativa, MINVU [48]

6.2.2 FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO

La metodología para la estimación de emisiones de esta fuente considera un factor de emisión, en el tiempo en que demora ejecución de la obra y en la superficie de terreno intervenida, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = A \times T \times FE \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

- E*** : Emisión en Ton/año
- A** : Área intervenida en la construcción (m²)
- T** : Tiempo de duración de las obras (meses)
- FE** : Factor de emisión (kg/m²-mes)

Tabla 146. Variables de cálculo

Variable	Valor
A	: Área intervenida en la construcción se obtiene mediante el producto del largo del camino por el ancho del camino. Éste último se considera en 20 m para caminos de calle en ciudad ¹ .
T	: Se considera una duración de las obras de 12 meses
FE²	: 0,0272 (kg/m ² -mes)

6.2.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

De acuerdo al nivel de actividad y los factores de emisión para las fuentes identificadas, es posible estimar las emisiones, las cuales corresponden a 6,2 Ton/año de MP10, en el área de estudio.

Tabla 147. Estimación de emisiones construcción de caminos

Fuente	Nivel de Actividad:	F.E.	TOTAL MP10
	(m ²)	(kg/m ² -mes)	(Ton/año)
Construcción de caminos	18.958	0,0272	6,2

¹ Manual de Inventario de Emisiones AMBIOSIS 2011

6.3 CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

6.3.1 NIVEL DE ACTIVIDAD SEGÚN FUENTE

Respecto a la construcción de edificios, se cuenta con estadísticas del INE, de permisos de edificación autorizados al año 2020 que son generales para todo el país y se puede obtener la información desagregada a nivel comunal. Se presume que los permisos aprobados durante el año 2020 deberían construirse durante el año 2021 y por consiguiente emitir los contaminantes durante este periodo.

Tabla 148. Superficie aprobada según Permisos Edificación año 2020 (m²)

Comuna	Destino	Superficie (m ²)
Valdivia	Comercial	4.643
	Residencial	86.405
	Servicios	9.997
	Total Comuna	101.045

Fuente: Estadísticas de Edificación del INE

6.3.2 FACTORES DE EMISIÓN Y VARIABLES DE CÁLCULO

La metodología de cálculo considera las mismas variables indicadas para la estimación de emisiones provenientes de Construcción de Caminos, en la Ecuación 39. En nivel de actividad en este caso, corresponde a la superficie construida por comuna, para el año en evaluación, separada en residencial, comercial y servicios. Se considera una duración de las obras de en promedio 6 meses para construcción de viviendas y 11 meses para el sector comercio y servicios.

Tabla 149. Variables de cálculo

Variable	Valor
A	: Superficie construida (m ²)
T	: Se considera una duración de las obras de 6 meses para destino residencial y 11 meses para sector comercio y servicios
FE^d	: 0,0272 (kg/m ² -mes)

6.3.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

Tabla 150. Estimación de emisiones provenientes de construcción

Fuente	Nivel de Actividad (m ²)	F.E. (kg/m ² -mes)	TOTAL MP10 (Ton/año)
Comerciales	4.643	0,0272	1,4
Residencial	86.405	0,0272	14,1
Servicios	9.997	0,0272	3,0
Total			18,5

6.4 CAMINOS PAVIMENTADOS Y NO PAVIMENTADOS

La salida del modelo MODEM, de fuentes móviles, entrega el resultado de las emisiones de polvo resuspendido, para la comuna de Valdivia, la cual alcanza un total de 1.008.

Tabla 151. Polvo Resuspendido en la comuna de Valdivia según RETC 2021

N° Pisos	MP10 (Ton/año)
Polvo resuspendido	1.008

Fuente: MODEM, RETC 2020.

6.5 RESUMEN FRACCIÓN GRUESA DEL MATERIAL PARTICULADO

La siguiente Tabla presenta el resumen de la estimación de emisiones de las fuentes fugitivas consideradas como aporte a la fracción gruesa del material particulado. En Anexo 11 se presenta la base de datos con la estimación de emisiones asociadas a esta fuente.

Tabla 152. Resumen Estimación de Emisiones de Fuentes Fugitivas Valdivia 2021.

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES MP10 (Ton/año)	APORTE PORCENTUAL (%)
FRACCIÓN GRUESA	CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS	18	2%
	CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS	6	1%
	ÁRIDOS	8	1%
	POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO DE VEHÍCULOS	1.008	97%
TOTAL		1.041	100%

RESUMEN

INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2021, COMUNA DE VALDIVIA



7 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2021

7.1 INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS AÑO BASE 2020 A NIVEL COMUNAL

El resumen del inventario de emisiones año base 2021 se presenta a continuación en la Tabla 153 para la comuna de Valdivia, considerando todas las fuentes de emisión en estudio.

Tabla 153. Resumen del inventario de emisiones año base 2020 comuna de Valdivia

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	COMBUSTIÓN EXTERNA PUNTUAL	33,0	24,3	24,3	139,7	88,6	3,2	
	COMBUSTIÓN INTERNA	1,2	1,2	0,9	26,8	6,4	1,5	
	INDUSTRIA ALIMENTARIA Y AGROPECUARIA	0,1	0,1	0,0	1,8	0,7	0,0	
	GENERACIÓN DE ENERGÍA	1,2	1,2	0,2	75,3	0,6	0,1	
	Fuentes Puntuales	35,5	26,8	25,5	243,6	96,4	4,8	
Fuentes de Área	Combustión Residencial Leña	2.581,0	2.402,9	13,7	527,3	58.672,6	43.134,0	
	COMBUSTIÓN EXTERNA	0,7	0,6	39,9	38,5	9,6	1,5	-
	EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	-	-	-	-	-	1.265,9	190,2
	EVAPORATIVAS COMERCIALES	-	-	-	-	-	789,2	-
	RESTAURANTES	0,5	0,5	0,0	0,1	0,1	-	-
	QUEMAS	13,2	8,8	1,0	4,7	153,8	11,0	1,5
	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	2,9	-	-	0,1	9,5	0,2	38,7
	BIOGÉNICAS						1.556,0	
	ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	2,0	0,1	-	-	-	1,1	423,3
	Fuentes Área	19,1	10,0	40,9	43,3	172,9	3.624,8	661,6
Fugitivas	CONSTRUCCIÓN	24,7	-					
	ÁRIDOS	8,3						
	POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO	1.007,7	144,6					
	Fuentes fugitivas	1.040,7	144,6					
Móviles En Ruta	BUS	3,2	2,8	0,2	130,0	39,8	5,5	0,0
	CAMIÓN	1,8	1,6	0,0	36,4	11,4	2,8	0,0
	MOTOCICLETAS	0,5	0,5	0,0	0,6	58,2	32,9	0,0
	TAXI	0,7	0,4	0,1	6,7	11,1	0,9	0,9
	VEHICULO COMERCIAL	15,5	14,7	0,2	78,0	64,5	13,4	0,3
	VEHICULO LIVIANO	6,8	5,9	0,3	52,6	393,8	49,1	4,6
	FUENTES MÓVILES EN RUTA - SUBTOTAL	28,4	26,0	0,7	304,3	579,7	104,6	5,9
	MAQUINARIA AGRÍCOLA	0,4	0,4	0,9	4,3	2,8		
	MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN	2,6	2,5	4,4	21,5	23,5		
	FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA - SUBTOTAL	3,0	2,9	5,3	25,8	26,3	-	-
	Fuentes Móviles	31,4	28,8	6,0	330,1	606,1	104,6	5,9
TOTAL (*)	2.667,0	2.468,5	86,0	1.144,3	59.548,0	46.868,2	667,5	

Fuente: Elaboración propia

* No considera la suma de las fuentes fugitivas

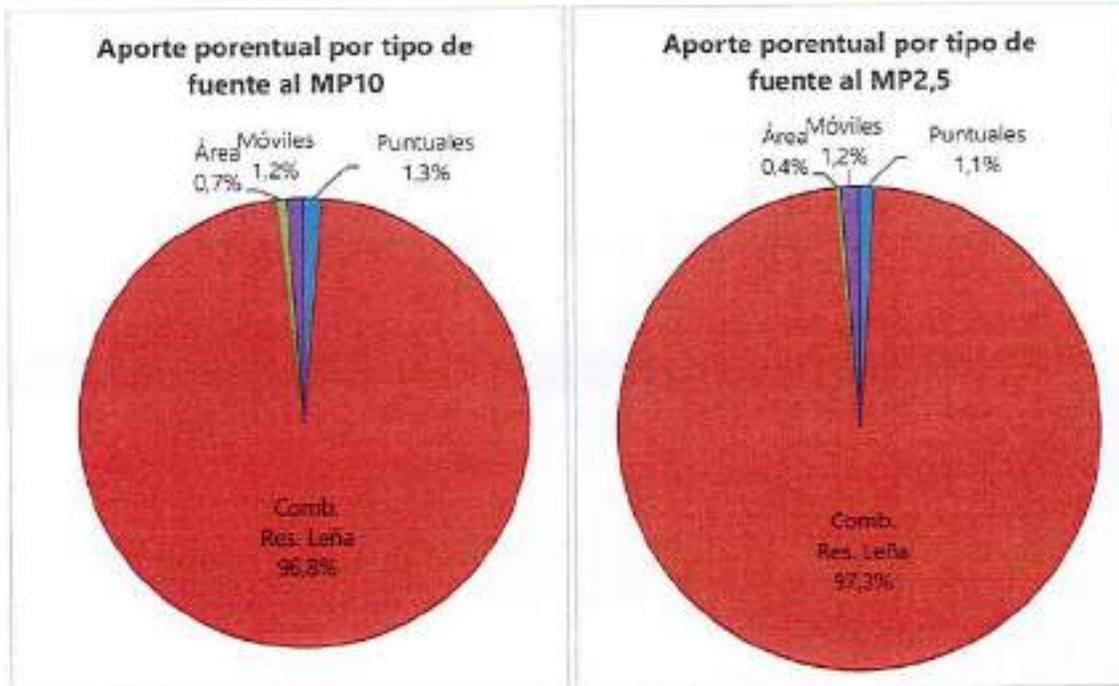


Figura 26. Distribución del MP en la comuna de Valdivia según fuente de emisión, año base 2021.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 presenta la distribución del aporte porcentual por contaminante según tipo de fuente para la comuna de Valdivia, apreciándose que en general la combustión residencial de leña representa las mayores emisiones para la mayoría de los contaminantes. A excepción de las emisiones de SOx que son aportadas principalmente por las fuentes puntuales y de área.

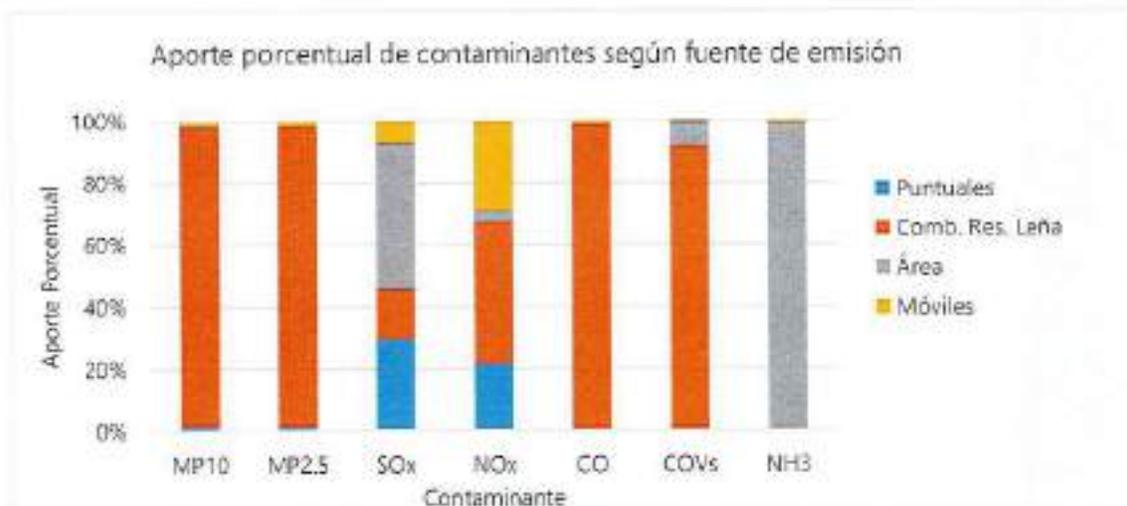


Figura 27. Distribución de contaminantes en la comuna de Valdivia según fuente de emisión, año base 2021.
Fuente: Elaboración propia.

8 PROYECCIÓN DEL INVENTARIO

Con la finalidad de darle una perspectiva en el tiempo, se desarrollaron proyecciones de las emisiones a partir del inventario año base 2021, y considerando un horizonte de 6 años de evaluación, es decir al 2027 que corresponde al año meta del PDA de Valdivia.

Respecto a la proyección, la principal fuente de emisión correspondiente a la combustión residencial de leña es la que presenta las mayores consideraciones, por la dinámica de su origen, que es multifactorial. De esta manera, para la proyección se consideró el crecimiento en el número de viviendas tipo casa, el crecimiento y distribución del stock de artefactos de combustión, cambios en las prácticas de operación y calidad de la leña. En base a esto se construyeron 3 escenarios de evaluación para el año meta 2027, que parten de una base 2021 como escenario actual.

Proyección PDA vigente conservador (1): Corresponde a la proyección del inventario, desde el año base 2021 al año 2027, manteniendo el actual ritmo de implementación de medidas. Este escenario coincide con un escenario conversador ya que plantea que no se cumplen las metas de implementación de medidas, respecto al número de recambios de calefactores y subsidios de mejoramiento térmico, tal como se puede observar al analizar el estado de ejecución al año 2021 del PDA Valdivia.

Proyección PDA vigente optimista (2): Corresponde al escenario que considera el cumplimiento de las metas de implementación propuestas, considerando una tasa acelerada de ejecución de las medidas contenidas del PDA, de forma tal que se logra la meta de implementación de subsidios de mejoramiento térmico y recambios de calefactores al año 2027, así como una mejora en la calidad de la leña.

Proyección PDA ajustado (3): Corresponde al escenario más disruptivo, donde se proyecta un cambio más drástico en la medida de recambio de calefactores. En efecto, se considera que, además de lograr la meta de recambio establecida para el escenario optimista, este contemplará que el 50% de los equipos utilizará un combustible diferente a biomasa, considerados de emisión cero.

Tabla 154. Principales consideraciones para la proyección del inventario de emisiones – Combustión Residencial de Leña

Variables	Valores																				
<p><u>Parque de viviendas:</u></p> <p>Se considera la proyección del parque de viviendas al año 2027, considerando solo las de tipo casa, a partir de la información histórica del INE.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>N° de viviendas tipo casa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Año 2013</td> <td>32.668</td> </tr> <tr> <td>Año 2017</td> <td>51.781</td> </tr> <tr> <td>Año 2021</td> <td>56.062</td> </tr> <tr> <td>Año 2027</td> <td>62.892</td> </tr> </tbody> </table>	Año	N° de viviendas tipo casa	Año 2013	32.668	Año 2017	51.781	Año 2021	56.062	Año 2027	62.892										
Año	N° de viviendas tipo casa																				
Año 2013	32.668																				
Año 2017	51.781																				
Año 2021	56.062																				
Año 2027	62.892																				
<p><u>Penetración del uso de biomasa (%)</u></p> <p>Se considera la renovación gradual del parque de artefactos en uso, tanto a través del programa de recambio del PDA, así como de recambios particulares que siguen la misma directriz (se considera que existe un 30% de recambios particulares, por sobre la cifra proyectada para los recambios del PDA). Con ello, varía la penetración del uso de leña para los escenarios de evaluación.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Penetración uso leña y pellet</th> <th>Leña</th> <th>Pellet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caso base PDA (2021)</td> <td>73,8%</td> <td>19,8%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Conservador (2027)</td> <td>65,9%</td> <td>26,4%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Optimista (2027)</td> <td>40,3%</td> <td>50,5%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Ajustado (2027)</td> <td>40,3%</td> <td>35,7%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se asume que un escenario positivo PDA logra una tasa de recambio acelerada de los artefactos a leña, introduciendo pellet de manera más relevante, además de otras tecnologías diferentes a biomasa.</p>	Penetración uso leña y pellet	Leña	Pellet	Caso base PDA (2021)	73,8%	19,8%	Esc. PDA Conservador (2027)	65,9%	26,4%	Esc. PDA Optimista (2027)	40,3%	50,5%	Esc. PDA Ajustado (2027)	40,3%	35,7%					
Penetración uso leña y pellet	Leña	Pellet																			
Caso base PDA (2021)	73,8%	19,8%																			
Esc. PDA Conservador (2027)	65,9%	26,4%																			
Esc. PDA Optimista (2027)	40,3%	50,5%																			
Esc. PDA Ajustado (2027)	40,3%	35,7%																			
<p><u>Consumo promedio de leña y pellet</u></p> <p>Para la construcción de los escenarios no se modificó la dinámica de consumo, respecto a cantidad promedio de combustible por vivienda.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Leña (m³/año)</th> <th>Pellet (kg/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo combustible</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Caso base PDA (2021)</td> <td>8,8</td> <td>1.358</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Conservador (2027)</td> <td>8,7</td> <td>1.358</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Optimista (2027)</td> <td>8,4</td> <td>1.358</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Ajustado (2027)</td> <td>8,4</td> <td>1.358</td> </tr> </tbody> </table>		Leña (m ³ /año)	Pellet (kg/año)	Consumo combustible			Caso base PDA (2021)	8,8	1.358	Esc. PDA Conservador (2027)	8,7	1.358	Esc. PDA Optimista (2027)	8,4	1.358	Esc. PDA Ajustado (2027)	8,4	1.358		
	Leña (m ³ /año)	Pellet (kg/año)																			
Consumo combustible																					
Caso base PDA (2021)	8,8	1.358																			
Esc. PDA Conservador (2027)	8,7	1.358																			
Esc. PDA Optimista (2027)	8,4	1.358																			
Esc. PDA Ajustado (2027)	8,4	1.358																			
<p><u>Operación de los equipos</u></p> <p>Esta variable plantea el supuesto de que, a partir de medidas de educación ambiental contenidas en el PDA, mejora la operación de los equipos a leña por parte de los usuarios.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Operación</th> <th>Buena operación</th> <th>Mala operación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caso base PDA (2021)</td> <td>42%</td> <td>58%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Conservador (2027)</td> <td>42%</td> <td>58%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Optimista (2027)</td> <td>60%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Ajustado (2027)</td> <td>60%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Operación	Buena operación	Mala operación	Caso base PDA (2021)	42%	58%	Esc. PDA Conservador (2027)	42%	58%	Esc. PDA Optimista (2027)	60%	40%	Esc. PDA Ajustado (2027)	60%	40%					
Operación	Buena operación	Mala operación																			
Caso base PDA (2021)	42%	58%																			
Esc. PDA Conservador (2027)	42%	58%																			
Esc. PDA Optimista (2027)	60%	40%																			
Esc. PDA Ajustado (2027)	60%	40%																			
<p><u>Calidad de la leña utilizada</u></p> <p>Esta variable supone que, a partir del efecto sinérgico asociado a la implementación de medidas del PDA y, especialmente, a partir del establecimiento de una ordenanza para regular el uso y comercialización de leña seca, se sostienen mejoras proyectadas.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Humedad</th> <th>Seca</th> <th>Semi</th> <th>Húm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caso base PDA (2021)</td> <td>56%</td> <td>18%</td> <td>26%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Conservador (2027)</td> <td>60%</td> <td>20%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Optimista (2027)</td> <td>60%</td> <td>20%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Esc. PDA Ajustado (2027)</td> <td>60%</td> <td>20%</td> <td>20%</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad	Seca	Semi	Húm.	Caso base PDA (2021)	56%	18%	26%	Esc. PDA Conservador (2027)	60%	20%	20%	Esc. PDA Optimista (2027)	60%	20%	20%	Esc. PDA Ajustado (2027)	60%	20%	20%
Humedad	Seca	Semi	Húm.																		
Caso base PDA (2021)	56%	18%	26%																		
Esc. PDA Conservador (2027)	60%	20%	20%																		
Esc. PDA Optimista (2027)	60%	20%	20%																		
Esc. PDA Ajustado (2027)	60%	20%	20%																		

A partir de las consideraciones anteriormente planteadas se estimaron las emisiones para los escenarios de evaluación proyectados: Escenario PDA Conservador (2027), Escenario PDA Optimista (2027), Escenario PDA Ajustado (2027).

Se observa una reducción cerca a las 735 ton/año entre el inventario 2021 para MP2,5 y el escenario PDA Conservador (2027), mientras que para los escenarios PDA Optimista (2027) y PDA Ajustado (2027), se alcanzarían reducciones de 1.415 ton/año, y 1.438 ton/año, respectivamente.

Tabla 155. Proyección emisiones combustión residencial de biomasa – Esc. PDA Conservador (2027).

Tipo de Artefacto	Emisiones (ton/año) según artefacto					
	MP10	MP2,5	CO	NOX	SOX	COVs
Calefactor Leña Certif.	648,4	603,7	14.691,4	281,8	3,1	11.783,1
Calefactor Leña C/T	453,7	422,4	7.129,6	86,3	1,0	3.595,5
Calefactor Leña S/T	117,0	108,9	1.803,0	36,3	0,5	624,3
Cocina a Leña	503,7	468,9	16.145,0	53,5	4,2	14.577,1
Salamandra	14,2	13,2	235,3	3,6	0,1	136,7
Chimenea y otros	11,1	10,4	150,8	0,8	0,1	136,7
Calefactor a Pellet	42,8	39,8	225,1	41,8	1,9	596,5
TOTAL	1.790,9	1.667,3	40.380,1	504,2	10,9	31.449,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 156. Proyección emisiones combustión residencial de biomasa – Esc. PDA Optimista (2027).

Tipo de Artefacto	Emisiones (ton/año) según artefacto					
	MP10	MP2,5	CO	NOX	SOX	COVs
Calefactor Leña Certif.	258,4	238,1	5.942,5	104,3	1,5	4.073,6
Calefactor Leña C/T	308,9	287,6	5.118,0	61,4	0,9	2.390,2
Calefactor Leña S/T	61,5	57,2	1.084,5	18,9	0,3	331,7
Cocina a Leña	348,3	324,2	11.355,7	43,8	3,5	9.657,0
Salamandra	2,1	2,0	35,4	0,5	0,0	20,6
Chimenea y otros	1,7	1,6	22,7	0,1	0,0	20,6
Calefactor a Pellet	42,8	76,4	431,7	80,2	3,6	1.143,9
TOTAL	1.023,7	987,0	23.990,5	309,2	9,8	17.637,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 157. Proyección emisiones combustión residencial de biomasa – Esc. PDA Ajustado (2027).

Tipo de Artefacto	Emisiones (ton/año) según artefacto					
	MP10	MP2,5	CO	NOX	SOX	COV _s
Calefactor Leña Certif.	258,4	238,1	5.942,5	104,3	1,5	4.073,6
Calefactor Leña C/T	308,9	287,6	5.118,0	61,4	0,9	2.390,2
Calefactor Leña S/T	61,5	57,2	1.084,5	18,9	0,3	331,7
Cocina a Leña	348,3	324,2	11.355,7	43,8	3,5	9.657,0
Salamandro	2,1	2,0	35,4	0,5	0,0	20,6
Chimenea y otros	1,7	1,6	22,7	0,1	0,0	20,6
Calefactor a Pellet	57,9	53,9	304,6	56,6	2,5	807,1
TOTAL	1.038,8	964,5	23.863,4	285,6	8,8	17.300,8

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las demás fuentes de emisión se considera relevante los cambios que pueda generar el PDA producto de su implementación en las fuentes puntuales, para lo cual se realizan los siguientes supuestos para proyectar las emisiones:

- Retiro de fuente: Se retira la fuente Caldera Industrial que funciona a carbón bituminoso del establecimiento Levaduras Collico, por cuando a partir del año 2022 está fuera de funcionamiento.
- Retiro de fuente: Se retira de funcionamiento la fuente Caldera a Petróleo del establecimiento Cartulinas CMPC por cuanto, a partir de 2022 funciona con GLP.
- En el actual escenario de regulación del PDA, las fuentes puntuales que deben cumplir con límite de emisión corresponden a en primer lugar a Cartulinas CMPC, la cual se encuentra cumpliendo con todos los requerimientos respecto a emisión de MP, SO₂ y medición de sus emisiones. También debe cumplir con límite de emisión la empresa FRIVAL con su caldera industrial a leña de 4,2 MWt y su caldera de calefacción a pellet de 1,6 MWt, las cuales actualmente no cuentan con medición de emisiones disponible. En este sentido, se considera que en un escenario 2027 el PDA deberá regular el funcionamiento de estas fuentes, para lo cual el titular deberá medir sus emisiones y tomar medidas de reducción en caso de requerirse, esto es, mediante la instalación de algún sistema de control o con recambio tecnológico. Por lo tanto, se considera para la evaluación el retiro de la caldera a leña como supuesto de proyección. Para los dos escenarios se considera la misma dinámica de retiro de las fuentes puntuales.
- Respecto a otras fuentes de área, estas se mantienen en el escenario proyectado por cuanto su cambio en el tiempo, en los casos de las fuentes más relevantes son de difícil predicción, tales como las quemas, incendios y actividades agrícolas.
- Para el caso de las fuentes móviles, el escenario es variable en el tiempo. La revisión de los datos históricos del parque vehicular y emisiones se observa proporcional entre los

años 2017 y 2019, luego para el año 2020 cambia la dinámica de emisiones producto de la pandemia, registrándose la estadística de un parque vehicular disminuido respecto a los años anteriores. Luego para el año 2021, aun cuando aumenta el parque vehicular, respecto al 2019, las emisiones bajan casi a la mitad, para el mismo año, lo que pudiera dar cuenta de un recambio tecnológico y mejoramiento del parque automotriz, por lo tanto, se ve con poca claridad una proyección de esta fuente, por lo que se mantiene constante para el escenario de evaluación, asumiendo además que el PDA solo regula este sector mediante el recambio de buses, lo cual ya fue ejecutado como medida.

Con estas consideraciones se construye un escenario proyectado al año 2027 con un nivel de cumplimiento actual del PDA y otro positivo respecto al cumplimiento del PDA. Los resultados se presentan en la Tabla 157 y 158, a continuación.

Tabla 158. Proyección emisiones inventario Escenario actual PDA – Año 2027

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2.5	SO _x	NO _x	CO	COVs	NH ₃
Puntuales	COMBUSTIÓN EXTERNA PUNTUAL	27,5	24,3	7,8	129,2	94,9	3,3	-
	COMBUSTIÓN INTERNA	1,2	1,2	0,9	26,8	6,4	1,5	-
	INDUSTRIA ALIMENTARIA Y AGROPECUARIA	0,1	0,1	0,0	1,8	0,7	0,0	-
	GENERACIÓN DE ENERGÍA	1,2	1,2	0,2	75,3	0,6	0,1	-
	Fuentes Puntuales	30,0	26,8	8,9	233,1	102,7	4,9	-
Fuentes de Área	Combustión Residencial Leña	1.683,5	1.567,3	11,1	477,2	39.037,1	28.742,7	-
	COMBUSTIÓN EXTERNA	0,7	0,6	39,9	38,5	9,6	1,5	-
	EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	-	-	-	-	-	1.265,9	199,2
	EVAPORATIVAS COMERCIALES	-	-	-	-	-	789,2	-
	RESTAURANTES	0,5	0,5	0,0	0,1	0,1	-	-
	QUEMAS	13,2	8,8	1,0	4,7	153,8	11,0	1,5
	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	2,9	-	-	0,1	9,5	0,2	38,7
	BIOGÉNICAS	-	-	-	-	-	1.556,0	-
	ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	2,0	0,1	-	-	-	1,1	423,3
	Fuentes Área	19,1	10,0	40,9	43,3	172,9	3.624,8	661,6
Fugitivas	CONSTRUCCIÓN	24,7	-	-	-	-	-	-
	ÁRIDOS	8,3	-	-	-	-	-	-
	POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO	1.007,7	144,6	-	-	-	-	-
	Fuentes fugitivas	1.040,7	144,6	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	BUS	3,2	2,8	0,2	130,0	39,8	5,5	0,0
	CAMIÓN	1,8	1,5	0,0	36,4	11,4	2,8	0,0
	MOTOCICLETA	0,5	0,5	0,0	0,6	59,2	32,9	0,0
	TAXI	0,7	0,4	0,1	6,7	11,1	0,9	0,9
	VEHICULO COMERCIAL	15,5	14,7	0,2	78,0	64,5	13,4	0,3
	VEHICULO LIVIANO	6,8	5,9	0,3	52,6	393,8	49,1	4,6
	FUENTES MÓVILES EN RUTA - SUBTOTAL	28,4	26,0	0,7	304,3	579,7	104,6	5,9
	MAQUINARIA AGRÍCOLA	0,4	0,4	0,9	4,3	2,8	-	-
	MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN	2,6	2,5	4,4	21,5	23,5	-	-
	FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA - SUBTOTAL	3,0	2,9	5,3	25,8	26,3	-	-
	Fuentes Móviles	31,4	28,8	6,0	330,1	606,1	104,6	5,9
TOTAL	1.764,00	1.632,90	66,90	1.083,70	39.918,80	32.477,00	667,50	

Tabla 159. Proyección emisiones inventario Escenario positivo PDA – Año 2027

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	COMBUSTIÓN EXTERNA PUNTUAL	27,5	24,3	7,8	129,2	94,9	3,3	-
	COMBUSTIÓN INTERNA	1,2	1,2	0,9	26,8	6,4	1,5	-
	INDUSTRIA ALIMENTARIA Y AGROPECUARIA	0,1	0,1	0,0	1,6	0,7	0,0	-
	GENERACIÓN DE ENERGÍA	1,2	1,2	0,2	75,3	0,6	0,1	-
	Fuentes Puntuales	30,0	26,8	8,9	233,1	102,7	4,9	-
Fuentes de Área	Combustión Residencial Leña	1.157,1	1.077,3	10,1	331,4	26.529,5	19.969,6	-
	COMBUSTIÓN EXTERNA	0,7	0,6	39,9	38,5	9,6	1,5	-
	EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	-	-	-	-	-	1.265,9	198,2
	EVAPORATIVAS COMERCIALES	-	-	-	-	-	789,2	-
	RESTAURANTES	0,5	0,5	0,0	0,1	0,1	-	-
	QUEMAS	13,2	8,0	1,0	4,7	153,8	11,0	1,5
	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS BIOLÓGICOS	2,9	-	-	0,1	9,5	0,2	38,7
							1.556,0	-
	ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	2,0	0,1	-	-	-	1,1	433,3
	Fuentes Área	19,1	10,0	40,9	43,3	172,9	3.624,8	661,6
Fugitivas	CONSTRUCCIÓN	24,7	-	-	-	-	-	-
	ÁRIDOS	8,3	-	-	-	-	-	-
	POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO	1.007,7	144,6	-	-	-	-	-
	Fuentes fugitivas	1.040,7	144,6					
Móviles En Ruta	BUS	3,2	2,8	0,2	130,0	39,8	5,5	0,0
	CAMIÓN	1,8	1,6	0,0	36,4	11,4	2,8	0,0
	MOTOCICLETA	0,5	0,5	0,0	0,6	59,2	32,9	0,0
	TAXI	0,7	0,4	0,1	6,7	11,1	0,9	0,9
	VEHÍCULO COMERCIAL	15,5	14,7	0,2	78,0	64,5	13,4	0,3
	VEHÍCULO LIVIANO	6,8	5,9	0,3	52,6	393,8	49,1	4,6
	FUENTES MÓVILES EN RUTA - SUBTOTAL	28,4	26,0	0,7	304,3	579,7	104,6	5,9
	MAQUINARIA AGRÍCOLA	0,4	0,4	0,9	4,3	2,8	-	-
	MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN	2,6	2,5	4,4	21,5	23,5	-	-
	FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA - SUBTOTAL	3,0	2,9	5,3	25,8	26,3	-	-
	Fuentes Móviles	31,4	28,8	6,0	330,1	606,1	104,6	5,9
TOTAL	1.237,60	1.142,90	65,90	937,90	27.411,20	23.703,90	667,50	

MEDIDAS PDA

EVALUACIÓN DE MEDIDAS



9 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS MEDIDAS

Todos los Planes de Descontaminación Atmosférica implementados en la zona centro y sur de Chile dan cuenta que la fuente emisora más relevante corresponde a la "combustión residencial de leña", y, en consecuencia, las medidas para la reducción de emisiones se orientan en esta línea. En este sentido, las principales medidas definidas en cada PDA se concentran en torno a los sectores descritos en la Tabla 160.

Tabla 160. Descripción de las regulaciones más relevantes para la evaluación de medidas

Regulación	Descripción
Mejoramiento de la Eficiencia Térmica de la Vivienda	Las medidas para este sector se focalizan principalmente en elevar las condiciones de eficiencia energética de las viviendas nuevas y existentes, mediante el aumento, de las exigencias actuales de la ordenanza general de urbanismo y construcciones que aplica a la construcción de viviendas nuevas, y, además, entregando subsidios de mejoramiento térmico para viviendas que hayan sido construidas con anterioridad a la entrada en vigor de la reglamentación térmica de construcción.
Mejoramiento de la eficiencia de los artefactos de combustión a leña	Las medidas para este sector se focalizan principalmente en la renovación del parque de calefactores a leña por nuevos artefactos, más eficientes y menos contaminantes.
Uso y Mejoramiento de la Calidad de la Leña	Las medidas para este sector tienen relación con fortalecer al sector productivo en torno a promover la oferta de leña seca, además de prohibir la comercialización y consumo de leña húmeda. Por otra parte, establece reforzar la fiscalización por parte de los organismos competentes, considerando producción y comercialización.

Para el presente estudio, se realizó una evaluación del impacto que ha tenido la implementación de las medidas más relevantes contenidas en el PDA Valdivia, a saber, Mejoramiento térmico de viviendas, Recambio de calefactores a leña y Uso de leña seca, que representan los ejes estructurales de dicho PDA.

Para lo anterior, se consideró la implementación de medidas entre los años 2017-2021, porque representa el periodo comprendido entre el inicio del PDA, y el año base de la presente actualización del inventario de emisiones. A continuación, se detalla la metodología, actividades y resultados obtenidos para cada línea de medidas.

9.1 ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS"

9.1.1 ALCANCE METODOLÓGICO

El mejoramiento térmico de viviendas es una medida orientada a reducir la demanda energética con fines de calefacción de los hogares. Se debe entender que el mejoramiento o reacondicionamiento térmicos de viviendas consiste en disminuir la transmitancia térmica de toda la envolvente de modo que el calor generado en el interior no se pierda por fugas al exterior. Lo anterior, se considera tiene un impacto significativo en la reducción de la contaminación en ciudades del centro y sur de Chile, por cuanto, mientras mejor sea el reacondicionamiento térmico, menor será la demanda energética para calefacción y, por consiguiente, menor el consumo de combustible leña, o en su defecto, facilita la migración hacia otro tipo de tecnologías de calefacción que utilizan combustible distinto a leña, lo que finalmente repercute en una menor tasa de emisiones contaminantes.

Luego, la metodología para estimar la reducción de emisiones asociadas a esta medida implica determinar cuál es la reducción en el consumo de combustible de la vivienda, posterior al mejoramiento térmico. Una metodología ampliamente utilizada es aquella que utiliza cálculos matemáticos para determinar la variación de la demanda energética a partir de factores constructivos y factores climáticos característicos de la zona. A partir de esta metodología, es posible estimar la demanda energética para calefacción si se cuenta con el diseño detallado de la vivienda, incluyendo arquitectura y materialidad (se conocen y se encuentran tabuladas las transmitancias de las soluciones constructivas reconocidas y validadas por la autoridad competente.

Sin embargo, luego de analizar los alcances de la metodología planteada, se consideró que esta no responde estrictamente al objetivo del presente análisis, orientado a determinar la reducción de emisiones a partir de una reducción en el consumo de leña, ya que, para que la realidad concuerde con los valores estimados, se requiere que la ejecución de la obra de mejoramiento obedezca fielmente a las indicaciones técnicas. Además, no pondera el comportamiento del usuario en relación con el nuevo escenario, ya sea porque no dispone de mecanismos eficientes para regular el consumo de leña, o bien, porque las ganancias derivadas de la mejora térmica se ven orientados hacia la ganancia de un mejor confort térmico de la vivienda, respecto del escenario base, en desmedro de una reducción en el consumo de combustible.

En función de lo anterior, se consideró pertinente utilizar un método que identifique y exponga de manera directa la reducción del consumo de leña luego de realizar el mejoramiento térmico de la vivienda. Este antecedente se obtuvo a partir de la "Encuesta de caracterización residencial en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión", mediante datos aportados por declaración directa de cientos de encuestados que fueron

beneficiarios del programa de mejoramiento térmico de viviendas que pueden contrastar su consumo antes y después del mejoramiento. Los resultados indican reducciones en torno al 17% de las viviendas antes del mejoramiento térmico, respecto al consumo luego del mejoramiento térmico.

9.1.2 ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN

Este programa, al igual que el Programa de Recambio de Calefactores, se aplica en zonas que han sido declaradas zona saturada por contaminación atmosférica como consecuencia del mal uso de la leña, y cuentan con un Plan de Descontaminación Atmosférica vigente. En efecto, el PDA de Valdivia establece una meta 18.000 subsidios de mejoramiento térmico de viviendas, a ejecutarse en el horizonte de 10 años en que se implementa el PDA (2017-2027). Luego, según antecedentes proporcionados por profesionales del SERVIU Los Ríos, al año 2021, se ha logrado un avance cercano al 12% de ejecución, con un total de 1.877 subsidios ejecutados entre los años 2018 y 2021. En la Tabla 161 se muestra el total de subsidios ejecutados en dicho periodo.

Tabla 161. N° de viviendas intervenidas en Valdivia, mediante subsidio de mejoramiento térmico

Año	2018	2019	2020	2021	Total
Valdivia	371	624	522	330	1.877

Fuente: Elaboración propia

9.2 ALCANCES DE LA MEDIDA "RECAMBIO DE CALEFACTORES A LEÑA"

9.2.1 ALCANCE METODOLÓGICO

La evaluación de este alcance considera el Programa de Recambio de Calefactores como medida del PDA, y también la renovación natural del parque de calefactores, asociada a la implementación de medidas de prohibición de venta y uso de calefactores establecidas en el PDA.

Programa de Recambio de Calefactores

El recambio voluntario de calefactores a leña, es una medida orientada a la renovación del parque de calefactores en uso, stock de artefactos de combustión residencial de leña, aplicado en zonas del centro y sur de Chile que han sido declaradas como zona saturada por contaminación atmosférica y cuentan con un PDA vigente, cuyos alcances prácticos tienen que ver con la reducción de emisiones contaminantes a partir del retiro y

chatarrazación² de artefactos antiguos, caracterizados por un pobre desarrollo tecnológico y alto deterioro (producto de la intensidad de uso), por artefactos nuevos, que consideran una mayor eficiencia de combustión, y mayor eficiencia térmica, como consecuencia de su mayor desarrollo tecnológico, todo lo cual derivada en menores emisiones contaminantes.

Luego, la metodología para estimar las emisiones por uso de leña en artefactos de calefacción residencial es la misma utilizada para la estimación de emisiones de esta fuente en el marco del inventario, según la siguiente ecuación:

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 42}$$

Dónde:

- E : Emisiones del contaminante en estudio (Ton/año).
- FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del nivel de actividad que caracteriza a la fuente (Ton/kg leña).
- NA : Nivel de actividad. Corresponde al consumo promedio de leña (Kg/año).

Para estimar la reducción de emisiones asociadas a la medida, se utilizaron los mismos FE que fueron considerados para la estimación de emisiones del inventario base. Esta metodología considera la estimación de emisiones provenientes del parque de calefactores sin la implementación de la medida, es decir, contempla los calefactores retirados. La estimación se compara con el parque actual de calefactores levantado mediante encuesta, que considera la implementación de la medida de recambio de calefactores.

Renovación Natural de Calefactores

El PDA Valdivia en sus artículos 4 y 5 establece prohibición de uso de chimeneas de hogar abierto (desde la entrada en vigor del PDA) y prohíbe el uso de calefactores a leña en uso del tipo cámara simple, salamandras y hechizos (desde 1° de enero de 2022). Luego el artículo 6, indica que, a partir del 1° enero del 2025, queda prohibido el uso de todos los calefactores a leña, que no cumplan con el DS N°39, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, es decir calefactores a leña certificados.

Esta prohibición, junto a otras medidas (Restricción de uso de calefactores en GEC y educación ambiental) ha impulsado el recambio particular en los hogares de la comuna de Valdivia. El actual parque de artefactos caracterizado mediante la presente actualización del inventario de emisiones da cuenta de un número importante de calefactores certificados y calefactores a pellet obtenidos a través de financiamiento particular de cada usuario. Con la información del parque actual, retirando los calefactores entregados mediante el Programa de Recambio de Calefactores, es posible determinar el alcance de calefactores particulares

² Destrucción de artefactos retirados mediante la fundición a altas temperaturas, de todas sus partes y piezas, para evitar ser destinado a nuevos usuarios.

y así cuantificar el impacto de las medidas indicadas en los artículos 4 y 5, vigentes al momento de la evaluación, en las emisiones.

9.2.2 ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN

Implementación a nivel comunal

De acuerdo con los antecedentes disponibles, el programa de recambio de calefactores a leña ejecutado en la comuna de Valdivia inició oficialmente el año 2017, no obstante, antes de este año se ejecutaron algunos programas piloto, con artefactos a leña. En lo que respecta a la evaluación se considerarán solo los implementados a partir de la ejecución del PDA Valdivia. En la Tabla 162 se presenta un resumen con el total de calefactores recambiados entre el año 2017 y 2021, observándose que en este periodo se han recambiado un total de 3.617 calefactores, representando un 14% de la meta establecida en el PDA de la ejecución de 24.000 recambios.

De los artefactos recambiados se observa que la principal línea corresponde a calefactores a pellet, mientras que los calefactores más retirados corresponden a calefactores de combustión lenta con templador (doble cámara).

Tabla 162. Tipología de artefactos recambiados en Valdivia, mediante PRC (2017-2021)

Artefacto Retirado	Artefacto Instalado		
	Kerosene	Pellet	Total Recambios
CAMARA SIMPLE	81	733	814
COCINA	102	534	636
DOBLE CÁMARA	128	1.598	1.726
HECHIZO	34	141	175
SALAMANDRA	52	214	266
Total general	397	3.220	3.617

Fuente: elaboración propia

Implementación a nivel distrital

A partir de la información proporcionada por la contraparte técnica fue posible establecer la distribución espacial de las viviendas beneficiarias con el Programa de Recambio de Calefactores y clasificarlas según distrito censal para determinar su impacto en emisiones según esta unidad territorial. La Figura 28 presenta la distribución del número de artefactos recambiados por distrito censal. La escala de colores permite observar la distribución de los subsidios entregados en los distritos censales. Luego la Figura 29 presenta la distribución según tipo de tecnología recambiada.

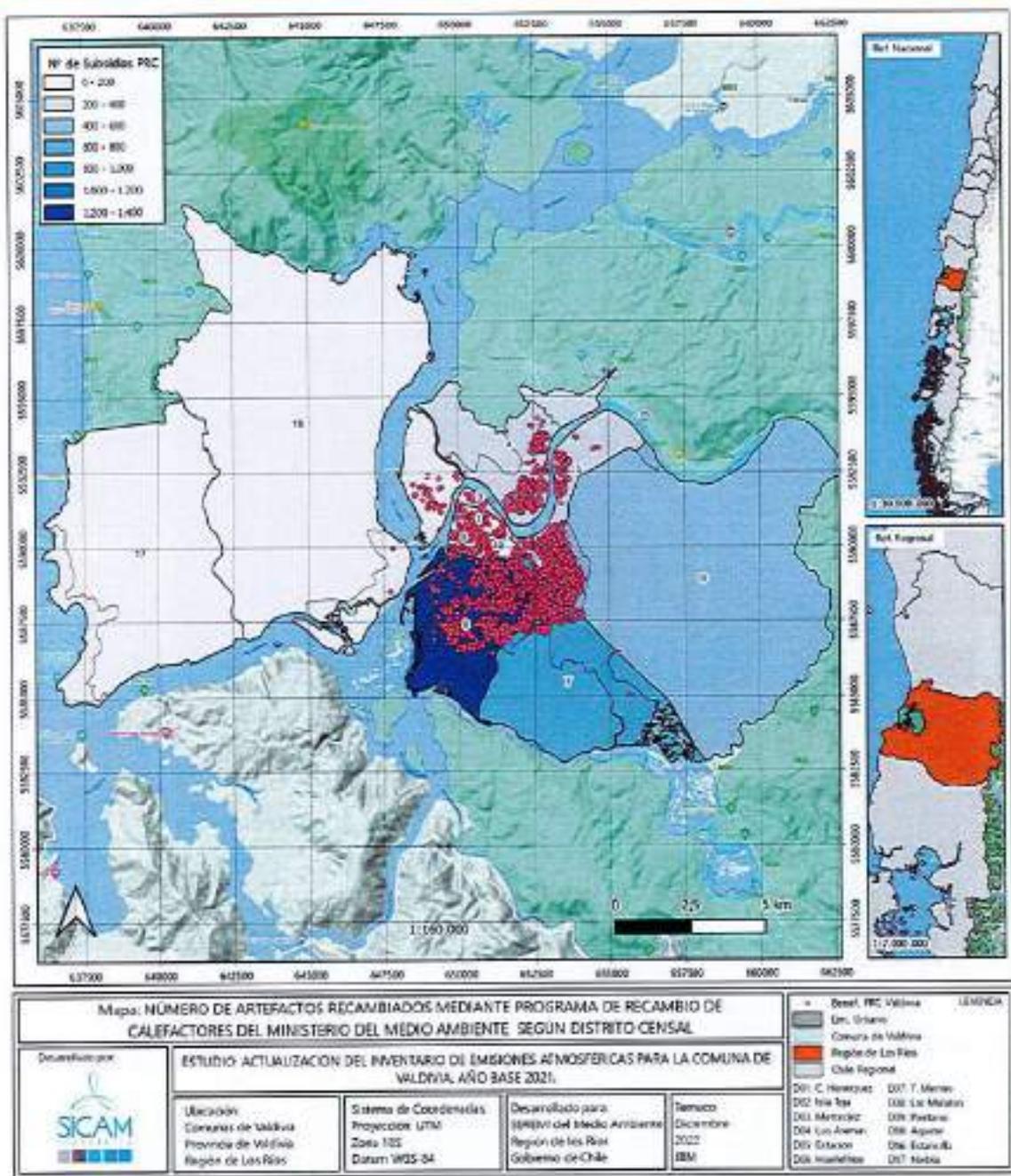


Figura 28. Distribución de beneficiarios del Programa de Recambio de Calefactores en Valdivia (2017-2021)
 Fuente: Elaboración propia

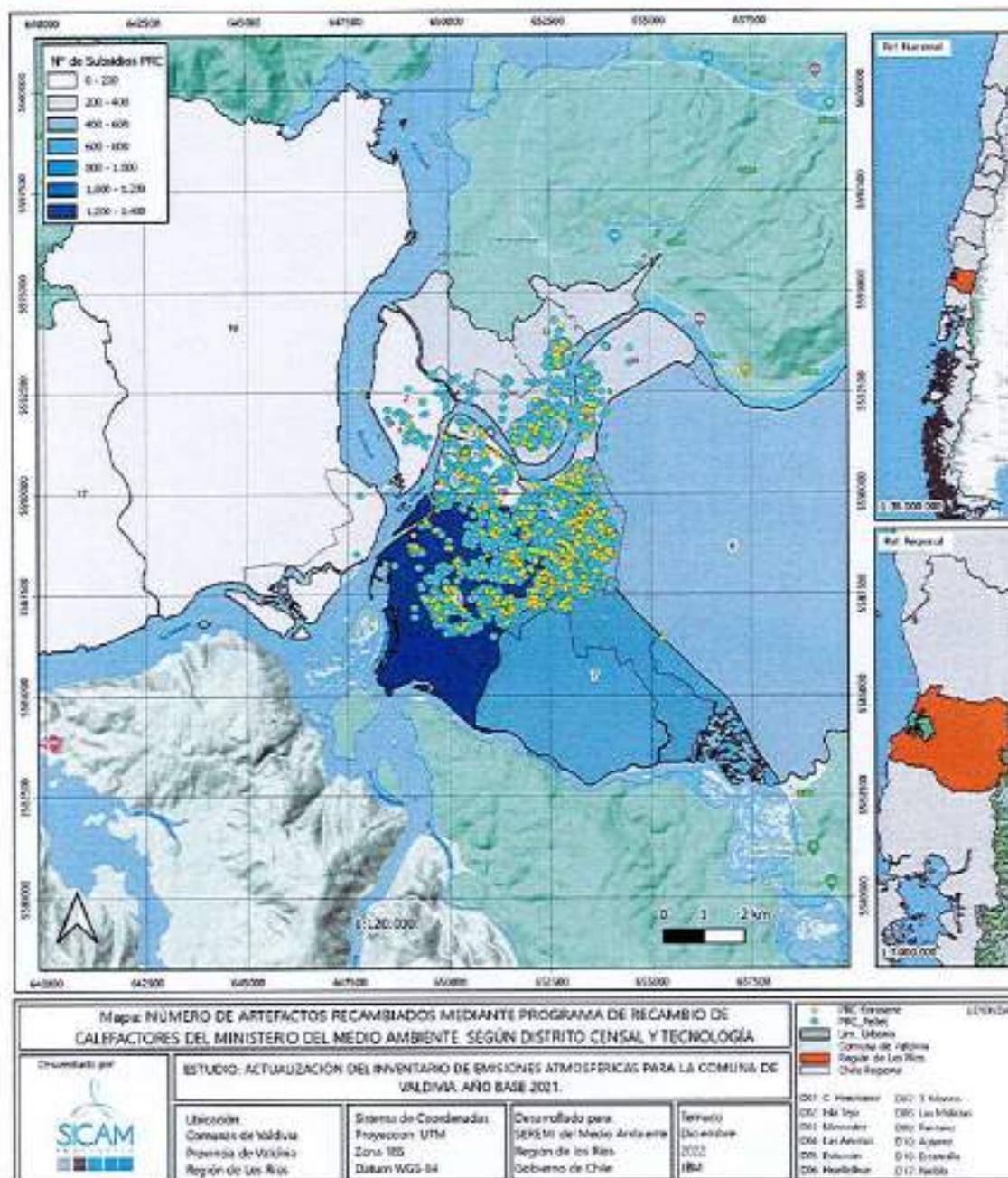


Figura 29. Distribución de beneficiarios del Programa de Recambio de Calefactores en Valdivia (2017-2021) según tecnología recambiada

Fuente: Elaboración propia

9.2.3 ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA LEÑA"

La leña ocupa el 2° lugar en la matriz energética nacional de acuerdo con estadísticas de la Comisión Nacional de Energía (CNE). La leña como combustible posee importantes ventajas, es un energético de bajo costo, de producción local, y descentralizada. Sin embargo, su uso ineficiente y falta de regulación ha traído consecuencias negativas en centros urbanos del centro y sur del país, en donde la combustión residencial de leña es considerada como la principal causa de contaminación atmosférica.

La calidad de la leña es uno de los factores que incide en los altos índices de contaminación, dado que una parte importante se comercializa y consume leña con altos porcentajes de humedad.

El PDA Valdivia, ha establecido medidas que propicien el comercio y uso de leña seca, mediante la elaboración de una Ordenanza Municipal, que permita regular y fiscalizar el comercio y la calidad de la leña en la zona saturada. Esta medida se encuentra en desarrollo, no encontrándose a la fecha de la presente evaluación, la ordenanza promulgada. Por otra parte, se establece en el mismo PDA, que la SEREMI del Medio Ambiente, en coordinación con la Secretaría PDA Regional del Consejo de Producción Limpia (CPL), o quien los reemplace, propiciará que los comerciantes de leña de la Región de Los Ríos suscriban un Acuerdo de Producción Limpia (APL), que contemple entre sus objetivos el mejoramiento de las condiciones de comercialización de la leña y derivados de la madera en la zona saturada. Sin embargo, esta medida tampoco ha podido ser ejecutada debido a la alta informalidad del rubro del comercio de la leña y la falta de agrupaciones gremiales necesarias para ejecutar este acuerdo.

Respecto a los antecedentes de calidad de la leña en la comuna de Valdivia, la presente actualización del inventario de emisiones consideró la medición de humedad mediante una campaña de monitoreo a una fracción, en torno al 10% de las encuestas aplicadas. De esta manera se determinó la calidad de leña al año 2021, en términos de distribución de humedad. Luego, la estimación de emisiones para evaluar la medida de mejoramiento de la calidad de la leña se realiza aplicando la misma metodología de cálculo que para la estimación de emisiones para el año base 2021, comparadas con las emisiones estimadas si se conservan los porcentajes de humedad de leña utilizados para el inventario del año base 2013, que es el dato más comparable disponible para el área de estudio.

Según los resultados de la campaña de monitoreo, se determina la calidad de la leña el año 2021, que se presenta en la Tabla 161. Los resultados muestran una mejora en la calidad de la leña, respecto a los datos empleados para la actualización del inventario de emisiones año base 2013.

Tabla 163. Distribución del contenido de humedad de la leña usada en Valdivia

VARIABLE	Leña seca	Leña semi húmeda	Leña húmeda
Distribución inv. 2013	22%	38%	40%
Distribución inv. 2020	56%	18%	26%

Fuente: elaboración propia.

NOTA: Respecto de este alcance, corresponde resaltar y elevar a nivel de análisis crítico los datos de humedad de leña obtenidos, por cuanto estos son obtenidos de un muestreo acotado y puntual (una submuestra, no superior al 10% de la muestra utilizada para caracterizar otros aspectos del parque de calefactores y uso de leña), por lo que solo podrían representar una aproximación preliminar de una fracción de viviendas para una época específica. Se destaca que no existen otros antecedentes que permitan un mayor o mejor seguimiento de esta línea estructural del PDA, donde se realice una caracterización periódica y/o sistemática que permita identificar la evolución respecto de la calidad de leña utilizada en las viviendas de la ciudad de Valdivia. Esto último es determinante, dada la relevancia de esta variable en la generación de emisiones a partir de la combustión residencial de leña.

9.2.4 ALCANCES DE LA MEDIDA "OPERACIÓN DE LOS ARTEFACTOS A LEÑA"

Corresponde a una medida que busca abandonar las malas prácticas en la operación de los artefactos de combustión de leña, que derivan en altas tasas de emisión. En términos sencillos, se asocia a la práctica de ahogar la cámara de combustión, para prolongar la duración de la carga de leña (cierre de tiraje).

Este alcance es muy relevante, dado que el factor de emisión asociado al tipo de artefacto puede verse aumentado hasta 7 veces en un calefactor de cámara simple al pasar de tiraje abierto a cerrado y aumenta hasta 6 veces en un calefactor con templador. Por lo tanto, se considera que este es uno de los factores más determinantes en la estimación de emisiones y que puede ser transmitido a la población como parte de los contenidos de campañas de educación en torno al correcto uso de los calefactores.

En el caso de las medidas de educación y difusión se entiende que éstas podrán también afectar los niveles de actividad de la fuente de combustión residencial de leña, así como también pueden incidir en el factor de emisión para el contaminante, al modificar por ejemplo la operación del calefactor a leña, empleando tiraje medio-abierto en vez de tiraje cerrado.

La metodología de cálculo para la determinación del impacto de este alcance considera fijar el valor de buena y mala operación, para cuantificar las emisiones y compararlas con el inventario actual que presenta los valores en operación indicados en la Tabla 164.

Tabla 164. Tipo de operación de los artefactos a leña usada en Valdivia

VARIABLE	Buena operación	Mala operación
Distribución Inv. 2013	40%	60%
Distribución inv. 2020	42%	58%

Fuente: elaboración propia.

9.3 DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS

Se determinó el impacto en emisiones, a partir de la implementación de las medidas más relevantes. Para esto se emplea como base de comparación el inventario de emisiones actualizado al año 2021, que contiene las emisiones con las medidas del PDA implementadas, y se contrasta con inventarios de emisiones estimados en función de la implementación de las medidas.

Para poder dimensionar el impacto de las medidas implementadas a través del PDA Valdivia, se debe saber cuál habría sido la dinámica en ausencia de éste, lo que corresponde al escenario Línea Base sin PDA, en un escenario que muestra el comportamiento que hubiesen tenido los distintos elementos que caracterizan al sector residencial, en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión al año 2021, sin la ejecución de medidas. Se debe tener presente que el escenario línea base corresponde a una proyección hipotética ya que la realidad es que durante los últimos 5 años sí hubo PDA.

En primer lugar, se definieron las condiciones que configuran el escenario base sin PDA, para el uso de artefactos de combustión residencial de leña. Se proyectó aspectos referidos al stock de artefactos de combustión residencial de leña en uso, el consumo anual de leña y la distribución de calidad. Para proyectar la dinámica del escenario sin PDA año 2021 se debe proyectar sobre la base del año 2017 como escenario base sin PDA, para lo que se emplearon las consideraciones planteadas en la Tabla 164.

Tabla 165. Principales consideraciones para el caso base sin PDA – Combustión Residencial de Leña

Variables	Valores												
<p><u>Penetración del uso de biomasa</u></p> <p>Se parte de una base con una penetración del uso de pellet baja y se proyecta un leve aumento producto de renovación tecnológica natural, no influenciada por restricciones ni medidas PDA de ningún tipo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Penetración uso leña y pellet</th> <th>Leña</th> <th>Pellet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caso base 2017 Sin PDA</td> <td>89,8%</td> <td>2,95%</td> </tr> <tr> <td>Caso base 2021 Sin PDA</td> <td>89,8%</td> <td>3,44%</td> </tr> </tbody> </table>	Penetración uso leña y pellet	Leña	Pellet	Caso base 2017 Sin PDA	89,8%	2,95%	Caso base 2021 Sin PDA	89,8%	3,44%			
Penetración uso leña y pellet	Leña	Pellet											
Caso base 2017 Sin PDA	89,8%	2,95%											
Caso base 2021 Sin PDA	89,8%	3,44%											
<p><u>Operación de los equipos</u></p> <p>Esta variable plantea el supuesto de que la operación de los equipos a leña no mejora a través del tiempo, manteniéndose en las condiciones del caso base.</p>	<p>La operación se mantiene sin cambio respecto al caso base.</p>												
<p><u>Humedad de la leña</u></p> <p>Esta variable plantea el supuesto de que la calidad de la leña no se modifica respecto al caso base a través de los años, por cuanto no se reconoce en ella las implicancias negativas que tiene su uso ineficiente, en ausencia del PDA.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Humedad leña</th> <th>Seca</th> <th>Semi</th> <th>Húm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caso base 2017 Sin PDA</td> <td>22%</td> <td>38%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>Caso base 2021 Sin PDA</td> <td>22%</td> <td>38%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Humedad leña	Seca	Semi	Húm.	Caso base 2017 Sin PDA	22%	38%	40%	Caso base 2021 Sin PDA	22%	38%	40%
Humedad leña	Seca	Semi	Húm.										
Caso base 2017 Sin PDA	22%	38%	40%										
Caso base 2021 Sin PDA	22%	38%	40%										

Fuente: elaboración propia.

Con las consideraciones antes mencionadas y proyecciones del parque de artefactos se estima un escenario de emisiones proyectado al año 2021 sin PDA que se presenta a continuación, en la Tabla 163, con emisiones de MP2,5 estimadas en 3.280 ton/año. Comparando con el actual inventario de emisiones se aprecia una reducción en torno a las 1.120 ton/año.

Tabla 166. Principales consideraciones para el caso base sin PDA – Combustión Residencial de Leña

Tipo de Artefacto	Emisiones (ton/año) según artefacto					
	MP10	MP2,5	CO	NOX	SOX	COVs
Calefactor Leña Certif.	560,6	521,9	10.352,8	200,3	2,2	8.425,9
Calefactor Leña C/T	1.213,4	1.129,7	16.030,8	202,7	2,2	8.482,3
Calefactor Leña S/T	427,4	397,9	5.759,6	118,5	1,7	2.030,9
Cocina a Leña	1.221,6	1.137,3	36.780,7	112,9	8,8	31.406,0
Salamandra	43,0	40,0	458,8	7,7	0,3	289,8
Chimenea y otros	51,8	48,2	494,2	2,7	0,4	448,0
Calefactor a Pellet	5,0	4,6	26,2	4,9	0,2	69,4
TOTAL	3.522,8	3.279,7	69.983,2	649,6	15,8	51.152,4

Fuente: elaboración propia.

Luego, para la estimación de la reducción de emisiones de MP2.5 que efectivamente se han generado producto de la implementación de las principales medidas se tiene que, a la tasa de implementación actual del Subsidio de Mejoramiento Térmico, el aporte cuantificado sería de una reducción de 13 ton/año. La ejecución del Programa de Recambio de Calefactores ha generado un aporte en la reducción de 217 ton/año. El mejoramiento de la calidad de la leña, sobre un escenario base también tiene un importante aporte cuantificado en 276 ton/año.

Tabla 167. Reducción de emisiones medidas estructurales PDA

Escenario	Emisiones MP2,5 (ton/año)	
Escenario Línea Base sin PDA (2021)	3.280	
Escenario Base PDA (2021)	2.402	
% reducción	27%	
Medida implementada	Reducción de la medida (Ton/año)	Implementación
Emisiones MP2,5 - MT	13	Avance en el 12% de la meta de implementación. Supone una reducción del consumo de leña para las viviendas beneficiarias de aprox. un 20%.
Emisiones MP2,5 - ML	276	Supone una mejora en la calidad de la leña desde el 22% al 56% de uso de leña seca.
Emisiones MP2,5 - PRC	217	Considera el retiro de 3.617 calefactores a leña en sus distintas categorías y su reemplazo por 3.220 calefactores a pellet y otros 397 artefactos "cero emisiones"

CRL: Combustión Residencial de Leña

Para la tabla anterior es necesario precisar los siguientes alcances:

- Las emisiones del ESCENARIO LÍNEA BASE, corresponden a las emisiones proyectadas en ausencia de PDA Valdivia.
- Las emisiones del ESCENARIO BASE PDA, corresponden a las emisiones estimadas para el escenario real, con el avance de las medidas implementadas a la fecha para el sector residencial.
- Cada una de las medidas se evalúa a partir del escenario PDA. En efecto, para el cálculo se deja constante todas las variables usadas para evaluar el escenario PDA y se modifica únicamente los alcances de la medida en evaluación, así, la diferencia observada corresponde al aporte o impacto directo de la medida.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] CENSO Nacional de Población y Vivienda, INE 2017.
- [2] D.S. N° 17/2014, declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diaria y anual, y por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración diaria, a la comuna de Valdivia, Ministerio del Medio Ambiente, 2014.
- [3] RES. EX. N° 678/2014, da inicio a proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Valdivia, Ministerio del Medio Ambiente, 2014.
- [4] D.S. N°25/2016 del MMA, que establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Comuna de Valdivia, 2017.
- [5] RES. EX. N° 651/2014, da inicio a proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Valdivia, Ministerio del Medio Ambiente, 2014.
- [6] Diagnóstico Global, Análisis Territorial y Caracterización Comunal, Ilustre Municipalidad de Valdivia, año 2020.
- [7] Inventario de emisiones atmosféricas para la comuna de Valdivia, año base 2013. SICAM Ingeniería, año 2014.
- [8] Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos, desde la Región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta la Región de Los Lagos, desarrollado por SISTAM Ingeniería para la Subsecretaría del Medio Ambiente, el año 2019.
- [9] AP-42: *Compilation of Air Emissions Factors*, EPA1995 y actualizaciones.
- [10] D.S. N°4. 1992. MINSAL Establece Norma De Emisión De Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.
- [11] D.S. N°1583,1992. MINSAL. Establece Norma De Emisión De Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales que Indica.
- [12] *The global atmospheric pollution forum air pollutant emission inventory manual, revisión 2019*. Vallak, University of York, UK.
- [13] Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire, desarrollado por BS Consultores, para el Servicio de Evaluación Ambiental, año 2015.
- [14] Manual para Desarrollo de Inventarios, desarrollado por GreenLabUC, para la Subsecretaría del Medio Ambiente, año 2016
- [15] Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales, desarrollada por el Ministerio del Medio Ambiente en el marco del RETC, el año 2019.
- [16] EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2019 – "Technical guidance to prepare national emission inventories"*. European Environment Agency.
- [17] Resultado de ensayos en calefactores a leña y recomendaciones para establecer límites de emisión en Chile. Reporte para CONAMA y COSUDE. Nussbaumer-VERENUM, 2006.
- [18] Volume III, Chapter 2: Residential Wood Combustion, EIIP 2001.
- [19] Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera" realizado por la CDT para el Ministerio de Energía, año 2015.
- [20] Estudio sobre el consumo residencial de leña en la ciudad de Valdivia: Una mirada desde los derechos y deberes de los consumidores. Año 2020. ACOVAL y SNCL.

- [21] Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2013, SICAM Ingeniería 2014.
- [22] Actualización de inventario de emisiones atmosféricas de Concepción Metropolitano. SICAM Ingeniería 2015.
- [23] Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle Central de la Región de O'Higgins. SICAM Ingeniería 2015.
- [24] Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017, SICAM Ingeniería 2018.
- [25] Actualización del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2020, SICAM Ingeniería 2021.
- [26] Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero con año base 2013, solicitado por el Ministerio del Medio Ambiente el año 2017
- [27] Addressing Black Carbon Emission Inventories, Scientific Advisory Panel, 2018.
- [28] "Manual de Inventario de Emisiones de México", 1997.
- [29] EPA420-P-04-009, April 2004, NR-009c, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling--Compression-Ignition, 2004.
- [30] Estrategia de Transición Energética Residencial, Ministerio de Energía, 2020
- [31] North American Black Carbon Emissions Estimation Guidelines: Recommended Methods for Estimating Black Carbon Emissions. Commission for Environmental Cooperation 2015.
- [32] "Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Technical Report Series" EPA.
- [33] CARB California Environmental Protection Agency, Fuel oil combustion, 1998.
- [34] Estadísticas de combustibles, SEC, anuario 2021.
- [35] Características Demográficas De la Población Canina y Recuento de la Población Felina, en la Ciudad de Valdivia, Chile. Universidad Austral, año 2007.
- [36] AP42-Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol I: Stationary Point And Area Sources
- [37] Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - Coating Applications, EMEP/EEA, 2016.
- [38] Air Pollution Emission Inventory GuideBook - Asphalt Roofing, EMEP/EEA, 2016.
- [39] Análisis de la Calidad del Aire para MP10 en Tocopilla, DICTUC, 2006.
- [40] CARB (California Air Resource Board). Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology, 2005.
- [41] CARB California Environmental Protection Agency, Carb, sección 7.14 Structure and Automobile Fires, 2005.
- [42] Cigarette/Tobacco Smoking, CARB. 1999.
- [43] Encuesta de incidencia consumo de cigarrillos y comercio ilícito, Chile. MIDE, CENTRO UC, 2019.
- [44] Décimo Tercer Estudio Nacional de Drogas en Población General de Chile, SENDA, 2018.
- [45] AP-42 Sec. 2.4 - Municipal Solid Waste Landfills, EPA, 2008.
- [46] Emission estimation technique for Manual for Sewage and Treatment Plants, NPI, 1999.
- [47] EPA420-P-04-009, Abril 2004, NR-009c, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling--Compression-Ignition, 2004.
- [48] Plan de Obras 2020-2021, Programa de Pavimentación Participativa, MINVU

11 ANEXOS DIGITALES

ANEXO 1. Información fuentes relevantes

ANEXO 2. Fuentes Puntuales Valdivia 2021

ANEXO 3. Georreferenciación Fuentes Puntuales Valdivia 2021

ANEXO 4. Recopilación y selección de factores de emisión para su aplicación representativa en inventarios de emisión de la fuente combustión residencial de leña.

ANEXO 5. Formato Instrumento para aplicación de encuesta

ANEXO 6. Informe de Resultados Encuesta de Caracterización de Calefacción Residencial en Valdivia año base 2021.

ANEXO 7. Mediciones de Humedad en viviendas de Valdivia.

ANEXO 8. Base de datos aplicación de encuesta de caracterización de calefacción residencial.

ANEXO 9. Base de datos estimación de emisiones de fuentes de área

ANEXO 10. Base de datos estimación de emisiones de fuentes móviles

ANEXO 11. Base de datos estimación de emisiones – Fracción gruesa