



"ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS PARA LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS, AÑO BASE 2017"

INFORME FINAL

Informe elaborado para:
SEREMI del Medio Ambiente
Región de La Araucanía
Gobierno de Chile
Temuco, diciembre de 2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	ALCANCES DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	14
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3	ÁREA DE ESTUDIO.....	15
1.4	UNIDAD TERRITORIAL.....	17
1.5	AÑO BASE Y RESOLUCIÓN TEMPORAL.....	17
1.6	CONTAMINANTES.....	17
1.7	TIPOS Y CATEGORÍAS DE FUENTES.....	17
1.8	INVENTARIOS DE EMISIÓN ANTERIORES.....	18
2	FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS	20
2.1	METODOLOGÍAS INTERNACIONALES.....	23
2.2	METODOLOGÍAS NACIONALES.....	25
2.3	METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIOS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS AÑO BASE 2017.....	27
2.3.1	REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	28
2.3.2	ALCANCES METODOLÓGICOS GENERALES.....	29
2.3.3	CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES CON INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES	29
2.3.4	CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES SIN INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES	30
2.3.4.1	IDENTIFICACIÓN E INCORPORACIÓN DE FUENTES NUEVAS.....	30
2.3.5	METODOLOGÍA DE CAMPO.....	31
2.3.6	METODOLOGÍA POR FUENTE EMISORA.....	32
2.3.6.1	Fuentes de Combustión.....	32
2.3.6.2	Fuentes de Procesos con Combustión y sin Combustión.....	33
2.4	FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS AÑO BASE 2017.....	33
2.5	ACTUALIZACIÓN DE NIVELES DE ACTIVIDAD.....	36
2.5.1	CATASTRO DE FUENTES PUNTUALES.....	36
2.5.2	CALDERAS INDUSTRIALES.....	37
2.5.3	CALDERAS DE CALEFACCIÓN.....	38
2.5.4	CATASTRO DE CALDERAS DE CALEFACCIÓN DOMICILIARIA.....	41

2.5.5	CATASTRO DE EQUIPOS ELECTROGENOS.....	42
2.6	ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	42
3	FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA.....	52
3.1	ANTECEDENTES GENERALES COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA.....	52
3.1.1	ALCANCES METODOLÓGICOS	54
3.1.2	FACTORES DE EMISIÓN.....	55
3.2	ACTUALIZACIÓN DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD.....	58
3.2.1	Desarrollo de un Diseño de Muestreo para aplicación de la encuesta	59
3.2.2	Aplicación de la "Encuesta de caracterización residencial al uso de leña y sus artefactos de combustión"	60
3.2.3	Resultados de la "Encuesta de caracterización residencial al uso de leña y sus artefactos de combustión"	63
3.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	66
3.3.1	Consideraciones y ajustes para la estimación de emisiones	66
3.3.2	Niveles de Actividad	67
3.3.3	Cálculo de Emisiones.....	70
4	FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS	79
4.1	ANTECEDENTES GENERALES FUENTES DE ÁREA COMERCIAL, QUEMAS Y OTRAS	79
4.2	FUENTES RESIDENCIALES	80
4.2.1	FUENTES DE COMBUSTIÓN EXTERNA	80
4.2.1.1	Gas Licuado (GLP), Gas Natural y Kerosene	81
4.2.2	FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES.....	83
4.2.2.1	Solventes de Uso Doméstico	83
4.2.2.2	Pintura Arquitectónica	85
4.2.2.3	Emisiones Residenciales de Amoníaco (NH ₃)	86
4.2.2.4	Fugas Residenciales de GLP.....	89
4.3	FUENTES COMERCIALES	90
4.3.1	FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	90
4.3.1.1	Distribución de Combustible.....	90
4.3.1.2	Lavasecos	94
4.3.1.3	Pintura Industrial (Vehículos)	95
4.3.1.4	Aplicación de Asfalto.....	97

4.3.1.5	Fugas Comerciales de GLP	98
4.3.2	RESTAURANTES Y COMIDA RÁPIDA	99
4.3.2.1	Parrillas y Asadurías	99
4.4	QUEMAS	102
4.4.1	QUEMAS AGRÍCOLAS	104
4.4.2	INCENDIOS FORESTALES	108
4.4.3	INCENDIOS URBANOS Y VEHÍCULOS	113
4.4.4	CONSUMO DE CIGARRILLOS	115
4.5	OTRAS FUENTES DE ÁREA	116
4.5.1	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	116
4.5.1.1	Vertederos	116
4.5.1.2	Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	118
4.5.2	ACTIVIDADES AGROPECUARIAS	120
4.5.2.1	Aplicación de Fertilizantes	120
4.5.2.2	Labranza Agrícola	122
4.5.2.3	Crianza Animal	124
4.5.3	FUENTES BIOGÉNICAS	127
4.6	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES FUENTES DE ÁREA AÑO BASE 2017	128
5	FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA	132
5.1	FUENTES MÓVILES EN RUTA	132
5.1.1	DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE EMISIONES	133
5.1.2	CLASIFICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS VEHICULARES	134
5.1.3	CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR	135
5.1.4	ESTIMACIÓN DE EMISIONES FUENTES MÓVILES EN RUTA	136
5.1.5	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORAL DE LAS EMISIONES	138
5.2	FUENTES MÓVILES FUERA DE RUTA	140
5.2.1	MAQUINARIA AGRÍCOLA	141
5.2.2	MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN	144
5.3	RESUMEN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES AÑO BASE 2017	148
6	FUENTES FUGITIVAS	152
6.1	ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN	152
6.2	POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO DE VEHICULOS	154

6.3	RESUMEN FUENTES FUGITIVAS	156
7	ESTIMACIÓN DE EMISIONES SEGÚN MEDIDAS PDA	158
7.1	ASPECTOS METODOLÓGICOS CONSIDERADOS PARA LA EVALUACIÓN DE MEDIDAS....	159
7.1.1	ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS":	159
7.1.2	ALCANCES DE LA MEDIDA "RECAMBIO DE CALEFACTORES A LEÑA":	163
7.1.3	ALCANCES DE LA MEDIDA "MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA LEÑA":	165
7.2	ESTIMACIÓN DE EMISIONES REDUCIDAS SEGÚN MEDIDAS DEL PDA	166
8	RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2017	168
8.1	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES	173
9	PROYECCIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN FUENTES DE EMISIÓN.....	177
9.1	FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS	177
9.2	PROYECCIÓN INVENTARIO: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA	179
9.3	FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS	180
9.4	FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA	184
9.5	FUENTES FUGITIVAS.....	189
9.6	RESUMEN INVENTARIO PROYECTADO	190
10	CONCLUSIONES	193
11	BIBLIOGRAFÍA	199
12	ANEXOS.....	201
12.1	ANEXO 1: Recopilación y selección de factores de emisión para su aplicación representativa en inventarios de emisión de la fuente combustión residencial de leña (DIGITAL)	201
12.2	ANEXO 2: Diseño del Instrumento para Aplicación de Encuesta.....	202
12.3	ANEXO 3: Factores de Emisión Asociados a las Fuentes Móviles En Ruta.....	205
12.4	ANEXO 4: Factores de Emisión Según Potencia y Tecnología para las Fuentes Móviles Fuera de Ruta.....	217
12.5	ANEXO 5: Factores de Ajuste Transciente – Fuentes Móviles	220
12.6	ANEXO 6: Factores de Deterioro – Fuentes Móviles.....	222
12.7	ANEXO 7: Informe de Resultados Encuesta de Caracterización Residencial en Relación al Uso de Leña y sus Artefactos de Combustión.	222

ÍNDICE DE TABLAS

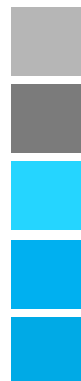
Tabla 1. Información censal del área de estudio	15
Tabla 2. N° de fuentes puntuales estimadas por estudio y nivel de emisiones	21
Tabla 3. Niveles de emisión de MP aplicables a fuentes puntuales.....	22
Tabla 4. Límites de Emisión de SO ₂ Aplicables en PDA.....	22
Tabla 5. Priorización de Opciones de Estimación de Emisiones.....	24
Tabla 6. Categorías de Fuentes Incorporadas en Distintos Inventario de Temuco y PLC	26
Tabla 7. Jerarquía metodológica utilizada en inventario F. Puntuales	29
Tabla 8. Categorías de Fuentes Incorporadas en Inventario de Temuco y PLC	31
Tabla 9. Información de base de fuentes puntuales	32
Tabla 10. Factores de Emisión para Calderas Industriales	34
Tabla 11. Factores de Emisión para Calderas de Calefacción	34
Tabla 12. Factores de Emisión para Grupos Electrógenos.....	34
Tabla 13. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados.....	35
Tabla 14. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras	36
Tabla 15. Comparativo catastro de fuentes puntuales.....	37
Tabla 16. Número de Calderas de Industriales por Industria	37
Tabla 17. Niveles de Actividad por Empresa	38
Tabla 18. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente	38
Tabla 19. Número de calderas de calefacción por sector	39
Tabla 20. Número de calderas de calefacción por tipo de combustible.....	39
Tabla 21. Niveles de Actividad Calderas a Biomasa Comerciales	39
Tabla 22. Cantidad de calderas de calefacción residencial por tipo de combustible	41
Tabla 23. Cantidad de calderas de calefacción residencial por tipo de combustible	42
Tabla 24. Número de Equipos Electrógenos por Categoría.....	42
Tabla 25 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales	43
Tabla 26 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Padre Las Casas.....	44
Tabla 27 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Temuco y PLC.	46
Tabla 28. F.E. de MP10 para combustión residencial de leña (g MP10/kg neto de leña).	56
Tabla 29. Factores de emisión de MP2,5 ¹ para combustión residencial de leña (g MP2,5/kg neto de leña).	58
Tabla 30. Alcances del diseño muestral.....	60
Tabla 31. N° de encuestas válidas respecto a aquellas aplicadas según diseño muestral.....	63
Tabla 32. Penetración de uso de leña en viviendas de Temuco y PLC (%), y consumo promedio (m ³ /año), en viviendas que declaran utilizar, según distrito censal.	64
Tabla 33. Distribución (%) del stock de artefactos a leña en las comunas de Temuco y PLC.	65
Tabla 34. Manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión.	66
Tabla 35. Cantidad de viviendas tipo casa según distrito censal de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2017.....	67
Tabla 36. Consumo de leña según Distrito Censal en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017.	68
Tabla 37. Stock de artefactos en uso en distritos censales de las comunas de Temuco y PLC.	69
Tabla 38. Densidad de leña (Kg/m ³ estéreo) para leña de especies nativa y exótica, bajo 3 condiciones de humedad.....	69
Tabla 39. Distribución del contenido de humedad de la leña utilizada en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2017.....	70

Tabla 40. Estimación de emisiones de MP10, MP2,5 y gases de combustión (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 2017.	70
Tabla 41. Emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña (Ton/año), según tipología de artefactos en uso en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 2017.	72
Tabla 42. Estimación de emisiones de MP10 (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, según tipo de artefacto, 2017.	73
Tabla 43. Estimación de emisiones de MP2,5 (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, según tipo de artefacto, 2017.	74
Tabla 44. Tasa de emisión de MP10 por vivienda según distrito censal año base 2017	74
Tabla 45. Estimación de Emisiones atmosféricas según calidad de leña utilizada y modo de operación de los artefactos presentes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017 (Ton/año).	77
Tabla 46. Clasificación de las fuentes de Estacionarias de Área	79
Tabla 47. Factores de emisión para GLP y Kerosene	82
Tabla 48. Nivel de actividad para GLP y Kerosene	82
Tabla 49. Estimación de emisiones para GLP y Kerosene	83
Tabla 50. Factores de Emisión para uso de solventes	84
Tabla 51. Nivel de actividad para uso de solventes	84
Tabla 52. Estimación de emisiones provenientes del uso de solventes	84
Tabla 53. Factores de emisión Pintura Arquitectónica	85
Tabla 54. Nivel de actividad Pintura Arquitectónica	86
Tabla 55. Estimación de Emisiones de Pintura Arquitectónica	86
Tabla 56. Factores de emisión para fuentes residenciales de NH ₃	87
Tabla 57. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH ₃ – actividades humanas	87
Tabla 58. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH ₃ – animales domésticos	87
Tabla 59. Estimación de Emisiones para fuentes residenciales de NH ₃	88
Tabla 60. Factores de emisión Fugas de GLP	89
Tabla 61. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP - Residencial	90
Tabla 62. Estimación de emisiones provenientes de fugas de GLP - Residencial	90
Tabla 63. Factor de saturación (S) dependiente del modo de llenado de los estanques de camiones	91
Tabla 64. Variables para estimar emisiones de COVs por llenado en transporte de combustible	91
Tabla 65. Factor de emisión para COV por transporte de combustible	92
Tabla 66. Factores de emisión de COV para el expendio final	92
Tabla 67. Factores de emisión de COV para distribución de combustible	92
Tabla 68. Nivel de actividad para estimación de fugas por distribución de combustible	93
Tabla 69. Estimación de emisiones por distribución de combustible	93
Tabla 70. Factor de Emisión por pérdidas por solvente para lavasecos	94
Tabla 71. Nivel de actividad para estimación emisiones provenientes de Lavasecos	95
Tabla 72. Estimación de emisiones provenientes de Lavasecos	95
Tabla 73. Factor de Emisión para Pintado Industrial de Vehículos	96
Tabla 74. Nivel de actividad para Pintado Industrial de Vehículos	96
Tabla 75. Estimación de Emisiones para Pintado Industrial de Vehículos	96
Tabla 76. Factor de emisión por aplicación de asfalto	97
Tabla 77. Nivel de actividad para aplicación de asfalto	98
Tabla 78. Estimación de Emisiones para aplicación de asfalto	98
Tabla 79. Factor de Emisión por Fugas Comerciales de GLP	99
Tabla 80. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP -Comercial	99

Tabla 81. Estimación de emisiones de fugas de GLP -Comercial.....	99
Tabla 82. Factores de emisión para restaurantes (parrillas) según tipo de carne	100
Tabla 83. Factores de emisión para restaurantes (parrillas) (Ton/ton).....	101
Tabla 84. Nivel de actividad para parrillas y asadurías - Temuco	101
Tabla 85. Nivel de actividad para asadurías – Padre Las Casas.....	101
Tabla 86. Estimación de emisiones de Parrillas y Asadurías.....	102
Tabla 87. Factores de emisión para quemas agrícolas por tipo de cultivo (lb/Ton).....	105
Tabla 88. Superficie afectada por quemas agrícolas quinquenio 2013-2018 Temuco.....	106
Tabla 89. Superficie afectada por quemas agrícolas quinquenio 2013-2018 P. Las Casas.....	106
Tabla 90. Estimación de emisiones de Quemas Agrícolas Temuco.....	108
Tabla 91. Estimación de emisiones de Quemas Agrícolas Padre Las Casas.....	108
Tabla 92. Factores de emisión para incendios forestales por tipo de cultivo (lb/Ton).....	110
Tabla 93. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2013-2018 Temuco.....	110
Tabla 94. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2013-2018 PLC	111
Tabla 95. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Temuco	112
Tabla 96. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Padre Las Casas	112
Tabla 97. Factores de emisión para incendios de Viviendas.....	113
Tabla 98. Factores de emisión para incendios de vehículos	113
Tabla 99. Nivel de actividad incendios urbanos.....	114
Tabla 100. Estimación de Emisiones incendios urbanos según comuna	114
Tabla 101. Estimación de Emisiones incendios de vehículos según comuna.....	114
Tabla 102. Factores de emisión para consumo de cigarrillos.....	115
Tabla 103. Nivel de Actividad para emisiones provenientes del consumo de cigarrillos.....	116
Tabla 104. Estimación de Emisiones por consumo de Cigarrillos según comuna año 2017	116
Tabla 105. Tabla de valores para k.	117
Tabla 106. Factores de Emisión para operaciones en Vertedero	117
Tabla 107. Estimación de emisiones LANDGEM EPA	118
Tabla 108. Estimación de emisiones de otros contaminantes de vertedero	118
Tabla 109. Factores de Emisión para tratamiento de aguas servidas.....	119
Tabla 110. Estimación emisiones de tratamiento de aguas servidas.....	119
Tabla 111. Factores de emisión para aplicación de fertilizantes	120
Tabla 112. Dosis de fertilizante por tipo y rendimiento de cultivo por Comuna.....	121
Tabla 113. Superficie de cereales sembradas Temuco y Padre Las Casas año 2017	121
Tabla 114. Demanda de nitrógeno (kg N/año) Temuco y Padre Las Casas.....	121
Tabla 115. Estimación emisiones de aplicación de fertilizantes	122
Tabla 116. Factores emisión asociados a labranza agrícola	123
Tabla 117. Nivel de actividad asociados a labranza agrícola año 2017	123
Tabla 118. Estimación de emisiones de actividades de labranza agrícola año 2017	124
Tabla 119. Método de obtención del Factor de Emisión Crianza Animal.....	125
Tabla 120. Factores para el cálculo del Factor de Emisión para distintos tipos de animales.....	126
Tabla 121. Factores de emisión por categoría animal	126
Tabla 122. Niveles de actividad crianza animal	127
Tabla 123. Estimación de emisiones de Crianza Animal	127
Tabla 124. Estimación de emisiones fuentes biogénicas para Temuco y Padre Las Casas.....	127
Tabla 125. Resumen emisiones fuentes de área año base 2017 Temuco	128
Tabla 126. Resumen emisiones fuentes de área año base 2017 Padre Las Casas.....	128
Tabla 127. Clasificación de las fuentes móviles en ruta	134
Tabla 128. Caracterización Parque vehicular para Temuco y Padre Las Casas, año 2017	135

Tabla 129. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta Temuco 2017 (Ton/año)	136
Tabla 130. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta Padre Las Casas 2017 (Ton/año)	136
Tabla 131. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta según zona geográfica.....	139
Tabla 132. Cálculo de los factores de emisión ajustados.....	142
Tabla 133. Horas de Uso de maquinaria por Hectárea según Actividad y tipo de cultivo	143
Tabla 134. Superficie (Ha) por tipo de cultivo por Comuna año 2017.....	143
Tabla 135. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2017 comuna de Temuco	143
Tabla 136. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2013 comuna de Padre Las Casas	144
Tabla 137. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola, Temuco	144
Tabla 138. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola, Padre Las Casas	144
Tabla 139. Factores de emisión maquinaria de Construcción.....	145
Tabla 140. Valores utilizados para Factor de Carga y Potencia, según tipo de maquinaria.....	145
Tabla 141. Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo	146
Tabla 142. Superficie de nuevas construcciones (m ²) año 2017 por N° de pisos.....	146
Tabla 143. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Temuco	147
Tabla 144. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Padre Las Casas	147
Tabla 145. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Temuco.....	148
Tabla 146. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Padre Las Casas.....	148
Tabla 147. Resumen de emisiones fuentes móviles Temuco 2017	149
Tabla 148. Resumen de emisiones fuentes móviles Padre Las Casas 2017	149
Tabla 149. Factores emisión asociados a construcción de edificaciones.....	152
Tabla 150. Nivel de actividad asociado a la construcción comuna de Temuco 2017	153
Tabla 151. Nivel de actividad asociado a la construcción comuna de PLC 2017.....	153
Tabla 152. Tiempo estimado duración de obras.	154
Tabla 153. Estimación de emisiones asociadas a actividades de construcción	154
Tabla 154. Estimación de emisiones asociadas a tránsito de vehiculos	156
Tabla 155. Resumen de estimación de emisiones para Fuentes Fugitivas.....	156
Tabla 156. Descripción de los sectores identificados en la clasificación de medidas.....	158
Tabla 157. N° de viviendas intervenidas en Temuco y PLC, mediante subsidio de mejoramiento térmico (2015-2017).....	160
Tabla 158. Reducción del consumo de leña a partir del mejoramiento térmico de viviendas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.....	163
Tabla 159. Tipología de artefactos recambiados en Temuco, mediante PRC (2015-2017).....	164
Tabla 160. Tipología de artefactos recambiados en PLC, mediante PRC (2015-2017).....	164
Tabla 161. Distribución del contenido de humedad de la leña usada en TPLC, año 2017.....	166
Tabla 162. Reducción de emisiones de MP10, asociadas a la implementación de medidas estructurales del PDA de Temuco y PLC, entre los años 2015-2017.....	166
Tabla 163. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Temuco.....	168
Tabla 164. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Padre Las Casas.....	169
Tabla 165. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Temuco y Padre Las Casas.....	170
Tabla 166. Proyección inventario de fuentes puntuales año 2025 para Temuco y Padre Las Casas.....	178
Tabla 167. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017), bajo un escenario pasivo de implementación del PDA.	179
Tabla 168. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017), bajo un escenario ideal de implementación del PDA.....	179
Tabla 169. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017)	180
Tabla 170. Proyección año 2025 inventario de emisiones de fuentes de área Temuco	182

Tabla 171. Proyección año 2025 inventario de emisiones de fuentes de área PLC.....	182
Tabla 172. Parque vehicular Temuco y PLC años 2007-2017 y proyección 2025.....	185
Tabla 173. Proyección cultivos agrícolas año 2025	185
Tabla 174. Estimación de emisiones Fuentes Móviles Temuco 2025	186
Tabla 175. Estimación de emisiones Fuentes Móviles PLC 2025.....	186
Tabla 176. Estimación de emisiones Fuentes Móviles Temuco 2025 – Escenario PDA.....	187
Tabla 177. Estimación de emisiones Fuentes Móviles PLC 2025 – Escenario PDA	188
Tabla 178. Proyección de emisiones año 2025 de polvo resuspendido	190
Tabla 179. Resumen de estimación de emisiones para Fuentes Fugitivas año 2025.....	190
Tabla 180. Resumen del inventario de emisiones año 2025 Temuco y Padre Las Casas – Caso Base (pasivo)	191
Tabla 181. Resumen del inventario de emisiones año 2025 Temuco y Padre Las Casas – Caso PDA (ideal).....	192
Tabla 182. Factores de Emisión para Buses del Transporte Público, Interurbano, Rurales y Particulares.....	205
Tabla 183.. Factores de Emisión para Camiones Livianos, Medianos y Pesados	208
Tabla 184. Factores de Emisión para Vehículos livianos particulares y de alquiler.....	213
Tabla 185. Factores de Emisión para Vehículos livianos Comerciales	214
Tabla 186. Factores de Emisión para Motocicletas	215

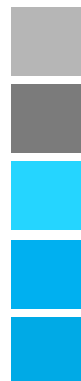


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio del Inventario de Emisiones	16
Figura 2. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias.....	28
Figura 3. Consumo de combustible de calderas de calefacción.....	40
Figura 4. Polígonos de aplicación de encuestas de calderas de calefacción.....	41
Figura 5. Emisiones totales Temuco 2017	43
Figura 6. Emisiones totales por categoría Temuco 2017	44
Figura 7. Emisiones totales Padre Las Casas año base 2017.....	45
Figura 8. Emisiones totales por categoría Padre las Casas 2017	45
Figura 9. Emisiones totales Temuco y PLC 2017	47
Figura 10. Emisiones totales por categoría Temuco y PLC 2017.....	47
Figura 11. Distribución emisiones MP10 por tipología Temuco y PLC 2017	48
Figura 12. Distribución emisiones MP2,5 por tipología Temuco y PLC 2017	48
Figura 13. Distribución emisiones SOx por tipología Temuco y PLC 2017	48
Figura 14. Comparación Inventarios (2000-2017) Temuco y PLC	49
Figura 15. Comparación Inventarios (2000-2017) Combustión Temuco y PLC.....	49
Figura 16. Comparación Inventarios (2000-2017) procesos Temuco y PLC.....	50
Figura 17. Carpeta con materiales de terreno para aplicación de encuestas.....	63
Figura 18. Distribución de emisiones de combustión residencial de leña por distrito	71
Figura 19. Aporte porcentual de cada tipo de artefacto para los distintos contaminantes.....	72
Figura 20. Tasa de emisión de MP10 por vivienda según distrito	76
Figura 21. Emisiones de NH ₃ de fuentes residenciales según comuna	88
Figura 22. Ubicación de la quemas agrícolas e incendios forestales en las comunas de Temuco y PLC, año 2017	103
Figura 23. Quemas agrícolas en Temuco y Padre Las Casas Quinquenio 2013-2018	107
Figura 24. Perfil temporal de quemas agrícolas en Temuco y Padre Las Casas	107
Figura 25. Perfil temporal de incendios forestales en Temuco y Padre Las Casas	111
Figura 26. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Temuco	129
Figura 27. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Padre Las Casas	130
Figura 28. Metodología de cálculo MODEM	132
Figura 29. Aporte porcentual de contaminantes según fuente móvil Temuco	137
Figura 30. Aporte porcentual de contaminantes según fuente móvil Padre Las Casas	138
Figura 31. Distribución de emisiones de fuentes móviles según zona geográfica	139
Figura 32. Perfil horario de las emisiones de MP10 provenientes de fuentes móviles	140
Figura 33. Emisiones de MP fuentes móviles en ruta y fuera de ruta	150
Figura 34. Distribución del inventario de emisiones de MP10 en Temuco y Padre Las Casas año base 2017	171
Figura 35. Distribución del inventario de emisiones de MP2,5 en Temuco y Padre Las Casas año base 2017	171
Figura 36. Distribución del inventario de emisiones en Temuco y Padre Las Casas año base 2017	172
Figura 37. Comparación Inventario de emisiones MP10 en Temuco y Padre Las Casas años 2013 – 2017	173
Figura 38. Distribución temporal anual del inventario de emisiones año base 2017, Temuco y Padre Las Casas.....	174
Figura 39. Distribución del inventario de emisiones según temporada Temuco y Padre Las Casas, año base 2017	175
Figura 40. Proyección PIB Araucanía	177

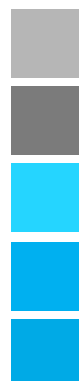


Figura 41. Comparación emisiones de MP escenario 2017 – 2025.....	183
Figura 42. Comparación emisiones de Gases escenario 2017 – 2025.....	184
Figura 43. Crecimiento del parque vehicular Temuco y PLC 2007-2017.....	184
Figura 44. Data histórica de edificaciones Temuco y PLC 1995-2017.....	186
Figura 45. Reducción de emisiones de MP por aplicación de medidas PDA año 2025.....	188
Figura 46. Reducción de emisiones de NOx por aplicación de medidas PDA año 2025.....	189



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 las comunas de Temuco y Padre Las Casas, correspondiente al año base 2017.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la actualización del inventario de emisiones atmosféricas para al menos los contaminantes MP10, MP2,5, CO, NO_x, SO₂, COVS, considerando una base temporal correspondiente al año 2017. El estudio debe ser coherente con los últimos inventarios desarrollados en el país y la región de la Araucanía 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, MP_{2,5}, CO, NO_x, SO₂ y COV_s utilizadas en los últimos inventarios de emisiones atmosféricos a nivel internacional, nacional y regional.
- 2) Contar con una recopilación de los niveles de actividad disponibles para el año 2017 y actualización del inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, que incluya al menos las siguientes fuentes:
 - Fuentes estacionarias puntuales: Fuentes de combustión y procesos en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.
 - Fuentes estacionarias de área: Fuentes de combustión residencial de leña, fuentes areales de tipo comercial, quemas agrícolas, incendios forestales y fuentes biogénicas, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.
 - Fuentes móviles en ruta y fuera de ruta: Incluyendo transporte público y privado, maquinaria agrícola, de construcción e industrial, aeropuerto, etc., en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.
 - 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., en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

- 3) Proponer metodología que permita mejorar la estimación de emisiones generadas por el uso de leña en la calefacción domiciliaria, considerando medidas aplicadas en marco del PDA.
- 4) Realizar una proyección del inventario de emisiones a partir del inventario 2017, en un horizonte a ser discutido con la contraparte técnica del estudio y considerando escenarios conservador y optimista con las medidas consideradas en el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP_{2,5}.

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio para la elaboración del inventario de emisiones corresponde a las comunas de Temuco y Padre Las Casas, de la Región de la Araucanía, tal como se observa en la Figura 1.

La comuna de Temuco es la capital regional, por lo que concentra la mayor población a nivel comunal, alcanzando los 282.415 habitantes, representando el 29,5% de la población regional. Mientras que la comuna de Padre Las Casas posee 76.126 habitantes, concentrando un 8% de la población de la Araucanía, según cifras del CENSO 2017 [1], tal como se presenta en la Tabla 1.

Respecto a la distribución de la población según zona, la comuna de Temuco concentra un alto porcentaje en la zona urbana, alcanzando un 93,2%, mientras que en la comuna de Padre Las Casas esta distribución es menor, albergando solo un 59,7% en el área urbana.

Tabla 1. Información censal del área de estudio

Variable	Temuco	Padre Las Casas
N° de habitantes	282.415	76.126
% población comuna/región	29,5%	8,0%
N° de Viviendas	104.757	26.184
% Población Urbana	93,2%	59,7%
% Población Rural	6,8%	40,3%

Fuente: Elaboración propia en base a información del CENSO 2017 [1]

En relación a la calidad del aire, ambas comunas se encuentran declaradas como zona saturada por material particulado fino respirable MP_{2,5} como concentración diaria, mediante D.S. N° 02/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, dando lugar a la

promulgación del D.S. N° 8/2015 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2,5 para las Comunas de Temuco y Padre Las Casas y de Actualización del Plan de Descontaminación por MP10 para ambas comunas [2].

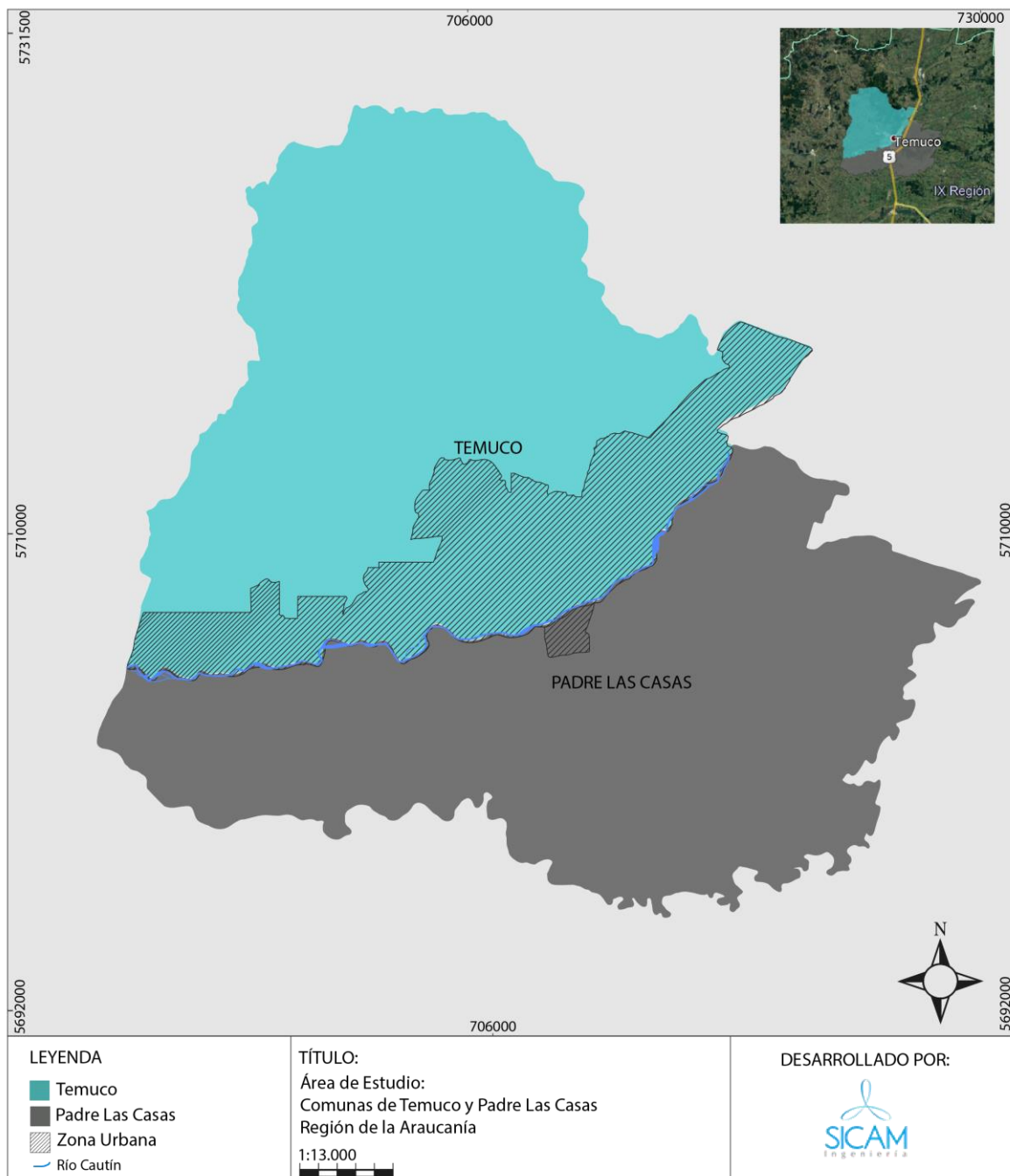


Figura 1. Área de estudio del Inventario de Emisiones

Fuente: Elaboración propia

1.4 UNIDAD TERRITORIAL

La cobertura geográfica del inventario de emisiones abarca las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 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, para ambas comunas.

1.5 AÑO BASE Y RESOLUCIÓN TEMPORAL

El PDA de Temuco y Padre Las Casas [2], establece en su Capítulo X. Programas Complementarios, Artículo 80, que el “Ministerio del Medio Ambiente, cada tres años, actualizará un inventario de emisiones de los principales contaminantes atmosféricos de la zona saturada”. Por lo tanto, dado que el año base del último inventario de emisiones para la zona de estudio es 2014, corresponde al presente inventario el año base 2017.

Se calcula además el perfil temporal anual de las emisiones desagregada 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).

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 (MMA, 2011).
- 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.

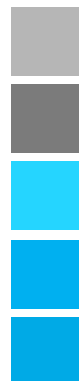
1.8 INVENTARIOS DE EMISIÓN ANTERIORES

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

- Inventario de emisiones Región de la Araucanía, año base 2000. CENMA
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2005. DICTUC.
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2007. UCTemuco.
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2009. CENMA.
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2014. SICAM Ingeniería.

FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES:

COMBUSTIÓN Y PROCESO



2 FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS

El Clean Air Act de la EPA define una fuente puntual como una corriente confinada a una chimenea, ducto, tubería, u otro desde donde compuestos químicos podrían ser emitidos a la atmósfera¹. Por su parte el MMA a través del 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). Es así que una fuente puntual, puede ser individualizada y claramente identificada (NPI v 5.2, 2012), siendo fundamental esta característica para diferenciarla de las fuentes areales (Radian, 1997), facilitando su control y estimación. Las fuentes puntuales se encuentran ampliamente dispersas en las zonas urbanas y sus inmediaciones, variando de manera significativa de acuerdo a su tamaño y nivel de emisión (EPA, 1997). 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 medida 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 (D.S. N°4, 1992). También se definen las fuentes con una emisión mayor a 1 Ton/día como megafuentes (D.S. N°1583,1992)

En Chile existe una gran variedad de fuentes puntuales, siendo de gran relevancia las termoeléctricas, fundiciones y celulosas, entre otras. El caso particular de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, a diferencia de otras zonas del país da cuenta de una diversidad de fuentes limitada y con valores de emisión totales que no superan en las 250 ton/año de MP 10 (SICAM, 2014), no encontrándose "megafuentes", pese a esto es relevante su estimación y actualización fundamentalmente por los aportes locales a la contaminación y por la contribución a las emisiones de contaminantes distintos al MP.

En Temuco y PLC se han desarrollado variados esfuerzos para la estimación de emisiones proveniente de fuentes puntuales, a través de inventarios de emisiones, CENMA 2000, DICTUC 2005, CENMA 2009, SICAM 2014 con ajustes y actualizaciones intermedias en proyectos de modelación SANHUEZA 2004 y UCT 2007 (ver Tabla 2. N° de fuentes puntuales estimadas por estudio y nivel de emisiones Tabla 2), evidenciándose un notorio cambio en el número de fuentes inventariadas con la entrada en vigencia del D.S. 138,2005. Las últimas actualizaciones han traído consigo la evidencia de un incremento importante de fuentes inventariadas, habiendo comenzado con un piso de 108 fuentes, terminando en un total de

¹ <http://www.epa.gov/airquality/community/glossary.html>

809 en la última actualización, lo que no se ha visto traducido en un incremento de las emisiones contaminantes.

Tabla 2. N° de fuentes puntuales estimadas por estudio y nivel de emisiones

Inventario	N° Fuentes	Emisiones MP10 ^b (Ton/año)
CENMA 2000 ^a	108	223,3
SANHUEZA	113	258,5
DICTUC 2005	456	236,3
UCT 2007 ^c	480	230,8
CENMA 2009	651	337,7
SICAM 2014	809	264,7

Fuente: Elaboración propia a partir de estudios de inventario de emisiones (Temuco y PLC)

a Consideró estimaciones de calderas y panaderías en base a un total de combustibles.

b Se consideran las Emisiones de MP10 por ser el tamaño de partícula estimado en todos los estudios

c Considera Únicamente la inclusión de la información declarada mediante D.S 138

Por otra parte, la existencia de normativas tanto nacionales como comunales (planes de descontaminación) han favorecido en crear un volumen de información relevante para este tipo de fuentes, habiendo además una mejora sostenida en la calidad de los registros en contraste con lo que ocurría con los primeros inventarios desarrollados en la zona.

Algunos de los instrumentos nacionales y comunales se detallan a continuación:

Normativas Aplicables

Las normativas a las que se ven expuestas las fuentes puntuales en las comunas de Temuco y PLC, 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 Temuco y PLC.

- 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.

- Plan de Descontaminación Atmosférica por MP 2.5 para las Comunas de Temuco y Padre las Casas, y Actualización del Plan de Descontaminación por MP10, para las Mismas Comunas [2].

El PDA MP2,5 para Temuco y PLC, establece un límite de 50 mg/m³N para la emisión de partículas en calderas de potencias menores a 75 KWt, estableciéndose además una eficiencia mayor igual a 90%, todo lo anterior debe ser acreditado por el fabricante, eximiéndose de tal regulación, las calderas que funcionan con combustibles gaseosos.

Además, se definen rangos de potencia térmica en lugar de una clasificación por caudal, de esta manera los límites de emisión propuestos se clasifican de acuerdo con 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
≥ 75 KWt a < 300 KWt	100	50
≥ 300 KWt a < 1 MWt	50	50
≥ 1 MWt < 20 MWt	50	30
≥ 20 MWt	30	30

Fuente: D.S N°08, 2015 [2]

Las calderas nuevas de potencia térmica nominal mayor o igual a 300 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 por 12 meses, a aquellas calderas de alimentación automática, que usan pellets o chips en forma exclusiva y permanente, y que cuentan con una eficiencia mayor o igual a 90%.

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 Aplicables en PDA

Tamaño (Potencia Térmica)	MP (mg/Nm ³)
≥ 75 KWt a < 20 MWt	400
≥ 20 MWt	200

Fuente: D.S N°08, 2015 [2]

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.

Límite de emisión otras fuentes: Otras fuentes de procesos industriales nuevos y existentes:

- Deberán cumplir con el límite máximo de emisión de MP de 50 mg/Nm³.

2.1 METODOLOGÍAS INTERNACIONALES

La revisión metodológica internacional, consideró las normativas y procedimientos de diversas fuentes de información a nivel internacional, como es el caso de la EPA y TCEQ (Estados Unidos), NPI (Australia), EEA (Unión Europea) y el *Global Atmospheric Pollution Forum* que reporta la realidad de Suecia, Noruega, Brasil y Asia (China, India)

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 y WEbFIRE de la EPA. Si bien la fuente con la que se consigue la información es en varios aspectos estándar para cada agencia, existen protocolos y exigencias propias de cada país.

Australia a través del NPI, promueve la utilización de una plataforma web, que contiene diversas guías para la estimación de emisiones para cada fuente emisora, existiendo límites mínimos para acceder a realizar la declaración². La plataforma es de acceso público y se actualiza regularmente. Gran parte de la información contenida en las guías específicas hacen referencia a los factores de la EPA. Por su parte la Unión Europea a través del EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*, establece los lineamientos básicos para la declaración de emisiones en un sistema online, utilizando un enfoque asociado a niveles de estimación de emisiones, de acuerdo a la siguiente estructura:

Nivel 1: Relación directa entre el nivel de actividad y factor de emisión

Nivel 2: Tienen un enfoque similar al primero, pero utilizando factores de emisión específicos para cada país.

Nivel 3: Utiliza información propia de la planta, o modelos de emisiones específicos para la fuente.

² <http://www.npi.gov.au/reporting>

Por su parte 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	Factores de emisión 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*)

En otros documentos realizados por la EPA, que tienen directa relación con el desarrollo del inventario de emisiones nacional, se establece que los factores de emisión deben ser utilizados siempre y cuando no esté disponible un método de cuantificación de emisiones mejor (*Emissions Inventory Guidance for Ozone [& PM] NAAQS Implementation and Regional Haze Regulations*, Julio 2017 DRAFT), destacando los CEMS y PEMS como las alternativas ideales para la cuantificación de emisiones a nivel de chimenea.

Cabe destacar que la EPA realiza un inventario nacional cada 3 años, donde se consolida la información de emisiones entregada por cada estado bajo el NEI, considerándose además información de los países limítrofes de Estados Unidos, como es el caso de Canadá y México.

Finalmente el *Global Atmospheric pollution Forum* a través del *Air Pollutant Inventory Manual* [3], 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.

2.2 METODOLOGÍAS NACIONALES

Para el desarrollo de la revisión metodológica desde fuentes de información nacional, se revisaron los siguientes documentos:

- Generación de antecedentes técnicos y económicos para la elaboración de una norma de emisión para calderas y procesos industriales con combustión en el sector industrial, comercial y residencial, SISTAM 2014.
- Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales y Grandes Fuentes del Gran Concepción, año base 2008, UDT y PROTERM 2011.
- Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP2,5 de Temuco y Padre Las Casas, GREENLAB UC, 2013
- Actualización del Inventario de Temuco y Padre las Casas, SICAM Ingeniería 2014

Seleccionados de acuerdo a su relevancia para el área de estudio en cuestión, el año de elaboración y el vínculo metodológico con las fuentes a caracterizar.

De manera general, todos los inventarios en cuestión 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. Además, se han incorporado las visitas a las fuentes como parte del proceso de actualización tanto de la información contenida en las declaraciones de emisiones, como en los registros de inventarios anteriores.

Un enfoque metodológico adecuado de acuerdo a los estándares de la EPA, supondría la incorporación de valores medidos en la fuente, ya sea de manera continua o discreta, a través de CEMS, Ensayos isocinéticos para MP y monitoreo de gases en chimenea, tomando en consideración para estos dos últimos los perfiles de funcionamiento reales. En este punto cobra relevancia el estudio de Evaluación de Medidas para Reducir la Contaminación Atmosférica en Complejos Industriales de Concepción, desarrollado por la UDT de la Universidad de Concepción, puesto que incorpora la medición isocinética y de gases como fuente de información más relevante a la hora de asignar la emisión a un proceso con combustión, de acuerdo al siguiente protocolo:

- 1) Mediciones Isocinéticas oficiales entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 2) Mediciones Continuas de las fuentes entregadas a la Autoridad Sanitaria
- 3) Información DS 138
- 4) Cálculos teóricos a partir de FE y NA declarado.

Priorizando para la asignación de tamaños de MP, los análisis granulométricos específicos, sobre los cálculos teóricos. Lo que se ve afianzado, cuando la información disponible tiene este grado de especificidad. Destacando en este contexto lo dispuesto en el Plan de Descontaminación de Temuco y PLC D.S. 78/2009, referente a la obligatoriedad de medición para las fuentes que utilizan combustibles fósiles y biomasa como combustible.

Es importante mencionar en este punto que el Protocolo de CEMS actualmente se solicita a Termoeléctricas en el país, de acuerdo a la resolución exenta N°57 que aprueba el “Protocolo para Validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS) en Centrales Termoeléctricas” (Superintendencia del Medio Ambiente), por tanto y tomando como base la información del inventario de Temuco y PLC más reciente, no existen fuentes de este tipo en las comunas en estudio.

Respecto al tipo de fuentes incorporadas en los inventarios anteriores, se tiene que en su gran mayoría, están vinculadas a las calderas de calefacción y grupos electrógenos, incorporándose metodologías para un número reducido de rubros comerciales y/o industriales, lo que se explica por las actividades económicas del área de estudio, sin embargo es posible determinar de inventarios de otras zonas similares incorporan algunos otros rubros de emisiones que pudieran estar presentes en el área de estudio y será estudiada su inclusión.

Tabla 6. Categorías de Fuentes Incorporadas en Distintos Inventario de Temuco y PLC

Tipo Fuente	Inventario 2000	Inventario 2005	RETC 2007	Inventario 2009	Inventario 2013
Caldera de calefacción	4	293	398	383	339
Caldera industrial	17	21	41	37	20
Caldera de calefacción residencial	-	-	-	-	13
Equipo Electrógeno	-	-	96	104	288
Horno Panadero	6	58	61	64	82
Fabricación de Artículos y Muebles de Madera	18	17	17	6	6
Fabricación de Hormigón y Manejo de Áridos	15	15	15	15	16
Fabricación de Madera Elaborada	9	9	9	3	3
Fabricación de Artículos Plásticos	12	12	12	12	12
Faenamiento de Animales	1	1	1	1	1
Fabricación de Cecinas	-	-	-	-	4

Industria de Artes Graficas	6	6	6	6	6
Procesamiento de Granos	14	13	13	13	7
Productos de Hierro y Acero	5	11	11	11	12
Mezcla de líquidos Orgánicos	1	-	-	-	N.R.
Total	108	456	680	655	809

Fuente: Adaptado de la Referencia SICAM 2014 [4]
N.R.: No registrado

Respecto a la incorporación de perfiles temporales y georreferenciación de las fuentes, se ha podido verificar que en la mayoría de los inventarios no se cuenta con dicha información, salvo en algunos estudios que tenían como fin último la modelación de contaminantes. En este punto es importante destacar que las emisiones correctamente temporalizadas y espacializadas permiten un entendimiento de los problemas locales de contaminación, en función de los perfiles mensuales y/o diarios, al hacer una sinergia con las demás fuentes emisoras.

2.3 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIOS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS AÑO BASE 2017

A continuación, se presenta el proceso metodológico general a llevar a cabo, para la actualización del inventario de Temuco y PLC, aquí se describen las principales metodologías a ser aplicadas y métodos de estimación relacionados, considerando las revisiones metodológicas internacionales y nacionales.

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 fijas (ver Figura 2), donde se destacan las distintas etapas que contemplan dos procesos generales 1) Mediante la revisión de la información disponible por parte de la Seremi de Medio Ambiente, Super Intendencia de Medio Ambiente y Salud de la región de la Araucanía y 2) La realización de terrenos a las fuentes que posean información incompleta o no estén catastradas en las bases de datos. Y 3) La Estimación de Emisiones.

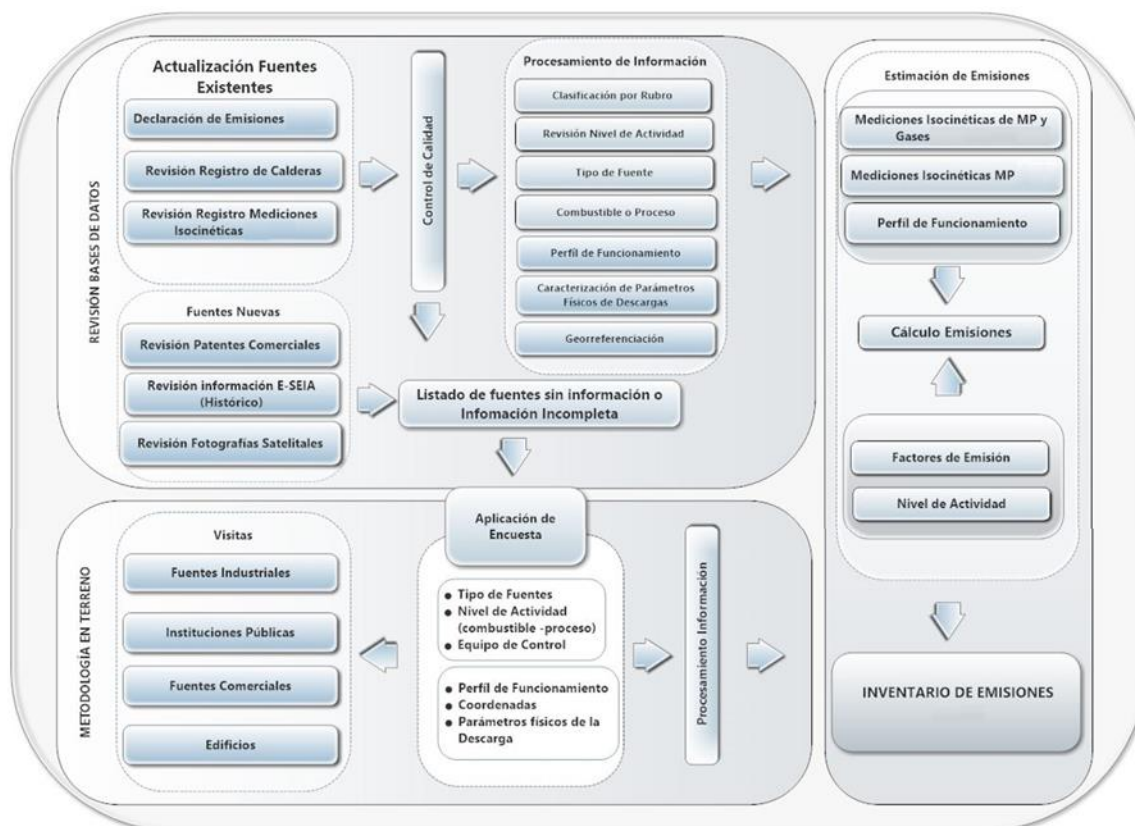


Figura 2. Flujo metodológico para levantamiento de información en fuentes estacionarias

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

Con el fin de catastrar, actualizar e incorporar nuevas fuentes a la información del inventario de emisiones más actualizado para las comunas de Temuco y PLC, se realizó la revisión de la siguiente información disponible:

- Declaración de emisiones en el marco del DS 138/05 (2014-2018).
- Registro de Calderas
- Registro de Mediciones Isocinéticas
- Inventario de Emisiones de Temuco y PLC, año base 2009
- Informes de Mediciones Isocinéticas
- Registro online histórico E-SEIA

A la fecha del presente informe se ha cuenta con información parcial de informes de medición isocinética, base de datos de la Seremi de Medio Ambiente

2.3.2 ALCANCES METODOLÓGICOS GENERALES

De acuerdo a lo estipulado por la EPA, TCEQ y los avances realizados a nivel nacional respecto a inventarios de emisiones, se plantea un protocolo de jerarquización de métodos de estimación de emisiones, como base para el desarrollo metodológico de la actualización del inventario de Emisiones de Temuco y PLC, ver Tabla 7. Se ha privilegiado el uso de los informes isocinéticos y de monitoreo de gases, como fuente principal para la obtención de las emisiones de cada fuente a inventariar, de no contar con dicha información se debe recurrir a los factores de emisión disponibles, ya sea de acuerdo al equipo específico o respecto de alguna fuente de información internacional (AP-42/WebFire, NPI, etc.), si la información para la estimación es insuficiente a pesar de realizada la encuesta en terreno, se considerarán a las fuentes como sin información.

Tabla 7. Jerarquía metodológica utilizada en inventario F. Puntuales

Categoría	Método	Descripción
1	Medición en la chimenea	Medición puntual en chimenea Isocinética y de Gases
2	Factores de emisión específicos para el equipo	Factor de emisión informado por el fabricante
3	Factor de Emisión	De acuerdo con AP-42
4	Balance de Materia	Registros de Ingreso y Salidas de sustancias.

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 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 es la siguiente

$$E = EM \times PF$$

Ecuación 1

Donde:

- E : Emisión
- EM : Emisión Medida
- PF : Perfil de Funcionamiento de la Fuente

2.3.4 CÁLCULO DE EMISIONES DESDE FUENTES SIN INFORMACIÓN ISOCINÉTICA Y/O GASES

Aquellas fuentes que no posean mediciones y 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 operación 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 la siguiente

$$E = NA \times FE \times (1 - \% \frac{EF_t}{100}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- E : Emisión
- NA : Nivel de Actividad
- FE : Factor de Emisión
- EF_t : % Eficiencia total del Equipo de Control

2.3.4.1 IDENTIFICACIÓN E INCORPORACIÓN DE FUENTES NUEVAS

Para la incorporación de fuentes nuevas, se ha utilizado como protocolo general la incorporación de algunos rubros claves que pudieran estar presentes en la zona de estudio, a partir de información previa de otros inventarios de emisiones y el conocimiento propio del área. Se han incorporado los siguientes rubros que han sido incorporados de manera parcial en inventarios anteriores.

Tabla 8. Categorías de Fuentes Incorporadas en Inventario de Temuco y PLC

Categoría	Sub-Categoría	Rubro	Inv 2014
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Industrial	X
		Caldera de Calefacción	X
		Calderas de Calefacción < 75 kWt	X
	Combustión Interna	Grupo Electrógeno	X
Procesos	Industria de la Madera y Papel	Fabricación de Artículos y Muebles	X
		Fabricación de Madera Elaborada	X
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías	X
		Faenamiento de Animales	X
		Procesamiento de Granos	X
		Fabricación de Cecinas Ahumadas	X
		Otras industrias de Alimentos	X
	Industria de Productos Minerales	Fabricación de Hormigón y Extracción de Áridos	X
		Fabricación de Mezclas de Asfalto	X
		Fabricación de Ladrillos	X
	Industria Metalúrgica Secundaria	Productos de Hierro y Acero	X
Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Fabricación de Artículos Plásticos	X
		Industria de Artes Gráficas	X
		Impregnación de Madera	X
		Fabricación de Espumas	X
		Fabricación de Zapatos	X

Fuente: Elaboración Propia

2.3.5 METODOLOGÍA DE CAMPO

Para las fuentes que no pasen el control de calidad de la información, ya sea porque no presentan información en la declaración de emisiones, por no tener disponibles los niveles de actividad, o presentar alguna otra omisión relevante tanto para el cálculo, como para la caracterización de esta, serán visitadas directamente a fin de aplicar una encuesta que permita clarificar los puntos anteriormente señalados. De esta manera la metodología de campo consiste en un programa de visitas a las empresas que cuentan con las fuentes tipificadas como estacionarias puntuales, ya sean calderas industriales, de calefacción, procesos industriales, hornos de panadería, entre otros. La información que levantar en terreno corresponde a la detallada en la Tabla 9.

Tabla 9. Información de base de fuentes puntuales

ÍTEM	INDICADOR
Información del Establecimiento	Nombre
	RUT
	Fono
	Dirección
	Comuna
	Coordenadas
	Altura desde el nivel del mar
Datos de la Fuente	Tipo de Caldera
	Fabricante
	Modelo
	Año Fabricación
	Potencia
	Presión
	Perfil de Funcionamiento (Meses-Días-Horas)
	Cuenta con Estimación de Emisiones (Medición Isocinética)
Datos del Combustible (1 ...n)	Tipo de Combustible
	Consumo
	Porcentaje de Humedad
	Estado certificación
	Proveedor
	Procedencia
Datos de la Descarga	Altura y Diámetro de la Chimenea
	Velocidad de Salida de los Gases
	Temperatura de los Gases
	Altura desde la Fuente a la descarga
Equipos de Control	Tipo de Equipo
	Año de Instalación
	% de Abatimiento (teórico/real)

Fuente: Elaboración propia

2.3.6 METODOLOGÍA POR FUENTE EMISORA

A continuación, se presentan las metodologías específicas para cada fuente a incorporar en el inventario de emisiones de Temuco y PLC.

2.3.6.1 Fuentes de Combustión

Una de las principales fuentes de emisión en el área de estudio corresponde a las fuentes de combustión, estas se dividen en combustión interna y externa, siendo esta última subdividida en calderas industriales y de calefacción. En Temuco las calderas de calefacción

son las que priman, estando asociadas en gran medida a los edificios residenciales (CENMA, 2001, DICTUC 2008, CENMA2010 y SICAM 2014), sin embargo, las fuentes más relevantes en función de su emisión corresponden a las calderas de tipo industrial, puesto que los requerimientos de combustible para este tipo de fuentes son superiores. Los equipos electrógenos por su parte tienen perfiles de funcionamiento bajos y se asocian fundamentalmente al respaldo ante cortes en el suministro eléctrico, o utilización en horario punta, es por esta razón que sus emisiones tienden a ser mucho menores comparadas con las fuentes de combustión externa.

Es importante destacar que la concentración de edificaciones sobre los cuatro pisos esta fundamentalmente en el centro de Temuco, lo que da cuenta de la relevancia del catastro de este tipo de fuentes en el inventario, sobre todo en la determinación de los combustibles que se utilizan.

Respecto a las emisiones de este tipo de fuentes, estas variarán en función del tipo de tecnología de combustión, el combustible utilizado y la potencia de la caldera, además de la inclusión de equipos de control, para el caso de las calderas industriales.

2.3.6.2 Fuentes de Procesos con Combustión y sin Combustión

De manera general las fuentes de proceso se vinculan a áreas productivas variadas y sus niveles de actividad usualmente vienen dados en función de la materia prima que procesan y no del combustible que se quema. En el área de estudio existen algunas fuentes de proceso vinculadas a la producción de madera, procesamiento de granos y elaboración de alimentos. Existen además algunas fuentes asociadas a procesos sin combustión, como el mezclado de asfalto, producción de concreto y chancado de rocas, todos ellos aportan a las emisiones fugitivas y se relacionan principalmente con la generación de MP grueso. Las fuentes de proceso en el área de estudio se encuentran distribuidas en la periferia de la ciudad, estando mayoritariamente concentradas en la comuna de Padre Las Casas.

2.4 FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LAS FUENTES PUNTUALES A UTILIZAR EN EL INVENTARIO DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS AÑO BASE 2017

A continuación, se presentan algunos FE seleccionados que serán utilizados para el cálculo de emisiones de fuentes puntuales, se han considerado FE para Calderas Industriales, Calderas de Calefacción, Equipos Electrógenos y algunos procesos con y sin combustión, que representan la realidad del área de estudio. Los factores de Emisión utilizados corresponden en su mayoría a los disponibles en el AP-42 de la EPA [5].

Tabla 10. Factores de Emisión para Calderas Industriales

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COVs
Caldera Industrial* >100 Millones Btu/hr	Gas Natural	Ton/Ton	0,0002	NE	0,0000	0,0063	0,0019	0,0001
	Madera Seca	Ton/Ton	0,0029	0,0025	0,0039	0,0002	0,0048	0,0001
	Carbón bituminoso	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0110	0,0003	0,00003
	Carbón antracita	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0060	0,0003	0,00003
	Diesel N°2	Ton/Ton	0,00003	0,00003	0,0170	0,0029	0,0006	0,00003
	Diesel N°4	kg/m ³	0,4707	0,1210	17,040	5,6400	0,6000	0,0302
	Diesel N°5	Ton/Ton	0,0075	0,0007	0,0178	0,0059	0,0006	0,0002
	Diesel N°6	Ton/Ton	0,0073	0,0048	0,0175	0,0058	0,0006	0,0002
	Gas Licuado de Petróleo	Ton/Ton	0,0172	NE	0,0035	0,3232	0,1810	0,0237
	Aceite Residual	Ton/Ton	0,0001	NE	NA	0,0002	0,0007	0,0001

Fuente: AP-42 EPA [5]

NE: No estimado

NA: No aplica

Tabla 11. Factores de Emisión para Calderas de Calefacción

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COVs
Caldera Industrial* <100 Millones Btu/hr	Gas Natural	Ton/Ton	0,0002	NE	0,0000	0,0023	0,0019	0,0001
	Corteza/Corteza y Madera	Ton/Ton	0,0023	0,0019	0,0010	0,0001	0,0027	0,0001
	Carbón bituminoso	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0110	0,0003	0,0000
	Carbón antracita	Ton/Ton	0,0094	0,0030	NA	0,0060	0,0003	0,0000
	Diesel N°2	Ton/Ton	0,0002	0,0001	0,0203	0,0079	0,0007	0,0001
	Diesel N°4	kg/m ³	0,6204	0,2304	18	6,6	0,6	0,066720
	Diesel N°5	Ton/Ton	0,0006	0,0002	0,019732	0,002514	0,000628	0,000202
	Diesel N°6	Ton/Ton	0,0053	0,0020	0,019293	0,002458	0,000614	0,000197
	Gas Licuado de Petróleo	Ton/Ton	0,0407	NE	0,008178	0,762712	0,427119	0,055932
	Aceite Residual	Ton/Ton	0,0001	NE	NA	0,000168	0,0007	0,0001

Fuente: AP-42 EPA [5]

NE: No estimado

NA: No aplica

Tabla 12. Factores de Emisión para Grupos Electrónicos

Rubro	Combustible	Unidad	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COVs
Grupo Electrónico	Petróleo N°2	Ton/Ton	0,00111	0,000931	0,01962	0,06217	0,01651	0,00175
	Gasolina	Ton/Ton	0,10000	NE	0,08400	1,63000	62,70000	2,10000
	Petróleo N°4	Ton/Ton	0,31000	NE	0,29000	4,41000	0,95000	0,31000
	Petróleo N°5	Ton/Ton	0,31000	NE	0,29000	4,41000	0,95000	0,31000
	Petróleo N°6	Ton/Ton	0,31000	NE	0,29000	4,41000	0,95000	0,31000

Fuente: AP-42 EPA [5]

NE: No estimado

NA: No aplica

Tabla 13. Factores de Emisión para Procesos Industriales Seleccionados

Proceso	Sub-Proceso	Ref.	Unidad	MP10	MP2,5	SO ₂	CO	NO _x	NH ₃	COVNM
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						0,68	
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					
	Tamizado	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 [5] y EMEP/EEA [6]

2.5 ACTUALIZACIÓN DE NIVELES DE ACTIVIDAD

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la revisión de la información de las fuentes disponibles, a saber: informes de mediciones isocinéticas, fiscalizaciones de la Superintendencia de Medio Ambiente, registros del D.S. 138, gestionados por la Seremi de Salud de la Araucanía y terrenos a fuentes residenciales.

De manera general se ha asignado una abreviación estándar, de acuerdo con los protocolos establecidos en el RETC, más la creación de una sigla (CAR) para la diferenciación de las fuentes residenciales, dichas abreviaturas se utilizan también en las bases de datos que serán entregadas junto al informe final.

Tabla 14. Abreviaturas para Familias de Fuentes Emisoras

Proceso	Abreviación
Caldera de Calefacción	CA
Caldera de Calefacción Residencial	CAR
Caldera Industrial	IN
Equipo Electrógeno	EL
Proceso con Combustión	PC
Proceso sin Combustión	PS
Horno Panadero	PA
Evaporativas	EV

Fuente: Elaboración propia

2.5.1 CATASTRO DE FUENTES PUNTUALES

Con referencia al catastro de fuentes puntuales, se cuenta con la información asociada a informes de mediciones isocinéticas, entregados en su mayoría por la contraparte técnica del estudio, más los recabados directamente por el equipo consultor en diversas fuentes de información, donde destacan los procesos de fiscalización de la SMA en la plataforma SNIFA.

Además, se cuenta con información asociada a la declaración de emisiones 2017, entregado en el proceso de observaciones al segundo informe de avance. De este modo es posible realizar una consolidación de la información, presentada en la Tabla 15, a continuación.

Dando cuenta de una baja en el número relativo de calderas de calefacción, calderas industriales y equipos electrógenos, vinculado también a la disminución de las declaraciones realizadas.

Tabla 15. Comparativo catastro de fuentes puntuales

Tipo Fuente	Inventario 2000	Inventario 2005	RETC 2007	Inventario 2009	Inventario 2013	Inventario 2017
Caldera de calefacción	4	293	398	383	339	272
Caldera industrial	17	21	41	37	20	12
Caldera de calefacción residencial	-	-	-	-	13	85
Equipo electrógeno	-	-	96	104	288	267
Horno panadero	6	58	61	64	82	60
Fabricación de Artículos y Muebles de Madera	18	17	17	6	6	6
Fabricación de Hormigón y Manejo de Áridos	15	15	15	15	16	16
Fabricación de Madera Elaborada	9	9	9	3	3	3
Fabricación de Artículos Plásticos	12	12	12	12	12	12
Faenamiento de Animales	1	1	1	1	1	1
Fabricación de Cecinas	-	-	-	-	4	4
Industria de Artes Graficas	6	6	6	6	6	6
Procesamiento de Granos	14	13	13	13	7	7
Productos de Hierro y Acero	5	11	11	11	12	12
Mezcla de líquidos Orgánicos	1	-	-	-	-	-
Total	108	456	680	655	809	763

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 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 se cuenta con información de mediciones en 8, las demás cuentan con declaración de emisiones vigente.

Tabla 16. Número de Calderas de Industriales por Industria

Industria	Fuentes
Frigorífico Temuco	2
Maltearías Unidas	3
Agrosuper Comercializadora de Alimentos	1
Comercial RTA	1
Coca Cola	1
Forestal Boroa	2
Maderas y Molduras Santos Maldonado	1
Forestal Magasa	1
Total	12

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los niveles de actividad y tipos de combustible, se ha podido verificar, que la mayor parte de las calderas de este tipo, funcionan con combustibles sólidos ya sea Carbón o Leña, seguido por el Gas, tanto licuado como natural.

Tabla 17. Niveles de Actividad por Empresa

Empresa	Combustible	Nivel de Actividad	Unidad
Frigorífico Temuco S.A.	Gas Natural	1123	ton/año
Frigorífico Temuco S.A.	Leña	10512	ton/año
Malterías Unidas S.A.	Carbón Bituminoso	12390	ton/año
Malterías Unidas S.A.	Carbón Bituminoso	4380	ton/año
Malterías Unidas S.A.	Gas Natural	S/I	m³/año
Coca-Cola	Gas Licuado	1419	ton/año
Maderas y Molduras	Viruta, Despuntes	2203	ton/año
Forestal Boroa	Biomasa	2448	ton/año
Casagrande S.A.	Leña	S/I	ton/año

Fuente: Elaboración propia

2.5.3 CALDERAS DE CALEFACCIÓN

El número más importante de fuentes catastradas corresponde a las calderas de calefacción, siendo las vinculadas a Edificios las que ocupan el mayor número. Del total de calderas de calefacción el mayor porcentaje funciona a gas, seguido de petróleo y leña.

Tabla 18. Número de Calderas por tipo de Combustible y Tipo de Fuente

Sector	Combustible	Número	Inventario 2017	Inventario 2013
Comercial	Leña	5	28	59
	Pellet	1		
	Gas	10		
	Diesel	12		
Edificios	Leña	38	138	105
	Pellet	3		
	Gas	65		
	Diesel	31		
	No Informa	1		
Educación	Leña	5	54	59
	Pellet	5		
	Diesel	19		
	Gas	25		
Inst. Pública	Pellet	3	14	18

	Gas	5		
	Diesel	6		
Salud	Diesel	4	4	--
Otros	Diesel	1	1	5

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el total de fuentes con información asociadas a informes isocinéticos se tiene un total de 72, los que se encuentran en su mayoría vinculados a calderas a leña, habiendo 19 que corresponden al inventario anterior y 53 a registros posteriores al 2015.

Tabla 19. Número de calderas de calefacción por sector

Sector	Número
Edificios	138
Industrial-Comercial	28
Educación	54
Inst. Pública	14
Salud	4
Otros	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Número de calderas de calefacción por tipo de combustible

Combustible	Número
Biomasa	48
Gas	105
Pellet	9
Petróleo	73

Fuente: Elaboración propia

Los edificios con mayores niveles de actividad corresponden a Edificio Amancay y Cordillera, con un consumo de combustible superior a los 800 m³/año de leña.

Tabla 21. Niveles de Actividad Calderas a Biomasa Comerciales

Edificio	Nivel de Actividad (ton/año)	Combustible
Com. Edificio Europa	350	Leña
Admin. Edificio Andrés Bello	266	Leña
Com. Edificio Amancay	822	Leña
Cong. De las Hermanitas de los Ancianos Desamparados	47	Leña
Com. Edificio Holandesa	175	Leña
Com. Edificio Alemania	450	Leña
Com. Edificio Allipén	250	Leña
Com. Edificio Parque Holandesa	344	Leña

Com. Edificio Cordillera	810	Leña
Com. De Copropietarios Edificio Versalles	460	Leña
Com. Edificio Hostetter	404	Leña
Com. Edificio Gorbea	352	Leña
Com. Edificio Ámsterdam	215	Leña
Com. Edificio Arauco	177	Leña

Fuente: Elaboración propia

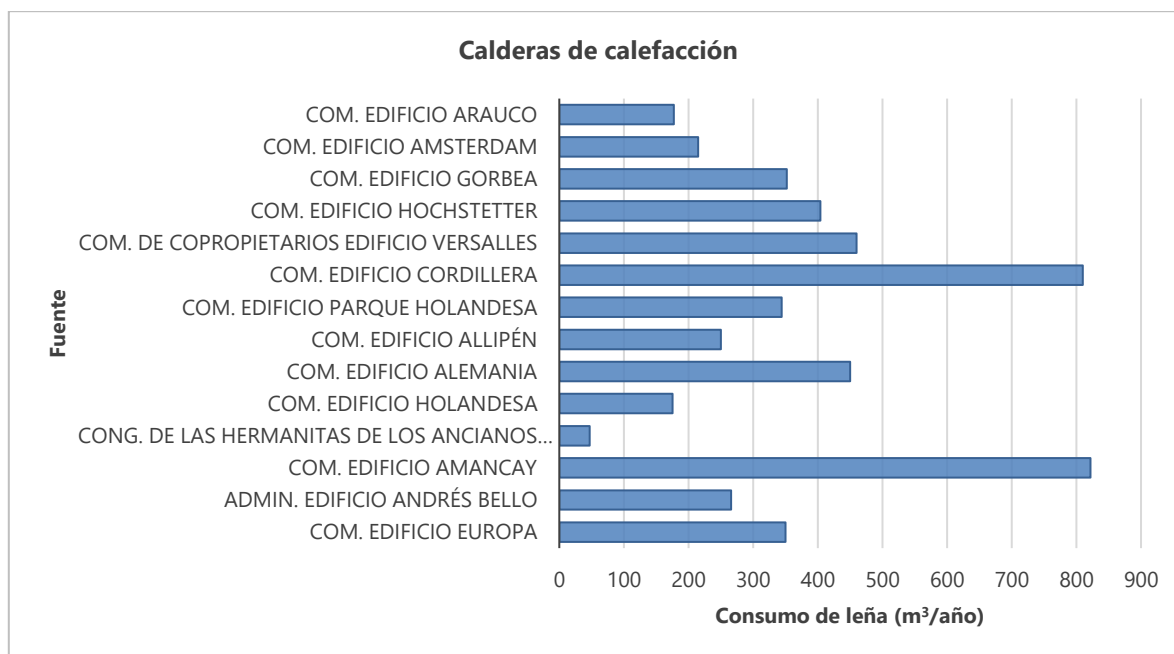


Figura 3. Consumo de combustible de calderas de calefacción

Fuente: Elaboración propia

Los establecimientos educacionales, poseen en su mayoría sistemas de calefacción a gas, con un consumo promedio de 2200 m³/año, seguido de calderas a petróleo (22) y finalmente calderas a biomasa pellet y leña contando únicamente con 7 fuentes.

Respecto a las fuentes comerciales se tienen en su mayoría calderas a calefacción a petróleo (12), y gas (10) habiendo solamente 4 calderas funcionando a biomasa.

Las calderas de instituciones públicas funcionan en su mayoría a petróleo (6) y gas (5) seguido de calderas a biomasa de diversa denominación (3).

Las calderas funcionando en instituciones vinculadas a la salud en su mayoría funcionan a gas (16) seguido de petróleo (3).

Tabla 23. Cantidad de calderas de calefacción residencial por tipo de combustible

Tipo de combustible	Unidad	Cantidad
Leña	m ³ /mes	1,4
Pellet	Kg/mes	441

Fuente: Elaboración propia

2.5.5 CATASTRO DE EQUIPOS ELECTROGENOS

El registro de Equipos electrógenos ha incorporado un importante número adicional a los que se habían catastrados anteriormente, Los Equipos electrógenos en su totalidad utilizan Petróleo N° 2 para operar y de acuerdo a los registros de actividad solamente los vinculados al rubro industrial presentan consumos importantes comparativamente, debido a su funcionamiento en horario punta.

Tabla 24. Número de Equipos Electrógenos por Categoría

Categoría Grupo Electrónico	Nº de Fuentes
Industriales	61
Comerciales	87
Edificios	88
Educación	12
Públicas	11
Salud	10
Total Fuentes	267

Fuente: Elaboración propia

2.6 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la estimación de emisiones para fuentes puntuales, segregadas por comuna y de manera conjunta, diferenciándose los totales parciales por categoría y tipo de fuente catastrada.

El total para la comuna de Temuco, según se muestra en la Tabla 25, está fuertemente asociado a las fuentes de combustión, donde destacan las calderas de calefacción con emisiones de MP2,5 de 104 ton/año. El SOx por otra parte está vinculado en mayor proporción a las calderas industriales.

Tabla 25 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales

categoria	subcategoria	Tipo Fuente	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera De Calefacción	114,0	105,6	58,6	695,7	711,4	14,6
		Caldera Industrial	8,7	5,6	374,1	86,5	64,7	1,6
		Caldera de Calefacción Residencial	2,7	1,0	59,7	41,2	11,2	0,7
		Sub-Total Comb. Externa Puntual	125,4	112,3	492,4	823,4	787,2	16,9
	Combustión Interna	Equipo Electrógeno	0,2	0,2	0,3	4,5	0,8	0,1
		Sub-Total Comb. Interna	0,2	0,2	0,3	4,5	0,8	0,1
Procesos	Ind. metalúrgica secundaria	Productos de hierro y acero	-	-	-	-	10,2	-
		Sub-Total Ind. Met. Sec.	-	-	-	-	10,2	-
	Ind. de productos minerales	Fabricación de Hormigón y Manejo de áridos	-	-	-	-	10,2	-
		Sub-Total Ind. Prod. Min.	-	-	-	-	10,2	-
	Ind. madera y el papel	Fabricación de artículos y muebles de madera	0,4	0,4	-	-	0,9	-
		Sub-Total Ind. Mad y Papel	0,4	0,4	-	-	0,9	-
	Ind. aliment. y agropecuaria	Panadería	0,9	0,8	0,6	5,4	1,4	0,1
		Procesamiento de granos	2,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
		Faenamiento de animales	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Ind. Alim. y Agropecuaria	2,9	1,4	0,6	5,4	1,4	0,1
	Otros	Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0
		Sub-Total Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0
Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Industria de artes Graficas	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Evaporativas	-	-	-	-	-	-
TOTAL			128,9	114,2	493,4	834,3	810,8	17,1

Fuente: Elaboración propia

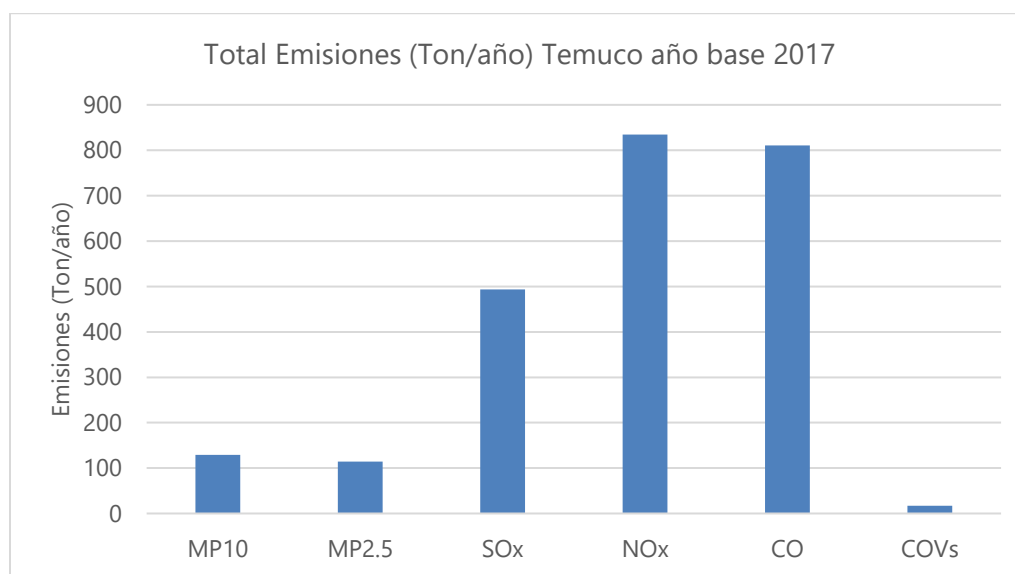


Figura 5. Emisiones totales Temuco 2017

Fuente: Elaboración propia

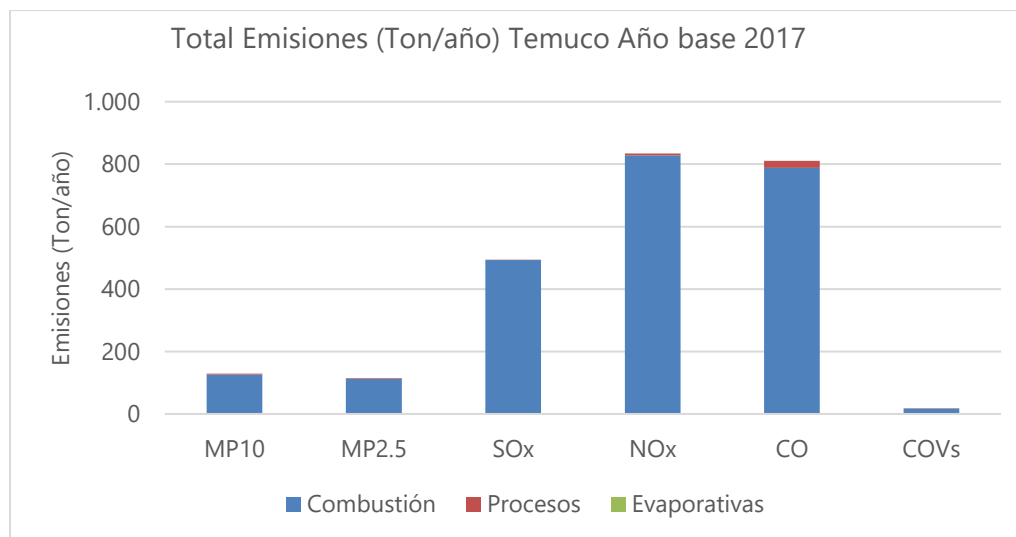


Figura 6. Emisiones totales por categoría Temuco 2017

Fuente: Elaboración propia

Padre las Casas, por otra parte, presenta un comportamiento distinto al de Temuco, en donde las principales emisiones de MP2,5 están orientadas a las calderas industriales con 10,5 ton/año, habiendo también fuentes de emisión relevantes asociadas a la industria metalúrgica y fabricación y manejo de áridos, posicionándose los procesos industriales como fuentes relevantes en la distribución, según se muestra en la Figura 8.

Tabla 26 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Padre Las Casas

categoría	subcategoría	Tipo Fuente	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera de Calefacción	0,5	0,4	0,1	0,8	0,9	0,0
		Caldera Industrial	12,6	10,5	90,1	34,5	32,0	1,0
		Calderas de Calefacción Residencial	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Comb. Externa Puntual	13,1	10,9	90,2	35,3	32,9	1,0
	Combustión Interna	Equipo Electrógeno	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
		Sub-Total Comb. Interna	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Procesos	Ind. metalúrgica secundaria	Productos de hierro y acero	8,8	8,3	5,7	-	102,5	-
		Sub-Total Ind. Met. Sec.	8,8	8,3	5,7	-	102,5	-
	Ind. de productos minerales	Fabricación de Hormigón y Manejo de áridos	16,7	8,3	5,7	-	102,5	-
		Sub-Total Ind. Prod. Min.	16,7	8,3	5,7	-	102,5	-
	Ind. madera y el papel	Fabricación de artículos y muebles de madera	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Ind. Mad y Papel	-	-	-	-	-	-
	Ind. aliment. y agropecuaria	Panadería	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0
		Procesamiento de granos	-	-	-	-	-	-
		Faenamiento de animales	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Ind. Alim. y Agropecuaria	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0
	Otros	Otros	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Otros	-	-	-	-	-	-
Ev.	Evaporativas Puntuales	Industria de artes Graficas	-	-	-	-	-	-
		Sub-Total Evaporativas	-	-	-	-	-	-
TOTAL			38,74	27,50	101,60	35,72	237,97	1,03

Fuente: Elaboración propia

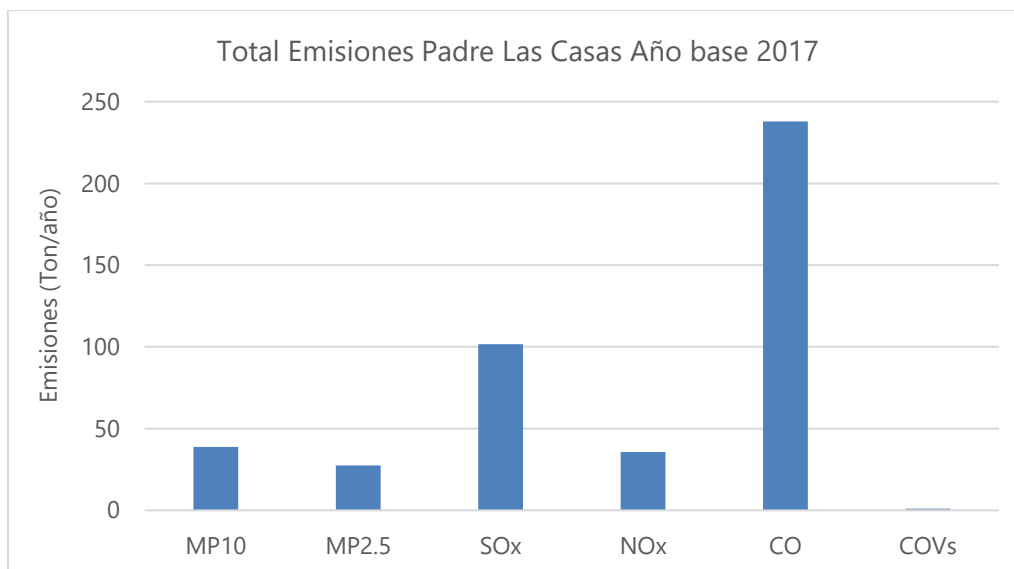


Figura 7. Emisiones totales Padre Las Casas año base 2017

Fuente: Elaboración propia

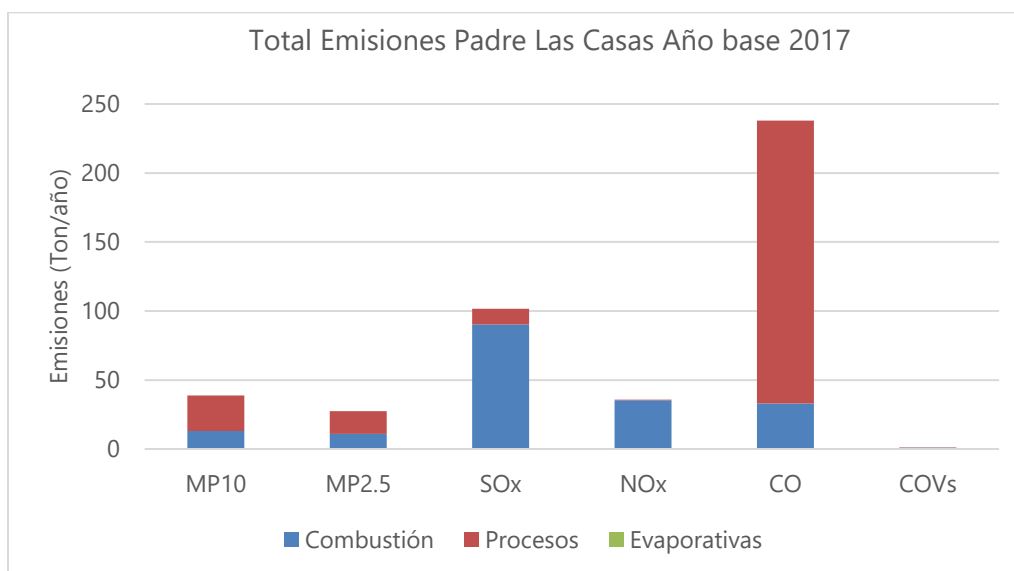


Figura 8. Emisiones totales por categoría Padre las Casas 2017

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 27, da cuenta de los resultados consolidados para la estimación de emisiones de las comunas de Temuco y Padre las Casas, donde el total general ascienda a las 133 Ton/año de MP2,5 y 589 ton/año de SOx, siendo las fuentes de mayor relevancia las calderas de combustión y dentro de ellas las calderas de calefacción según se aprecia en la Figura 11 para MP10 y Figura 12 para MP2,5, en tanto el SOx está fuertemente orientado a las fuentes industriales (79%) según se parecía en la Figura 13.

Tabla 27 . Resumen Estimación de Emisiones Fuentes Puntuales Temuco y PLC.

categoria	subcategoria	Tipo Fuente	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	
Combustión	Combustión externa puntual	Caldera de Calefacción	114,5	106,1	58,7	696,4	712,2	14,6	
		Caldera Industrial	21,4	16,1	464,2	121,0	96,7	2,6	
		Caldera de Calefacción Residencial	2,7	1,0	59,7	41,2	11,2	0,7	
		Sub-Total Comb. Externa Puntual	138,5	123,2	582,6	858,7	820,1	17,9	
	Combustión Interna	Equipo Electrógeno	0,2	0,2	0,3	4,6	0,8	0,1	
		Sub-Total Comb. Interna	0,2	0,2	0,3	4,6	0,8	0,1	
Procesos	Ind. metalúrgica secundaria	Productos de hierro y acero	8,8	8,3	5,7	-	112,7	-	
		Sub-Total Ind. Met. Sec.	8,8	8,3	5,7	-	112,7	-	
	Ind. de productos minerales	Fabricación de Hormigón y Manejo de áridos	16,7	-	-	-	-	-	
		Sub-Total Ind. Prod. Min.	16,7	-	-	-	-	-	
	Ind. madera y el papel	Fabricación de artículos y muebles de madera	0,4	0,4	-	-	0,9	-	
		Sub-Total Ind. Mad y Papel	0,4	0,4	-	-	0,9	-	
	Ind. aliment. y agropecuaria	Panadería	0,9	0,8	0,6	5,8	1,4	0,1	
		Procesamiento de granos	2,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Faenamiento de animales	-	-	-	-	-	-	
		Sub-Total Ind. Alim. y Agropecuaria	2,9	1,4	0,6	5,8	1,4	0,1	
	Otros	Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	
		Sub-Total Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	
	Evaporativas	Evaporativas Puntuales	Industria de artes Graficas	-	-	-	-	-	-
			Sub-Total Evaporativas	-	-	-	-	-	-
TOTAL			167,7	133,5	589,3	870,0	936,0	18,1	

Fuente: Elaboración propia

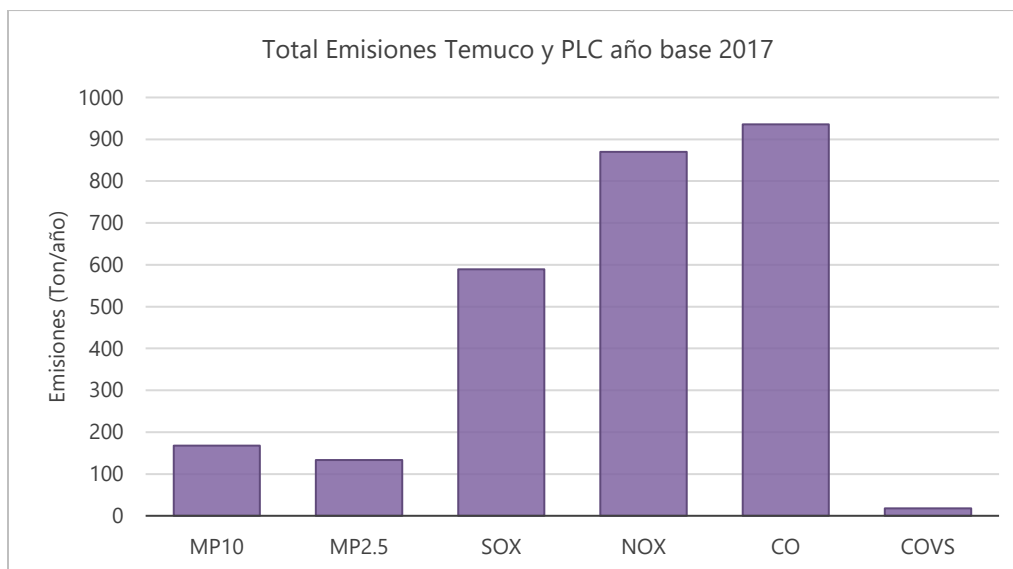


Figura 9. Emisiones totales Temuco y PLC 2017
Fuente: Elaboración propia

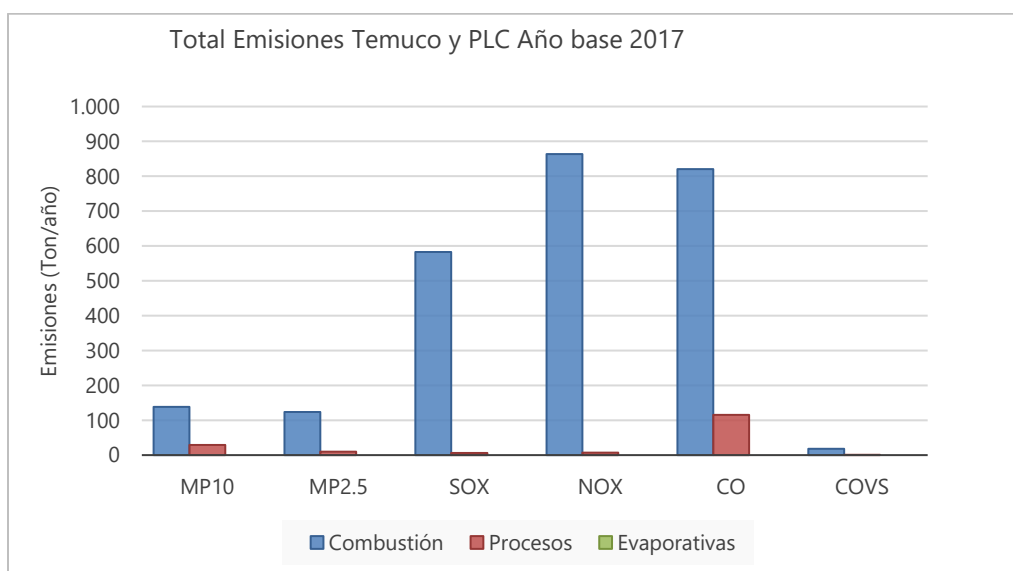


Figura 10. Emisiones totales por categoría Temuco y PLC 2017
Fuente: Elaboración propia

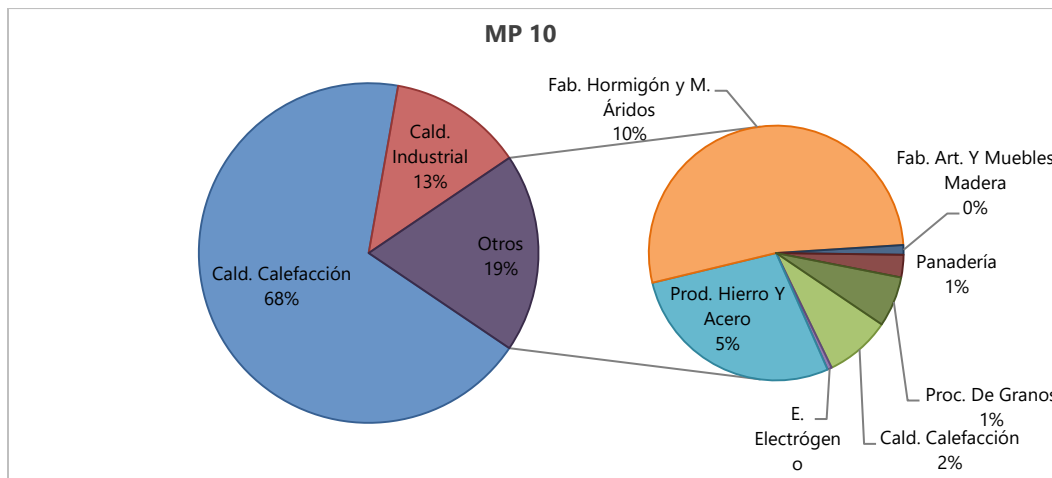


Figura 11. Distribución emisiones MP10 por tipología Temuco y PLC 2017
Fuente: Elaboración propia

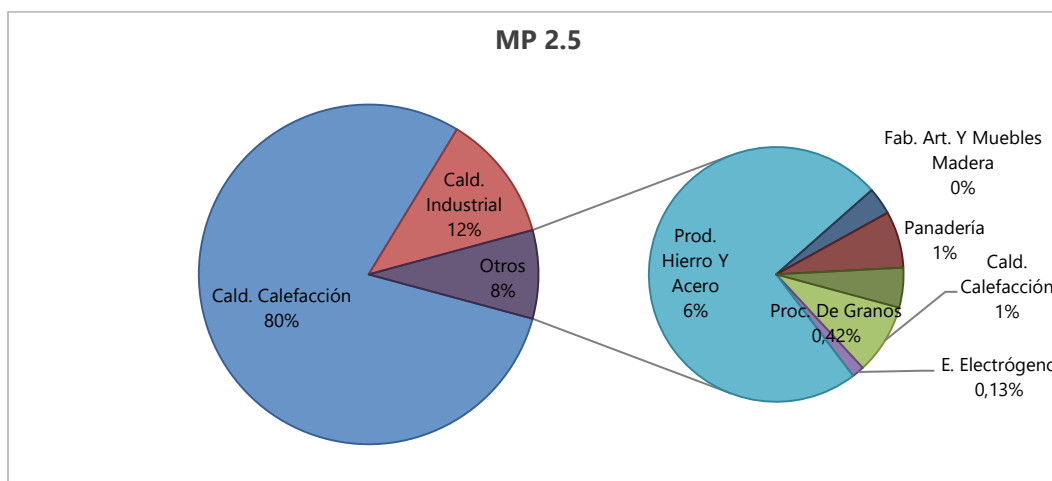


Figura 12. Distribución emisiones MP2,5 por tipología Temuco y PLC 2017
Fuente: Elaboración propia

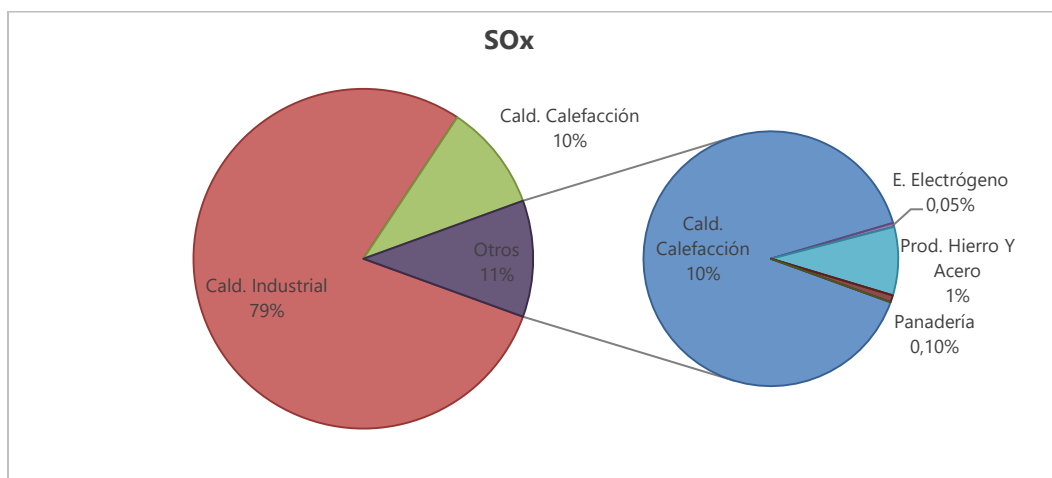


Figura 13. Distribución emisiones SOx por tipología Temuco y PLC 2017
Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la tendencia del inventario para el total entre los inventarios del año 2000 al 2017 (Figura 14) se ve una clara disminución del MP10 y MP2,5, en los últimos 8 años, situación explicada por el cambio de combustible de leña a pellet, gas o petróleo y la implementación de sistemas de control para fuentes industriales, en lo que respecta al SOx, se ve una disminución respecto al inventario anterior, lo que puede ser explicado por los cambios en los niveles de actividad, no existiendo una tendencia a la baja de estas emisiones. En lo que respecta a los demás contaminantes se ve un alza de NOx y CO, situación explicada únicamente por los cambios en la matriz energética de las calderas de calefacción. La Figura 15 y Figura 16 en tanto presentan el comportamiento de las emisiones para la categoría combustión y procesos.

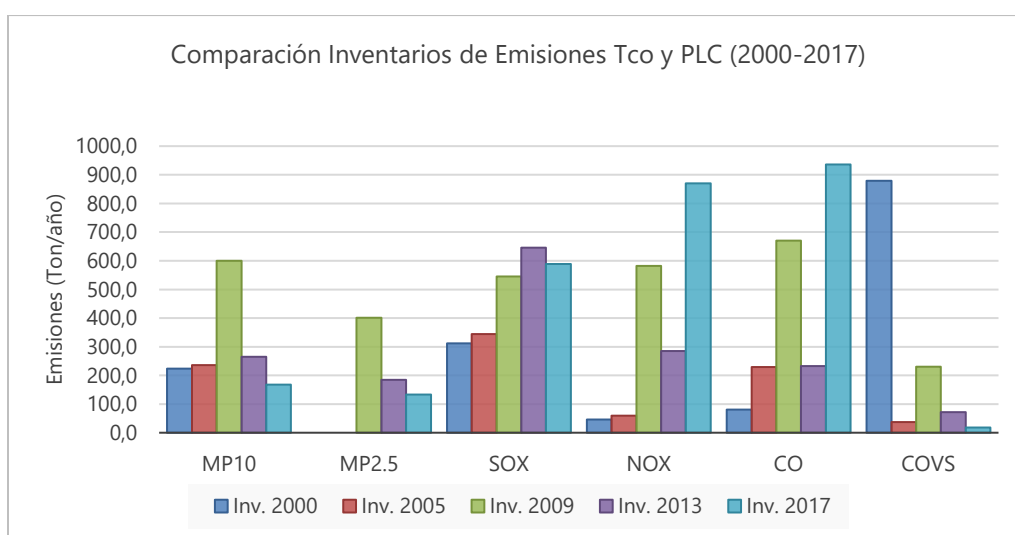


Figura 14. Comparación Inventarios (2000-2017) Temuco y PLC

Fuente: Elaboración propia

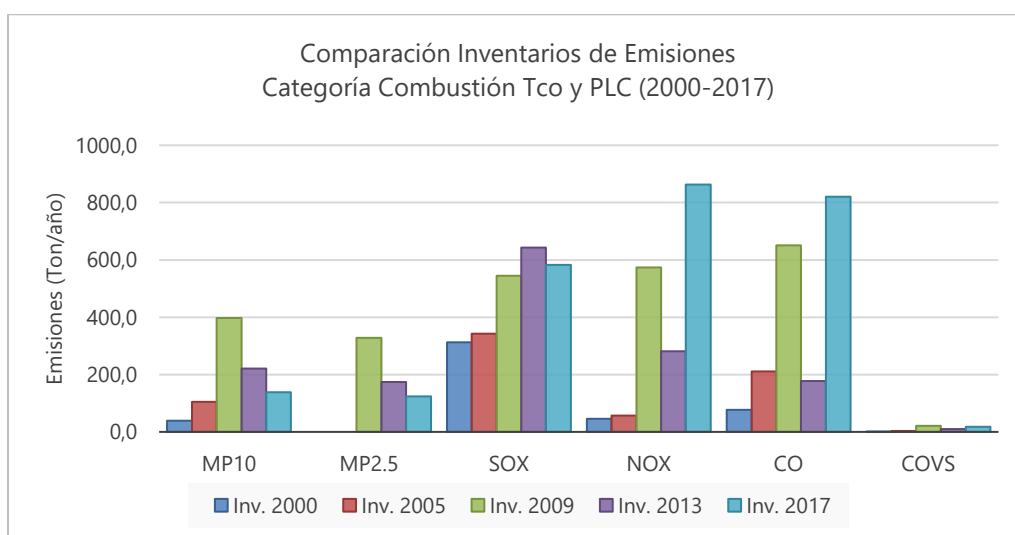


Figura 15. Comparación Inventarios (2000-2017) Combustión Temuco y PLC

Fuente: Elaboración propia

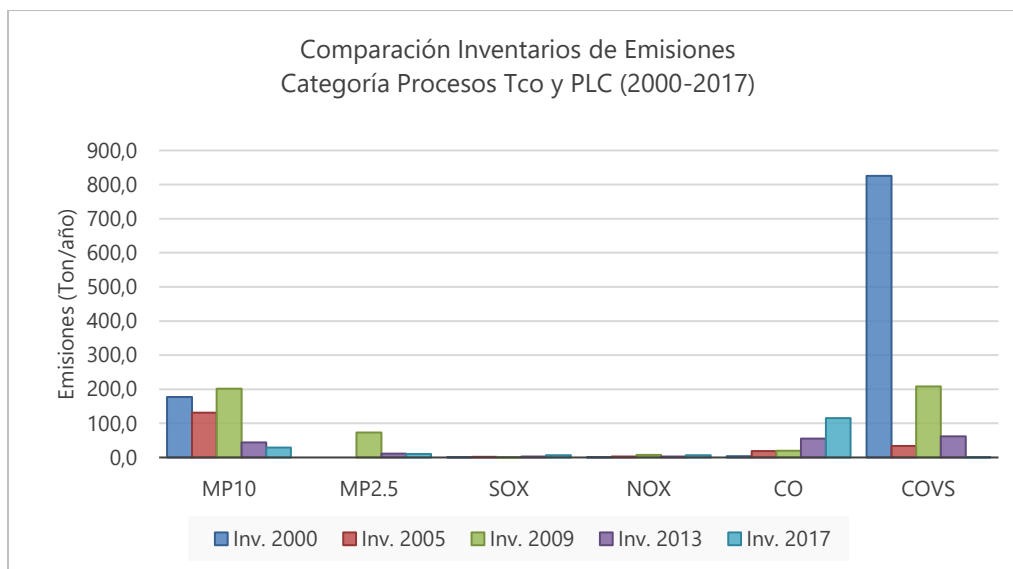
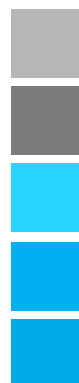
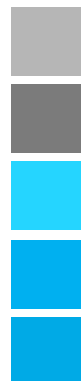


Figura 16. Comparación Inventarios (2000-2017) procesos Temuco y PLC
Fuente: Elaboración propia



FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA:

COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA



3 FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Las estufas de uso residencial, aunque se consideren individualmente como pequeñas fuentes, son numerosas y tienen el potencial para contribuir significativamente a la contaminación del aire en ciudades densamente pobladas, especialmente en los países en desarrollo [3].

3.1 ANTECEDENTES GENERALES COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

Según antecedentes reportados en el inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2013 [4] las emisiones de MP10 y MP2,5 provenientes de la combustión residencial de leña, representan el 82,7% y 86,1%, respectivamente, siendo la principal fuente emisora de la zona de estudio.

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 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) [7].
- **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 [8].

Consumo de leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Estimaciones realizadas en el marco de la actualización del inventario de emisiones de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, realizado por la empresa SICAM INGENIERÍA para el año base 2013 [4], señalan que, aproximadamente el 85% de las viviendas tipo casa que son habitadas en la intercomuna, consumen leña, ya sea para efectos de calefacción y/o cocción de alimentos. Los antecedentes señalan, además, que el consumo promedio alcanzaría los 7,7 m³/año y 7,9 m³/año, en Temuco y Padre Las Casas, respectivamente. Luego, a partir de esto, se ha estimado que el consumo total de leña en el área urbana de ambas comunas ascendería a 546.455 m³/año.

Dichas estimaciones derivan del análisis de datos obtenidos de la aplicación de la “Encuesta de caracterización residencial en relación al uso de leña y sus artefactos de combustión”, aplicada el año 2014, en el marco de dicho inventario [4], para actualizar los niveles de actividad de la fuente combustión residencial de leña.

Por otra parte, en relación al consumo promedio de leña por vivienda, se observan tendencias diferenciadas según la comuna de análisis, y variables consideradas. Así, por ejemplo, para la comuna de Temuco se observan diferencias significativas en el consumo promedio de leña en viviendas construidas antes del año 2002, respecto de aquellas construidas después del año 2002, correspondientes a 8,0 m³/año y 6,6 m³/año, respectivamente, lo cual podría deberse a que, a partir del año 2002, se comenzó a incorporar estándares para el mejoramiento térmico en techos, y luego en 2007, en pisos y muros, o en su defecto, responder únicamente al perfil de usuario que habita dichas viviendas, donde las últimas serían habitadas por usuarios de menor edad, o que se encuentran fuera del hogar la mayor parte del día.

El desarrollo de la presente actualización del inventario de emisiones es una oportunidad importante para actualizar la estimación de consumo residencial de leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, por cuanto sus resultados no solo servirán para estimar las emisiones generadas, sino que también para evaluar el impacto de las políticas implementadas para mejorar la calidad del aire de ambas comunas.

3.1.1 ALCANCES METODOLÓGICOS

La metodología de estimación 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).

El parque de artefactos de combustión residencial de leña y biomasa disponibles en las comunas de Temuco y Padre Las Casas se ha incrementado aceleradamente en las últimas décadas, lamentablemente, esto no ha sido acompañado por una evolución tecnológica, la cual ha sido pasiva tanto en el aspecto tecnológico, como en la tasa de recambio natural que efectúan los usuarios. No obstante, durante los últimos años, junto con la entrada en vigor de la norma de certificación de calefactores a leña y pellet, y la implementación de los planes de descontaminación atmosférica, esta dinámica está empezando a cambiar, y ya es posible observar en el stock actual, mayor presencia de nuevas tecnologías

Por otra parte, la mayor demanda de leña, producto del crecimiento poblacional, ha generado una sobreexplotación del recurso, especialmente sobre el bosque nativo, haciendo cada vez más escasa su disponibilidad, y derivando en efectos adversos que afectan su calidad. Estas consideraciones deben verse reflejadas en la determinación de los niveles de actividad.

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 en Temuco y Padre Las Casas. 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 (Toneladas/año), y distribuida según estratos específicos.
 - 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. Análisis de estadísticas demográficas que permite expandir los resultados de la encuesta. Se consideran los siguientes elementos:
 - Distribución de población y viviendas urbanas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, estableciendo la evolución que ha tenido en los últimos años.
 - Distribución del tipo de viviendas presentes en el área de estudio.
3. 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, cocinas a leña, entre otras.

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, 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 [9], las comunas de Concepción Metropolitano, en la región del Biobío [10] y las comunas del Valle Central, en la región de O’Higgins [11], además de ser considerado en el “Manual para el Desarrollo de Inventarios” encargado por el Ministerio de Medio Ambiente [12].

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 28 y Tabla 29, 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 1, 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 28. 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 ⁸

Nueva Tecnología	2,1 ⁹	5,5 ¹⁰	8,9 ¹⁰
Calefactor a pellet	1,9 ¹¹	-	-

Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014.

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 D08I1147, 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 29. Factores de emisión de MP_{2,5}¹ para combustión residencial de leña (g MP_{2,5}/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 MP_{2,5}.
Fuente: SICAM INGENIERÍA, 2014.

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 [11] [10] [4] [9] [13].

A raíz de lo anterior, es de relevancia poder caracterizar de manera representativa el comportamiento de los usuarios de Temuco y Padre Las Casas en relación al uso de este combustible. Por este motivo, la contraparte técnica del estudio estableció como requerimiento, la aplicación de una encuesta que permita 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.

▪ DESARROLLO DE ENCUESTA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PLC.

De acuerdo a lo establecido en las bases de la Licitación, la contraparte técnica del estudio dispondría de un formato de encuesta tipo para el levantamiento de información referida al consumo de leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. No obstante, una vez realizada la primera reunión de trabajo del presente proyecto, el equipo técnico de SICAM INGENIERÍA propuso a la Contraparte técnica de la Seremi de Medio Ambiente de La Araucanía, la pertinencia de utilizar un instrumento basado en aquel que fuera utilizado por el mismo consultor en el desarrollo de los siguientes estudios: Actualización del inventario

de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2013 [4]; Elaboración del inventario de emisiones atmosféricas de la comuna de Valdivia, año base 2013 [9]; Actualización del inventario de emisiones de Concepción Metropolitano, año base 2013 [10]; Actualización inventario de emisiones zona saturada del Valle Central de la región de O'Higgins, año base 2014 [11]. Esto, debido a que este instrumento permitiría recoger información útil a los propósitos del inventario de emisiones, considerando aquellos aspectos que resultan más relevantes para conocer los niveles de actividad de la fuente "combustión residencial de leña".

Luego de una serie de revisiones con la contraparte, se definieron los ajustes necesarios para adaptar el instrumento antes señalado, a los requerimientos del presente estudio. El Anexo 2, muestra el instrumento definido junto a la contraparte.

3.2.1 Desarrollo de un Diseño de Muestreo para aplicación de la encuesta

A continuación, se presentan alcances del diseño muestral definido para la aplicación de las encuestas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, basado en antecedentes recientemente publicados del Censo de población y vivienda del año 2017 [1].

Observaciones preliminares

Para el diseño muestral, se consideró como información base, aquella presentada en los resultados Censo 2017, debido a que este proporciona información demográfica y cartográfica actualizada, lo que permite hacer una distribución espacial para ejecutar el Diseño Muestral.

Otros aspectos importantes son:

- Todo el proceso de definición de la muestra se hizo considerando a los Distritos Censales como estratos.
- El parámetro base a estimar corresponde a una media poblacional.
- La varianza utilizada para el diseño correspondió a aquella determinada para cada Distrito Censal en el marco de la encuesta aplicada en la anterior actualización del inventario de emisiones atmosféricas (2013).

El margen de error utilizado corresponde a $0,5 \text{ m}^3/\text{año}$, definido en correspondencia al parámetro o variable observada, un nivel de confianza es del 95%, y afijación proporcional al tamaño del estrato (Distrito Censal).

A continuación, en la Tabla 30, se presenta en detalle los alcances del diseño muestral, en términos del número de manzanas seleccionadas por cada distrito censal, y la cantidad de encuestas a desarrollar en cada uno de ellos.

Tabla 30. Alcances del diseño muestral

Comuna	Distrito Censal	N° Mz seleccionadas	N° encuestas
Temuco	Centro	12	24
	Estadio Municipal	7	28
	Amanecer	15	60
	Santa Elena	10	50
	Santa Rosa	20	80
	Pueblo Nuevo	20	80
	Ñielol	7	21
	Lanin	17	68
	Avenida Alemania	12	48
	Labranza	40	160
	Tromen	11	44
	San Carlos	6	36
	Raluncoyán	12	48
	Caupolicán	10	40
	Universidad	10	50
	Javiera Carrera	19	76
	Estero Coihueco	21	84
Padre Las Casas	Padre Las Casas	11	44
	Aillacara	24	72
	Collahue	9	27
	Roble Guacho	4	16
TOTAL		297	1.156

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 requerimientos establecidos en el diseño muestral, implica la ejecución de 1.156 encuestas sobre consumo de leña residencial en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, región de La Araucanía, se consideran las siguientes actividades:

Conformación de equipo operativo

Para lograr dar cumplimiento efectivo al trabajo de aplicación de encuestas, se conformó un equipo de trabajo para la coordinación y ejecución directa y específica de la encuesta, liderada por un coordinador general, responsable de los ajustes de diseño de la encuesta y el plan de muestreo, que contará, además, con el apoyo de profesionales con vasta experiencia en las labores de supervisión en terreno, generación de mapas y rutas de acercamiento.

Reclutamiento de encuestadores

Para la función de encuestadores, se reclutaron estudiantes universitarios de la ciudad de Temuco, con experiencia en este tipo de trabajos, y que para su reclutamiento se ha establecido el siguiente perfil:

- Estudiantes que han trabajado previamente en aplicación de encuestas o como monitores en terreno.
- Estudiantes universitarios de al menos 4to. Año, que conozcan el área de estudio.
- Estudiantes con competencias blandas observables, responsables, con habilidades comunicacionales, y manejo de situaciones complicadas y resolución de imprevistos.

Se seleccionarán 12 estudiantes, los cuales serán convocados a una reunión inicial de coordinación, donde se les explicará, dentro un marco general, cuál será el trabajo a realizar, las condiciones y los resultados esperados de su trabajo.

Capacitación de encuestadores y equipo de trabajo

Una vez que se cuente con la encuesta definitiva (instrumento), y el diseño muestral para su aplicación en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, la configuración del equipo y el reclutamiento de los encuestadores, se procederá a realizar una completa capacitación que considere a todo el equipo (coordinadores de terreno, encuestadores, digitadores, entre otros), donde se resaltarán aspectos técnicos básicos del proyecto, la relevancia de la información a levantar, así como aspectos logísticos referentes a los sectores de intervención, mecanismos de comunicación con el equipo y los entrevistados, así como el material de apoyo que se dispondrá para el éxito de la actividad.

La capacitación abordará los siguientes aspectos:

Contextualización: La idea es que los encuestadores comprendan la gestión que está realizando el MMA en materia de descontaminación, y asociado a ello, la importancia del estudio en cuestión. Que se familiaricen con otras líneas que está desarrollando la Seremi, para enfrentar de manera óptima posibles preguntas de la comunidad.

Diseño muestral: Se buscará que los encuestadores comprendan los aspectos fundamentales del diseño muestral, y las variables de este que inciden en la calidad de los resultados a obtener. Se realizará una pequeña descripción de las variables a tener en cuenta a la hora de aplicar una Encuesta de tipo Residencial.

Estrategia de intervención: Se intentará que los encuestadores aprendan a lo menos un diálogo de contacto para abordar al entrevistado, y manejen estrategias

de persuasión “estandarizadas” para lograr aplicar el instrumento. Al mismo tiempo, que puedan conocer el plan de contingencias para abordar situaciones tales como “ausencia de moradores en la vivienda” y/o “negación a responder”, entre otras.

Aspectos logísticos: Se analizará punto por punto la encuesta, y se responderán dudas respecto a esta. Se presentarán aspectos propios del trabajo en terreno, y los mecanismos de comunicación entre el equipo (coordinador de terreno, encuestadores, encargado de validaciones, digitadores), para establecer rutas, horarios de trabajo y traspaso de material, entre otros. Se mostrará material de cartografía, mapas y rutas para despliegue sincronizado de los equipos de trabajo, y disminuir distancias entre viviendas a encuestar y minimizar riesgos.

De igual manera, se tocaron temas administrativos asociados al trabajo, tales como:

- Se les dará a conocer fechas inicio y término, las condiciones del trabajo, el monto del pago por el trabajo realizado, la forma de pago y las condiciones a las que está sujeto el pago.
- Se acordará un compromiso de confidencialidad y honestidad por el trabajo realizado.
- Se tomará fotografía para elaboración de la tarjeta de identificación.

Desarrollo e impresión de material de terreno

Este trabajo consistirá básicamente en la impresión y foliado de encuestas. Desarrollo e impresión de mapas ajustados a los sectores donde se aplicarán las encuestas (según resultados del diseño muestral). A la fecha los mapas se encuentran disponibles, elaborados según mejor información disponible, mediante Google Earth y Google Maps (Figura 2-A).

También se ha desarrollado un Manual del Encuestador, que será impreso y entregado a cada uno de los encuestadores el día de la capacitación. En este se considerará información de contacto (teléfono, e-mail) del coordinador, así como información técnica para la correcta ejecución de la encuesta.

Aplicación de encuestas

Una vez que se realice la capacitación, se dará inicio a la aplicación de encuestas en terreno. Su ejecución será desarrollada íntegramente por SICAM INGENIERÍA, empresa a cargo de la actualización del inventario, entre los meses de agosto y septiembre de 2018.

La siguiente imagen (Figura 2-B) corresponde a un ejemplo de la carpeta tipo que será entregada a los encuestadores para el trabajo en terreno, con encuestas, mapas de la manzana donde se debe aplicar el instrumento, manual del encuestador, y una credencial de identificación del encuestador.



Figura 17. Carpeta con materiales de terreno para aplicación de encuestas.

Por otra parte, de manera paralela a la etapa de aplicación de la encuesta se configurará un archivo para la digitación de la misma, que se iniciará en el mismo mes de agosto, luego que el supervisor vise cada una de las encuestas aplicadas para confirmar su validez. Con todas las encuestas aplicadas, y los datos ya tabulados, se podrá iniciar el proceso de análisis.

3.2.3 Resultados 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 residencial en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión”, los que posteriormente son utilizados para la estimación de emisiones atmosféricas asociados a la fuente combustión residencial de leña. Se adjunta el Anexo 7, donde se puede consultar en extenso todas las variables consideradas en el desarrollo la encuesta, el diseño muestral, aspectos operativos de su aplicación en terreno y respuesta a todas las preguntas formuladas, junto a un archivo físico con todas las encuestas aplicadas.

Los resultados presentados corresponden al análisis de 1.018 encuestas procesadas como válidas, de un total de 1.156 consideradas en el diseño muestral, logrando sobre un 88% de efectividad en la etapa de aplicación del instrumento. La Tabla 31 muestra el total de encuestas aplicadas, diferenciadas según comuna.

Tabla 31. N° de encuestas válidas respecto a aquellas aplicadas según diseño muestral

Alcance	TOTAL	Temuco	Padre Las Casas
Diseño muestral	1.156	997	159
Encuestas aplicadas	1.153	995	158

Encuestas válidas	1.018	867	151
-------------------	-------	-----	-----

¹ el diseño muestral solo consideró la aplicación de encuestas en viviendas "tipo casa".

² se consideró encuestas aplicadas todas aquellas que lograron identificar la vivienda, y establecer contacto con el/la dueño de casa para presentar los objetivos de la visita, contemplando hasta un máximo de 3 visitas.

³ se consideró encuestas válidas solo aquellas donde el dueño(a) de casa accedió a responder la encuesta.

Fuente: elaboración propia.

En primera instancia se presentan los resultados obtenidos para la principal variable del estudio, consumo promedio de leña, obtenida para aquellas viviendas que, a partir de la aplicación del mismo instrumento, declaran consumirla (%). Esto, a nivel de comuna, y desagregado a nivel de distrito censal.

Tabla 32. Penetración de uso de leña en viviendas de Temuco y PLC (%), y consumo promedio ($m^3/año$), en viviendas que declaran utilizar, según distrito censal.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	Viviendas que consumen leña (%)	Consumo promedio de leña ($m^3/año$)
TEMUCO	Centro	47,0%	7,0
	Estadio Municipal	62,5%	13,2
	Amanecer	91,1%	8,4
	Santa Elena	93,3%	7,7
	Santa Rosa	95,9%	8,2
	Pueblo Nuevo	86,4%	7,8
	Ñielol	85,7%	10,2
	Lanin	86,8%	6,9
	Avenida Alemania	79,5%	7,6
	Labranza	74,0%	6,6
	Tromen	75,0%	7,2
	San Carlos	97,2%	7,9
	Raluncoyán	91,7%	6,7
	Caupolicán	92,3%	8,6
	Universidad	71,4%	7,7
	Javiera Carrera	57,8%	8,2
	Estero Coihueco	87,7%	10,5
	SUB TOTAL TEMUCO	82,8%	7,9
PADRE LAS CASAS	Padre Las Casas	79,5%	8,4
	Aillacara	75,7%	6,3
	Collahue	46,2%	5,1
	Roble Guacho	87,5%	7,3
	SUB TOTAL PLC	72,8%	6,9

Fuente: elaboración propia.

De igual manera, otro de los principales resultados a presentar 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. Se puede observar que, para ambas comunas, la mayor cantidad de artefactos corresponde a calefactores de combustión lenta con templador, seguido de cocinas a leña, con 48,6% y 17,9%, para la comuna de Temuco, y 43,2% y 21,6%, para las comunas de Padre Las Casas, respectivamente. En la Tabla 33 se muestran la distribución del tipo de artefactos utilizados en cada comuna.

Tabla 33. Distribución (%) del stock de artefactos a leña en las comunas de Temuco y PLC.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	Calefactor Leña Certif.	Calefactor Leña C/T	Calefactor Leña S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	Calefactor Pellet
TEMUCO	Centro	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Estadio Municipal	0,0%	81,3%	6,3%	6,3%	0,0%	0,0%	6,3%
	Amanecer	4,4%	33,3%	15,6%	37,8%	4,4%	4,4%	0,0%
	Santa Elena	8,3%	27,1%	16,7%	37,5%	8,3%	2,1%	0,0%
	Santa Rosa	4,2%	55,6%	20,8%	15,3%	2,8%	1,4%	0,0%
	Pueblo Nuevo	6,9%	41,4%	24,1%	24,1%	1,7%	1,7%	0,0%
	Ñielol	0,0%	66,7%	19,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%
	Lanin	2,0%	35,3%	25,5%	31,4%	2,0%	0,0%	3,9%
	Av. Alemania	16,7%	52,8%	16,7%	8,3%	0,0%	0,0%	5,6%
	Labranza	3,4%	61,0%	7,6%	15,3%	3,4%	1,7%	7,6%
	Tromen	16,7%	52,8%	0,0%	8,3%	2,8%	5,6%	13,9%
	San Carlos	30,6%	58,3%	8,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,8%
	Raluncoyán	2,1%	51,1%	8,5%	29,8%	4,3%	0,0%	4,3%
	Caupolicán	11,1%	37,0%	25,9%	22,2%	3,7%	0,0%	0,0%
	Universidad	5,4%	48,6%	24,3%	2,7%	0,0%	0,0%	18,9%
	Javiera Carrera	15,5%	32,8%	13,8%	5,2%	0,0%	0,0%	32,8%
	Estero Coihueco	2,9%	48,6%	20,0%	25,7%	1,4%	0,0%	1,4%
	SUB TOTAL TEMUCO	7,3%	48,6%	16,3%	17,9%	2,4%	1,1%	6,5
PADRE LAS CASAS	Padre Las Casas	2,5%	37,5%	17,5%	27,5%	2,5%	2,5%	10,0%
	Aillacara	3,3%	53,3%	13,3%	18,3%	0,0%	0,0%	11,7%
	Collahue	0,0%	26,1%	8,7%	17,4%	0,0%	0,0%	47,8%
	Roble Guacho	0,0%	43,8%	25,0%	25,0%	6,3%	0,0%	0,0%
SUB TOTAL PLC		2,2%	43,2%	15,1%	21,6%	1,4%	0,7%	15,8%

Fuente: elaboración propia.

Otro antecedente muy importante recabado a través de la encuesta 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 F.E. a utilizar en la estimación de emisiones.

Tabla 34. Manipulación del control de ingreso de aire primario de combustión.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	ABIERTO	CERRADO
TEMUCO	Centro	66,7%	33,3%
	Estadio Municipal	100,0%	0,0%
	Amanecer	62,2%	37,8%
	Santa Elena	47,3%	52,7%
	Santa Rosa	64,8%	35,2%
	Pueblo Nuevo	70,5%	29,5%
	Ñielol	66,7%	33,3%
	Lanin	82,4%	17,6%
	Av. Alemania	70,6%	29,4%
	Labranza	62,0%	38,0%
	Tromen	81,9%	18,1%
	San Carlos	67,6%	32,4%
	Raluncoyán	49,1%	50,9%
	Caupolicán	38,5%	61,5%
	Universidad	79,0%	21,0%
	Javiera Carrera	80,4%	19,6%
	Estero Coihueco	79,6%	20,4%
	SUB TOTAL TEMUCO	67,4%	32,6%
PADRE LAS CASAS	Padre Las Casas	69,9%	30,1%
	Aillacara	73,5%	26,5%
	Collahue	100,0%	0,0%
	Roble Guacho	58,1%	41,9%
	SUB TOTAL PLC	73,8%	26,2%

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 residencial en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión” se obtuvieron datos para una muestra estadísticamente representativa, los cuales luego son extrapolados al universo de la población que constituye el área de estudio. En esta oportunidad, a diferencia de lo que ocurrió para las anteriores actualizaciones del inventario de emisiones, se dispuso de antecedentes actualizados para la construcción del marco muestral, correspondientes al Censo de población y vivienda del año 2017.

En la Tabla 35 se muestra la cantidad de viviendas tipo casa presentes en cada uno de los distritos censales del área urbana de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, al año base 2017.

Tabla 35. Cantidad de viviendas tipo casa según distrito censal de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2017.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	CÓDIGO CENSAL	N° VIVIENDAS TIPO CASA
TEMUCO	Centro	910101	1.997
	Estadio Municipal	910102	2.364
	Amanecer	910103	4.892
	Santa Elena	910104	4.253
	Santa Rosa	910105	6.768
	Pueblo Nuevo	910106	6.338
	Ñielol	910107	1.643
	Lanin	910108	5.557
	Avenida Alemania	910109	3.965
	Labranza	910110	13.544
	Tromen	910111	3.716
	San Carlos	910112	3.273
	Raluncoyán	910114	3.912
	Caupolicán	910116	3.260
	Universidad	910117	4.282
	Javiera Carrera	910118	6.442
	Estero Coihueco	910119	6.994
	SUB TOTAL TEMUCO	9101	83.200
PLC	Padre Las Casas	911204	3.756
	Aillacara	911205	6.929
	Collahue	911206	2.350
	Roble Guacho	911207	1.247
	SUB TOTAL PLC	9112	14.282
TOTAL, TEMUCO Y PLC		--	97.482

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 de caracterización residencial en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión”, se determinaron los niveles de actividad a utilizar en la estimación de emisiones. En la Tabla 37 se muestra el consumo de leña para cada distrito censal del área urbana correspondiente a las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 36. Consumo de leña según Distrito Censal en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	CÓDIGO CENSAL	CONSUMO LEÑA (M ³ st/AÑO)
TEMUCO	Centro	910101	6.990
	Estadio Municipal	910102	19.503
	Amanecer	910103	37.307
	Santa Elena	910104	30.482
	Santa Rosa	910105	53.346
	Pueblo Nuevo	910106	42.726
	Ñielol	910107	14.318
	Lanin	910108	33.249
	Avenida Alemania	910109	23.814
	Labranza	910110	66.291
	Tromen	910111	20.131
	San Carlos	910112	25.275
	Raluncoyán	910114	24.021
	Caupolicán	910116	25.914
	Universidad	910117	23.659
	Javiera Carrera	910118	30.479
	Estero Coihueco	910119	64.278
	SUB TOTAL TEMUCO	9101	541.783
PLC	Padre Las Casas	911204	24.978
	Aillacara	911205	33.277
	Collahue	911206	5.557
	Roble Guacho	911207	7.953
	SUB TOTAL PLC	9112	71.764
TOTAL, TEMUCO Y PLC		--	613.547

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

En la Tabla 37 se muestra el stock de artefactos actualmente en uso en cada uno de los distritos censales del área urbana correspondiente a las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Se observa que tanto en la comuna de Temuco, como en la comuna de Padre Las Casas, por lejos, la mayor cantidad de artefactos en uso corresponde a la tecnología *"calefactores a leña con templador"*, seguido de *"cocinas a leña"* y luego *"calefactores a leña sin templador"*. Por otra parte, el distrito censal *"Labranza"* es el que cuenta con el mayor stock de artefactos, con más de 11.000 unidades estimadas.

Tabla 37. Stock de artefactos en uso en distritos censales de las comunas de Temuco y PLC.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	Calefactor Leña Certif.	Calefactor Leña C/T	Calefactor Leña S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	Calefactor Pellet
TEMUCO	Centro	-	1.331	666	-	-	-	-
	Estadio Municipal	-	1.281	99	99	-	-	99
	Amanecer	217	1.631	761	1.848	217	217	-
	Santa Elena	378	1.229	756	1.701	378	95	-
	Santa Rosa	274	3.658	1.372	1.006	183	91	-
	Pueblo Nuevo	384	2.305	1.344	1.344	96	96	-
	Ñielol	-	1.095	313	-	-	-	235
	Lanin	101	1.819	1.313	1.617	101	-	202
	Av. Alemania	595	1.883	595	297	-	-	198
	Labranza	374	6.725	841	1.681	374	187	841
	Tromen	557	1.765	-	279	93	186	465
	San Carlos	1.000	1.909	273	-	-	-	91
	Raluncoyán	82	1.956	326	1.141	163	-	163
	Caupolicán	376	1.254	878	752	125	-	-
	Universidad	204	1.835	918	102	-	-	714
	Javiera Carrera	906	1.912	805	302	-	-	1.912
	Estero Coihueco	192	3.257	1.341	1.725	96	-	96
SUB TOTAL TEMUCO		5.640	36.846	12.600	13.894	1.826	872	5.015
PADRE LAS CASAS	Padre Las Casas	94	1.409	657	1.033	94	94	376
	Aillacara	198	3.168	792	1.089	-	-	693
	Collahue	-	542	181	362	-	-	994
	Roble Guacho	-	546	312	312	78	-	-
SUB TOTAL PLC		292	5.664	1.942	2.795	172	94	2.063

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de emisiones, además de los antecedentes mostrados previamente, se utilizaron los F.E. detallados en el Anexo I, y la información resultante de la encuesta, mostrada previamente. Debido a que los consumos son entregados en m³ de leña y los F.E. tienen la unidad de gr de contaminante por kg de combustible, fue necesaria la transformación de los niveles de consumo de m³ a kg., mediante metodología similar a la utilizada en la anterior actualización del inventario, desarrollada por el mismo consultor.

Tabla 38. Densidad de leña (Kg/m³ estéreo) para leña de especies 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 Hualle	368	426	529
Densidad Eucalipto	411	477	592

Fuente: INFOR, 2005.

Por otra parte, tal como se argumentó al inicio de este capítulo, otro antecedente que resulta fundamental para que la estimación de emisiones atmosféricas sea representativa de lo que realmente se genera y emite en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, corresponde al nivel de humedad de la leña utilizada en los diferentes tipos de artefactos utilizados. En este

sentido, junto a la contraparte técnica del estudio se estableció la pertinencia de proyectar los niveles de humedad identificados durante la actualización del inventario de emisiones para el año base 2013, y su horizonte de evaluación.

Tabla 39. Distribución del contenido de humedad de la leña utilizada en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año 2017

VARIABLE	Leña seca (Hd: 25% b.s.)	Leña Semi húmeda (Hd: 45% b.s.)	Leña húmeda (Hd: 80% b.s.)
Distribución	41%	39%	20%

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Cálculo de Emisiones

La Tabla 40 muestra la estimación de emisiones atmosféricas obtenidas para la fuente combustión residencial de leña de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, para los diversos contaminantes considerados en el estudio.

Tabla 40. Estimación de emisiones de MP10, MP2,5 y gases de combustión (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 2017.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
TEMUCO	Centro	40,7	37,9	726,8	9,7	0,1	279,4	25,5
	Estadio Municipal	55,4	51,6	1.353,0	12,4	0,3	462,7	52,2
	Amanecer	234,6	218,4	5.531,1	42,7	1,5	3.675,8	81,5
	Santa Elena	222,8	207,4	5.126,2	40,5	1,3	3.553,3	69,1
	Santa Rosa	313,7	292,0	6.302,3	65,9	1,4	3.345,8	160,6
	Pueblo Nuevo	234,8	218,6	5.278,2	49,5	1,3	2.903,6	114,1
	Ñielol	80,3	74,7	1.404,7	18,1	0,2	574,0	51,5
	Lanin	157,1	146,2	3.991,1	33,8	1,1	2.123,4	77,4
	Avenida Alemania	116,1	108,1	2.344,8	26,1	0,5	1.088,3	74,6
	Labranza	389,9	363,0	7.708,9	74,5	1,8	4.486,6	194,3
	Tromen	84,0	78,2	1.687,1	16,1	0,5	878,5	52,4
	San Carlos	111,6	103,9	2.050,9	24,6	0,4	838,7	83,7
	Raluncoyán	169,3	157,6	3.679,7	30,1	0,8	2.492,9	64,8
	Caupolicán	203,8	189,7	4.041,9	43,1	0,9	2.488,4	81,6
	Universidad	109,6	102,1	2.248,2	26,6	0,5	843,9	76,8
	Javiera Carrera	128,0	119,2	2.756,4	31,5	0,7	1.159,0	91,5
	Estero Coihueco	306,4	285,2	7.296,6	64,6	1,9	3.854,8	163,3
	SUB TOTAL TEMUCO	2.958,2	2.754,1	63.527,9	609,8	15,2	35.049,2	1.514,9
PLC	Padre Las Casas	142,3	132,5	3.272,4	28,4	0,9	1.961,2	60,9
	Aillacara	169,0	157,3	3.712,4	35,7	0,9	2.002,8	93,5
	Collahue	17,5	16,3	505,8	4,2	0,2	231,2	11,6
	Roble Guacho	54,3	50,6	1.139,3	11,2	0,3	675,3	22,3
	SUB TOTAL PLC	383,1	356,7	8.629,8	79,4	2,2	4.870,5	188,2
TOTAL, TEMUCO Y PLC		3.341,3	3.110,7	72.157,7	689,2	17,4	39.919,7	1.703,1

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, se puede apreciar que las mayores emisiones son aportadas por el distrito Labranza en la comuna de Temuco, mientras que en Padre Las Casas por el distrito Aillacara, tal como se presenta en la Figura 18.

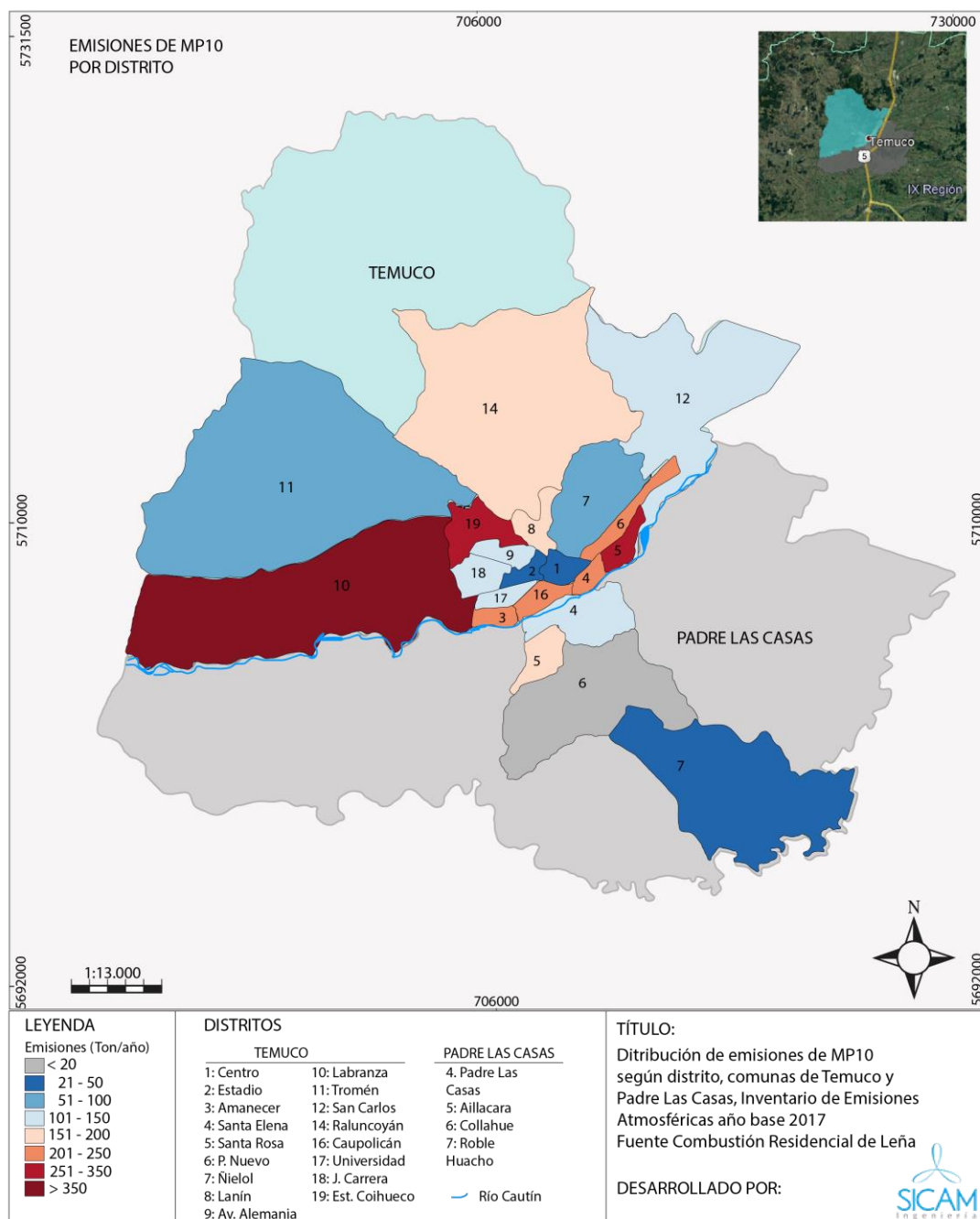


Figura 18. Distribución de emisiones de combustión residencial de leña por distrito

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 41 muestra la estimación de emisiones atmosféricas obtenidas según los diferentes tipos de artefactos de combustión residencial de leña usados en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 41. Emisiones estimadas para la fuente combustión residencial de leña (Ton/año), según tipología de artefactos en uso en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 2017.

Tipo de Artefacto	MP10	MP2,5	CO	NOX	SOX	COVs	HAPs
Calefactor certificado	107,2	99,8	2.527,7	27,2	0,6	861,6	124,9
Combustión Lenta C/T	1.553,2	1.446,0	26.547,0	304,1	4,3	11.138,2	1.091,0
Combustión Lenta S/T	742,2	691,0	14.828,6	223,2	2,8	6.534,2	414,8
Cocina a Leña	759,8	707,4	25.728,2	101,1	8,0	18.253,7	59,4
Salamandra	123,4	114,9	1.835,3	22,5	0,9	1.161,0	8,0
Chimenea y otros	47,0	43,8	646,4	2,9	0,4	565,6	3,9
Calefactor a Pellet	8,5	7,9	44,5	8,3	0,4	117,9	1,1
TOTAL	3.341,3	3.110,7	72.157,7	689,2	17,4	38.632,3	1.703,1

Fuente: elaboración propia.

De los valores presentados, destacan las estimaciones realizadas para MP10 y MP2,5, correspondientes a los contaminantes que afectan de manera más negativa la calidad del aire en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, y que hoy día concentran la atención de diversos organismos e instituciones que se relacionan con el control de la contaminación, principalmente desde el punto de vista ambiental y sanitario, debido a los efectos negativos sobre la población. La Figura siguiente permite observar de manera más gráfica el aporte de los diferentes tipos de artefactos a la generación de cada contaminante.

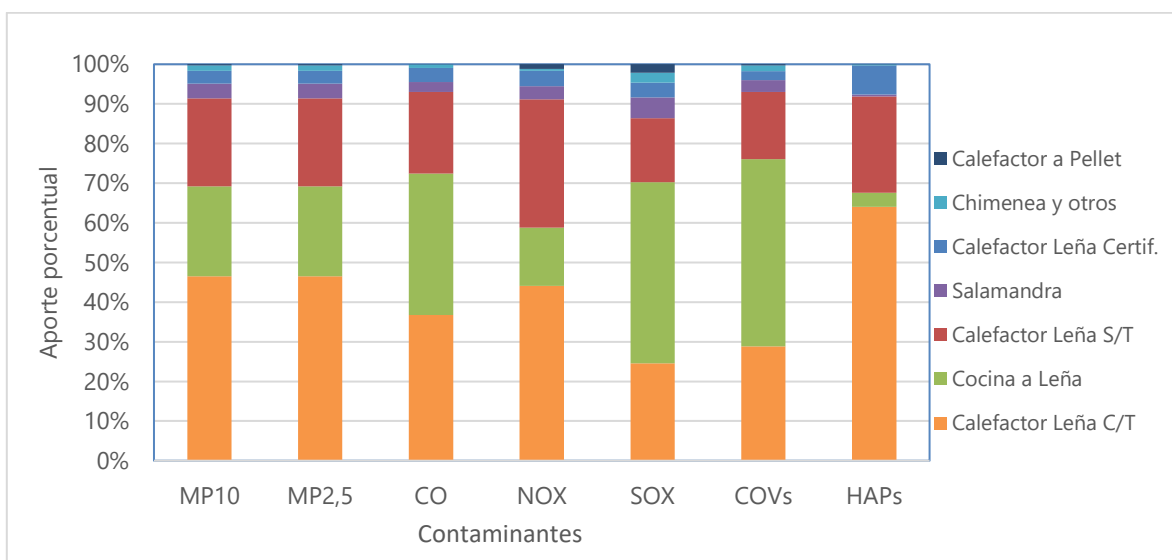


Figura 19. Aporte porcentual de cada tipo de artefacto para los distintos contaminantes.

Fuente: Elaboración propia

En las Tabla 42 y Tabla 43 se muestra la estimación de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, para el contaminante MP10, y MP2,5. La información se presenta desagregado según el tipo de artefacto en la cual son generadas, y en ella se puede advertir que, tanto a nivel comunal, como a nivel de distrito censal, la mayor cantidad de emisiones se genera a partir del uso de calefactores a leña con templador (tipo combustión lenta), no obstante, de igual manera resulta interesante ver lo que ocurre en distritos como Amanecer y Santa Elena, entre otros, donde las emisiones provienen principalmente del uso de cocinas a leña.

Tabla 42. Estimación de emisiones de MP10 (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, según tipo de artefacto, 2017.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	Comb. Lenta C/T	Comb. Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	Calef. certificado	Estufa a Pellet	TOTAL
TEMUCO	Centro	24,0	16,7	-	-	-	-	-	40,7
	Estadio Municipal	46,7	4,0	4,7	-	-	-	-	55,4
	Amanecer	68,0	44,8	92,4	14,3	11,2	4,0	-	234,6
	Santa Elena	53,9	48,5	88,1	21,9	4,3	6,1	-	222,8
	Santa Rosa	156,5	82,2	51,8	12,8	5,0	5,4	-	313,7
	Pueblo Nuevo	86,2	69,1	61,0	6,3	5,0	7,1	0,1	234,8
	Ñielol	57,3	22,8	-	-	-	-	0,1	80,3
	Lanin	49,1	46,1	54,2	5,8	-	1,6	0,1	157,1
	Avenida Alemania	64,7	28,1	12,4	-	-	10,2	0,8	116,1
	Labranza	240,0	42,4	71,9	21,0	8,2	5,9	0,6	389,9
	Tromen	50,0	-	9,8	5,6	8,7	9,4	0,4	84,0
	San Carlos	77,0	15,3	-	-	-	19,2	0,1	111,6
	Raluncoyán	82,1	19,9	56,6	9,2	-	1,3	0,2	169,3
	Caupolicán	68,8	71,5	48,3	8,3	-	7,0	-	203,8
	Universidad	60,6	40,1	4,1	-	-	3,8	1,0	109,6
	Javiera Carrera	61,9	34,2	12,1	-	-	17,0	2,8	128,0
	Estero Coihueco	133,7	72,6	87,3	8,0	-	4,5	0,1	306,4
	SUB TOTAL TCO	1.380,7	658,4	654,7	113,1	42,3	102,5	6,5	2.958,2
PLC	Padre Las Casas	51,2	32,9	45,5	6,0	4,7	1,7	0,4	142,3
	Aillacara	93,6	31,8	39,2	-	-	3,0	1,3	169,0
	Collahue	7,7	2,8	6,7	-	-	-	0,3	17,5
	Roble Guacho	20,0	16,3	13,7	4,3	-	-	-	54,3
	SUB TOTAL PLC	172,5	83,8	105,1	10,3	4,7	4,7	2,0	383,1
TOTAL, TEMUCO Y PLC		1.553,2	742,2	759,8	123,4	47,0	107,2	8,5	3.341,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 43. Estimación de emisiones de MP2,5 (Ton/año) para los distritos censales de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, según tipo de artefacto, 2017.

COMUNA	DISTRITO CENSAL	Comb. Lenta C/T	Comb. Lenta S/T	Cocina a Leña	Salamandra	Chimenea y otros	Calef. certificado	Estufa a Pellet	TOTAL
TEMUCO	Centro	22,3	15,5	-	-	-	-	-	37,9
	Estadio Municipal	43,5	3,7	4,4	-	-	-	-	51,6
	Amanecer	63,3	41,7	86,0	13,3	10,4	3,7	-	218,4
	Santa Elena	50,2	45,2	82,0	20,4	4,0	5,7	-	207,4
	Santa Rosa	145,7	76,6	48,2	11,9	4,6	5,0	-	292,0
	Pueblo Nuevo	80,3	64,3	56,8	5,9	4,6	6,6	0,1	218,6
	Ñielol	53,4	21,2	-	-	-	-	0,1	74,7
	Lanin	45,7	42,9	50,5	5,4	-	1,5	0,1	146,2
	Avenida Alemania	60,3	26,1	11,5	-	-	9,5	0,7	108,1
	Labranza	223,4	39,5	66,9	19,5	7,6	5,5	0,6	363,0
	Tromen	46,6	-	9,1	5,2	8,1	8,8	0,4	78,2
	San Carlos	71,7	14,2	-	-	-	17,9	0,1	103,9
	Raluncoyán	76,4	18,6	52,7	8,6	-	1,2	0,2	157,6
	Caupolicán	64,0	66,6	45,0	7,7	-	6,5	-	189,7
	Universidad	56,4	37,3	3,9	-	-	3,5	0,9	102,1
	Javiera Carrera	57,6	31,9	11,2	-	-	15,8	2,6	119,2
	Estero Coihueco	124,5	67,6	81,3	7,5	-	4,2	0,1	285,2
	SUB TOTAL TCO	1.285,4	613,0	609,6	105,3	39,4	95,4	6,0	2.754,1
PLC	Padre Las Casas	47,6	30,6	42,3	5,6	4,3	1,6	0,4	132,5
	Aillacara	87,2	29,6	36,5	-	-	2,8	1,2	157,3
	Collahue	7,1	2,6	6,3	-	-	-	0,2	16,3
	Roble Guacho	18,7	15,2	12,7	4,0	-	-	-	50,6
	SUB TOTAL PLC	160,6	78,0	97,9	9,5	4,3	4,4	1,9	356,7
TOTAL, TEMUCO Y PLC		1.446,0	691,0	707,4	114,9	43,8	99,8	7,9	3.110,7

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 44 presenta la tasa de emisión de MP10 por vivienda, según distrito censal para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

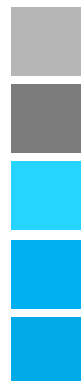
Tabla 44. Tasa de emisión de MP10 por vivienda según distrito censal año base 2017

COMUNA	DISTRITO CENSAL	MP10	Emisiones por Vivienda (Kg MP10/viv.- año)
TEMUCO	Centro	40,7	20,4
	Estadio	55,4	23,4
	Amanecer	234,6	48,0
	Santa Elena	222,8	52,4
	Santa Rosa	313,7	46,4
	Pueblo Nuevo	234,8	37,0
	Ñielol	80,3	48,9
	Lanín	157,1	28,3
	Av. Alemania	116,1	29,3
	Labranza	389,9	28,8
	Tromén	84,0	22,6

	San Carlos	111,6	34,1
	Raluncoyán	169,3	43,3
	Caupolicán	203,8	62,5
	Universidad	109,6	25,6
	Javiera Carrera	128,0	19,9
	Coihueco	306,4	43,8
	SUB TOTAL TEMUCO	2.958,2	35,6
PLC	Padre Las Casas	142,3	37,9
	Aillacara	169,0	28,3
	Collahue	17,5	7,4
	Roble Guacho	54,3	43,5
	SUB TOTAL PLC	383,1	28,7
TOTAL, TEMUCO Y PLC		3.341,3	34,6

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los mayores niveles de emisión por vivienda se generan en el distrito Caupolicán (62,5 kg MP10/viv/año) y Santa Elena (52,4 kg MP10/viv/año) en la comuna de Temuco, tal como se presenta en la Figura 20.



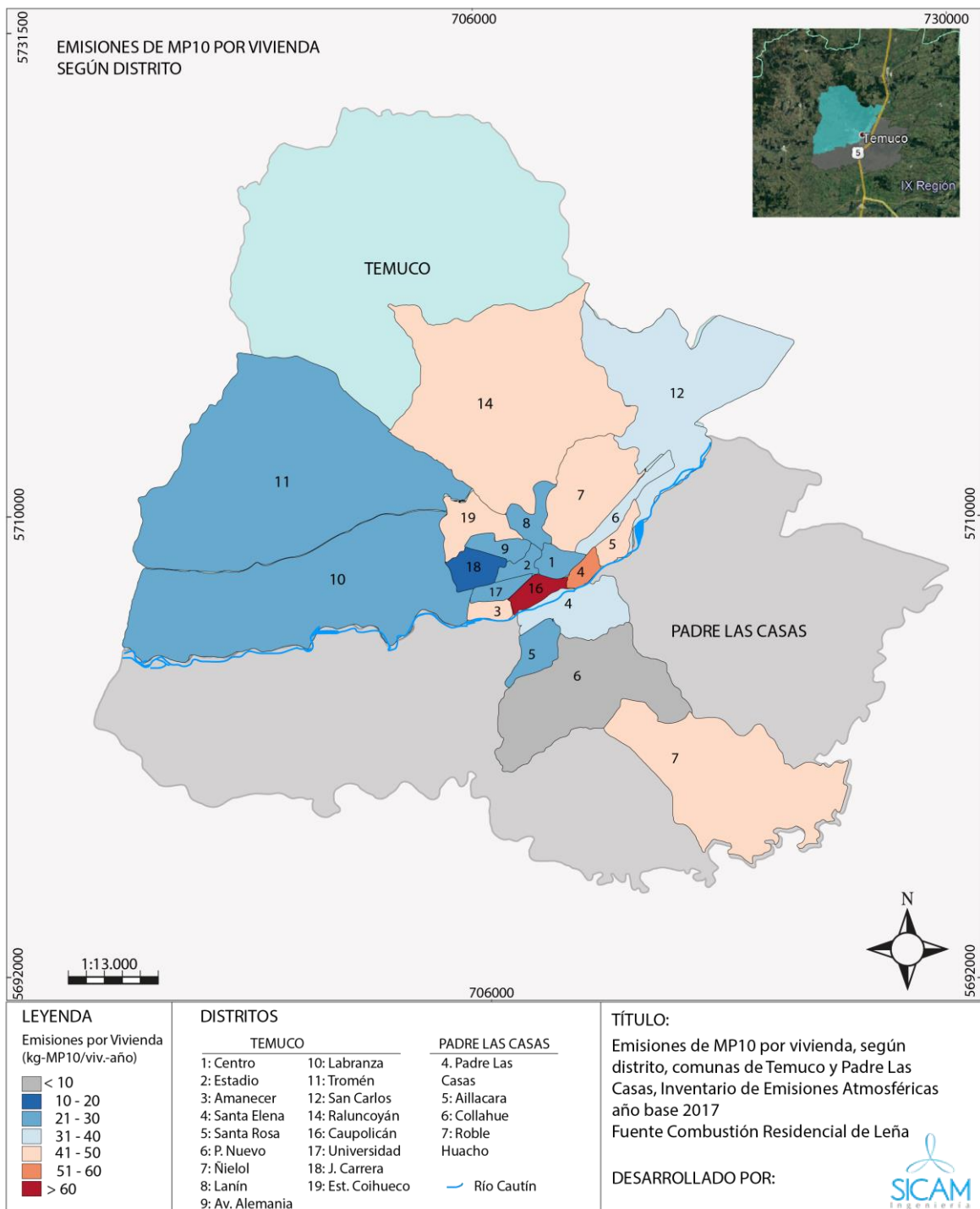


Figura 20. Tasa de emisión de MP10 por vivienda según distrito

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 45 se muestra la distribución de las emisiones estimadas para cada contaminante, según la calidad de la leña utilizada y el modo de operación de los artefactos, entendiendo para esto último, que una buena operación corresponde a una regulación de ingreso de aire primario óptima, y una mala operación, corresponde a una regulación deficiente del ingreso de aire primario. Los datos se presentan de manera agregada para ambas comunas, ya que la distribución de calidad de leña se asignó de manera uniforme para toda el área de estudio.

Tabla 45. Estimación de Emisiones atmosféricas según calidad de leña utilizada y modo de operación de los artefactos presentes en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017 (Ton/año).

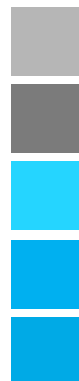
Contaminante	Leña seca (buena operación)	Leña húmeda (buena operación)	Leña seca-húmeda (mala operación)	TOTAL
MP10	341,7	1.085,6	1.914,0	3.341,3
MP2,5	318,1	1.010,7	1.782,0	3.110,8
CO	10.082,2	27.195,5	34.880,0	72.157,7
NOx	128,2	194,6	329,5	652,3
SOx	6,4	5,0	6,0	17,4
COVs	2.786,3	12.639,9	24.493,4	39.919,7
HAPs	27,4	1.006,7	669,1	1.703,1

Fuente: elaboración propia.

Del análisis de resultados presentados en la Tabla anterior, se destaca, que, prácticamente para todos los contaminantes estimados, la mayor fracción de ellos se genera al utilizar u operar de manera incorrecta los equipos de combustión. En efecto, se tiene que del total de emisiones de MP10 y MP2,5, aproximadamente el 10,2% se genera por la combustión de leña seca en un proceso de buena operación del calefactor, el 32,5% se genera por la combustión de leña húmeda, aunque también en un proceso de buena operación, y el 57,3% se obtiene de la combustión de una combinación de leña seca y húmeda, pero mediante un proceso de mala operación. De esta manera, resulta evidente la trascendencia que tiene este factor en la generación de este tipo de emisiones contaminantes.

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 [14]. Por otra parte, se les considera demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales [15]. 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 46.

Tabla 46. Clasificación de las fuentes de Estacionarias de Área

Fuente	Categoría	Subcategoría	DICTUC 2005	CENMA 2009	SICAM 2013	SICAM 2017
Fuentes residenciales	Combustión externa	Gas licuado (GLP)	✓	✓	✓	✓
		Gas ciudad (GC)	-	-	-	N/A
		Gas natural (GN)	-	-	-	N/A
		Kerosene	✓	✓	✓	✓
		Leña	✓	✓	✓	✓
	Evaporativas Residenciales	Solventes uso doméstico	-	✓	✓	✓
		Pintura arquitectónica	-	✓	✓	✓
		Emisiones Residenciales de NH ₃	-	✓	✓	✓
		Fugas Residenciales de GLP	-	✓	✓	✓
Fuentes comerciales	Evaporativas Comerciales	Distribución de combustibles	-	✓	✓	✓
		Lavasecos	-	✓	✓	✓
		Pintura industrial (vehículo)	-	✓	✓	✓
		Aplicación de asfalto	-	-	✓	✓
		Fugas comerciales de GLP	-	✓	✓	✓
	Restaurantes y comida rápida	Restaurantes	-	-	✓	✓
		Asadurías	-	-	✓	✓
Quemas	Quemas e Incendios	Quemas agrícolas	-	✓	✓	✓
		Incendios forestales	-	✓	✓	✓
		Incendio de vehículos	-	✓	-	✓
		Consumo de cigarrillos	-	✓	✓	✓
		Incendios urbanos	-	✓	✓	✓
		Quema abierta de basura	-	-	-	-
		Emis. desde vertederos	-	✓	✓	✓

Otras fuentes de Área	Disposición de residuos	Aguas servidas (PTAS)	-	✓	✓	✓
	Emis. Biogénicas	Emisiones biogénicas	-	-	✓	✓
	Actividades agropecuarias	Aplicación de fertilizantes	-	-	✓	✓
		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 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 [5].

$$E = NA \times FE \times (1 - ER/100)$$

Ecuación 4

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 46, las categorías de fuentes residenciales de área abordan 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 3 del 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.

De acuerdo a los antecedentes disponibles para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, se observa que los combustibles disponibles para estos efectos son el Gas Licuado Petróleo (GLP), el Kerosene (parafina) y la leña.

No existe en las comunas de Temuco y Padre Las Casas disponibilidad de gas natural ni gas de ciudad para uso residencial. De esta manera, los combustibles que se estudiarán en esta sección corresponden a gas licuado y kerosene.

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 5](#).

$$E = FExNA$$

Ecuación 5

Donde:

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

El nivel de actividad está dado por el consumo anual por tipo de combustible proporcionado por estadísticas de la SEC, que proporciona información desagregada por las principales comunas del país.

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 (NOx), 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 47.

Tabla 47. Factores de emisión para GLP y Kerosene

Combustible	COV	CO	NOx	SOx 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 [5]
GN	0,09	0,64	1,50	0,01	0,03	0,03	Kg/1000 m ³	AP42 [5]
Kerosene	83,8	574,4	2.082,3	4.918,4	129,2	99,3	Kg/1000 m ³	CARB [16]

1: Corresponde a SO₂

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

De acuerdo a lo informado por la SEC para el año 2017, el nivel de ventas de GLP es de 27.123 ton/año en la región de la Araucanía, por consumidor de tipo residencial [17]. De los cuales el 10.159 Ton/año son consumidas entre las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, considerando que el consumo de gas es proporcional a la cantidad de población. Del consumo total se descarta el 3,6% de pérdida por envasado. Para obtener el nivel de actividad en m³/año se emplea una densidad del gas de 0,550 ton/m³ [18].

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 5.174 m³ durante el año 2017 para la Región de La Araucanía [19], 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 48. Nivel de actividad para GLP y Kerosene

Combustible	Consumo combustible año 2017			Referencia
	Araucanía	Temuco	PLC	
GLP (m ³ /año)	49.315	14.156 ¹	3.816 ¹	SEC – Venta anuales GLP [17]
GN (m ³ /año)	3.326.000	828.360	223.314	SEC – Venta anuales GN [17]
Kerosene (m ³ /año)	5.174	1.527	411	SEC – Ventas anuales Combustibles líquidos [19]

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 49, asociadas a la combustión residencial de GLP y Kerosene.

Tabla 49. Estimación de emisiones para GLP y Kerosene

Comuna	Fuente	Emisiones (Ton/año)					
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV
Temuco	GLP	0,29	0,29	20,28	22,02	5,42	0,85
	GN	0,025	0,025	0,008	1,246	0,530	0,073
	Kerosene	0,20	0,15	7,51	3,18	0,88	0,13
PLC	GLP	0,05	0,04	2,02	0,86	0,24	0,03
	GN	0,007	0,007	0,002	0,336	0,143	0,020
	Kerosene	0,08	0,08	5,47	5,94	1,46	0,23

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 [20], empleando la expresión general presentada en la Ecuación 6, donde se consideran factores de emisión per cápita y el nivel de actividad está dado por cifras de población.

$$E = P \times FE \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- E: Emisión COVs (lb/año)
- FE: Factor de Emisión per cápita (lb 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) [20], que considera la emisión de COVs per cápita.

Tabla 50. Factores de Emisión para uso de solventes

Productos	Factor de Emisión (kg COV/persona/año)	Referencia
Productos en Aerosol	0,046	EIIP Tabla 5.4-1 [20]
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 [20]

Nivel de Actividad

El nivel de actividad para esta fuente está dado por la población total del área de estudio, según cifras entregadas por el INE en el último censo de población año 2017.

Tabla 51. Nivel de actividad para uso de solventes

Comuna	Temuco	PLC	Referencia
Población (año 2017)	282.415	76.126	Censo de Población - INE 2017 [1]

Fuente: Elaboración propia en base a Censo 2017

Estimación de Emisiones

Las emisiones generadas a partir del uso de solventes a nivel residencial se presentan en la Tabla 52, 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 52. Estimación de emisiones provenientes del uso de solventes

Tipo de Fuente	Emisiones COVs (Ton/año)	
	Temuco	PLC
Productos en Aerosol	12,99	3,50
Productos Domésticos	101,67	27,41
Productos de Cuidado personal	296,54	79,93
Productos de Cuidado Automotriz	172,27	46,44
Adhesivos y Selladores	73,43	19,79
Pesticidas Comerciales y Domésticos	228,76	61,66
Productos Misceláneos	8,47	2,28
Total	894,13	241,01

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 [21], que emplea factores de emisión per cápita, siendo el nivel de actividad las cifras de población entregadas por el Censo 2017. La estimación se obtiene mediante la expresión de la Ecuación 7.

$$E = P \times FE \quad \text{Ecuación 7}$$

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 53. Factores de emisión Pintura Arquitectónica

Fuente	Factor de Emisión		Referencia
Pintado Arquitectónico	1,36	Kg COV /persona/año	Manual Inventario de Emisiones México [22]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad de esta fuente está dado por la población total del área de estudio según cifras del último Censo desarrollado por el INE.

Tabla 54. Nivel de actividad Pintura Arquitectónica

Comuna	Población (año 2017)	Referencia
Temuco	282.415	Censo de Población - INE 2017 [1]
PLC	76.126	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de las emisiones de COVs generadas por la actividad pintura arquitectónica se presenta en la Tabla 55.

Tabla 55. Estimación de Emisiones de Pintura Arquitectónica

Tipo de Fuente	FE (Kg/persona/año)	Emisiones (Ton/año COVs)	
		Temuco	PLC
Pintura Arquitectónica	1,36	384,08	103,53

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3 Emisiones Residenciales de Amoniaco (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 [22], 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 8.

$$E = P \times FE$$

Ecuación 8

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 56. 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 [22]
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 según rango etario.

Tabla 57. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH₃ – actividades humanas

Número de habitantes por rango	Temuco	PLC	Referencia
Población 0 - 3 años	14.856	4.554	Censo de Población - INE 2017 [1]
Población > 4 años	267.559	71.572	
Población Total	282.415	76.126	

Fuente: Elaboración propia

El nivel de actividad relacionado con las emisiones generadas por animales doméstico se obtiene mediante estimación de la proporción de mascotas por hogar. El manual de inventarios de emisiones de México entrega valores típicos para esta proporción, para zonas urbanas, sin embargo, el valor está muy desactualizado (año 1996). Por lo tanto, al no contar con una caracterización de la población de mascotas para las comunas en estudio, se empleará un valor obtenido para la comuna de Santiago, que indica un promedio de 0,48 perros por vivienda y para la población felina indica 0,46 gatos por vivienda [23].

Tabla 58. Nivel de actividad para fuentes residenciales de NH₃ – animales domésticos

Población Animales	Temuco	PLC	Referencia
Perros	135.559	36.540	Estudio demográfico animales [23]
Gatos	129.911	35.018	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de emisiones

La estimación de emisiones de NH₃ proveniente de las fuentes residenciales se presentan en la Tabla 59, en donde se observa que el mayor aporte proviene de la población de animales domésticos, representando un 49% y un 39,5% para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, según se aprecia en la Tabla 59.

Tabla 59. Estimación de Emisiones para fuentes residenciales de NH₃

Tipo de Fuente	Temuco		Padre Las Casas	
	Emisiones (Ton NH ₃ /año)	Distribución Porcentual	Emisiones (Ton NH ₃ /año)	Distribución Porcentual
Transpiración humana	70,6	29%	19,0	39,3%
Respiración humana	0,5	0%	0,1	0,3%
Desechos humanos	6,2	3%	1,6	3,4%
Uso doméstico de NH ₃	6,5	3%	1,8	3,6%
Pañales	2,4	1%	0,7	1,5%
Perros	116,6	49%	19,1	39,5%
Gatos	36,8	15%	6,0	12,5%
Total	239,5	100%	48,4	100%

Fuente: Elaboración propia

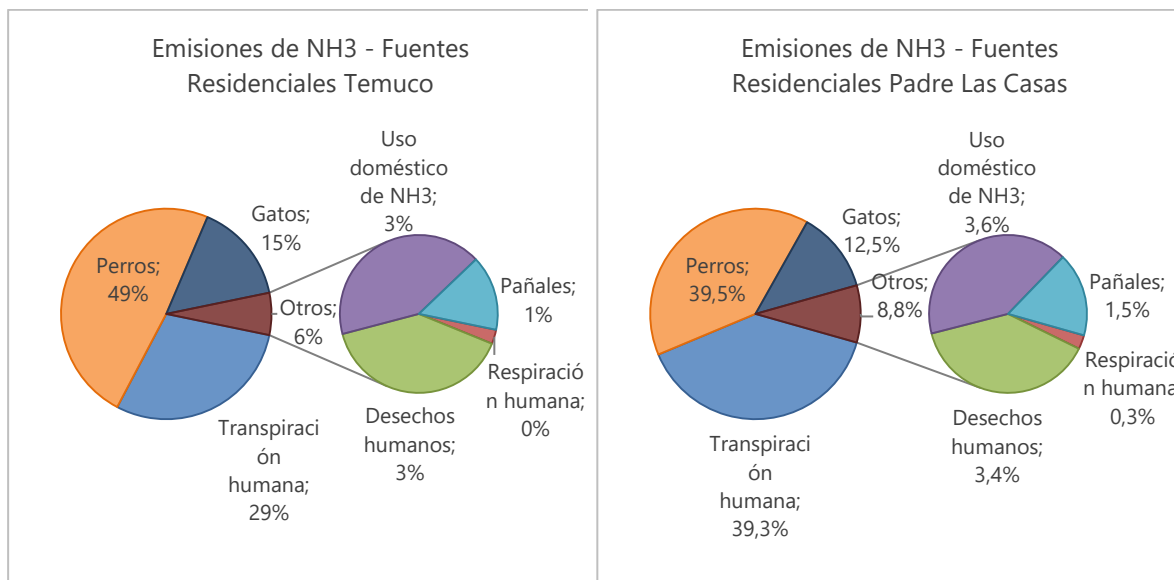


Figura 21. Emisiones de NH₃ de fuentes residenciales según comuna

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 9.

$$E = FE \times NA \quad \text{Ecuación 9}$$

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 60. Factores de emisión Fugas de GLP

Fuente	Factor de Emisión	Referencia
Solvente	3.6 %	Manual Inventario de Emisiones México [22]

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 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, de esta manera se obtiene que en las comunas de Temuco y Padre Las Casas se consumen 10.159 ton/año de GLP.

Tabla 61. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP - Residencial

Consumo GLP (ton/año)	Temuco	PLC	Referencias
Envasado	6.190	1.669	SEC – Venta anuales GLP [17]
Granel	1.812	488	
Total	8.002	2.157	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de las fugas de GLP se presentan a continuación en la Tabla 62.

Tabla 62. Estimación de emisiones provenientes de fugas de GLP - Residencial

Contaminante	Emisiones (Ton/año)	
	Temuco	PLC
COVs	288	78

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" [5].

Factores de Emisión

Factor de Emisión por llenado de estanques

El factor de emisión para el cálculo de las emisiones por llenado de combustible se calcula mediante la Ecuación 10.

$$L_L = 12,46 \times \frac{SxPxM}{T} \times \left(1 - \frac{Eff}{100}\right)$$

Ecuación 10

Donde:

- L_L : Pérdidas por llenado (libras COVs/1.000 galones líquidos cargados)
- S : Factor de saturación
- P : Presión de vapor real del líquido cargado (psig)
- M : Peso molecular de vapores (lb/lb mol)
- T : Temperatura del líquido cargado °R (°R=°F+460)
- Eff : Eficiencia de recuperación de vapores (%)

El factor de saturación (S) involucrado en el cálculo de las emisiones asociadas al transporte de combustibles, depende del modo de operación de la carga de los líquidos. En el presente inventario, se utiliza el valor que supone llenado sumergido de estanque dedicado normal ($S=0,6$), el cual no incluye control de las emisiones evaporativas de COV. En la Tabla 63 se presentan los valores.

Tabla 63. Factor de saturación (S) dependiente del modo de llenado de los estanques de camiones

Tipos de transporte	Modo de operación	Factor S
Camiones tanque o Vagones tanque	Llenado sumergido de estanque limpio	0,50
	Llenado sumergido de estanque dedicado normal	0,60
	Llenado sumergido de estanque dedicado con traspaso de vapores	1,00
	Llenado por rociado de estanque limpio	1,45
	Llenado por rociado de estanque dedicado con traspaso de vapores	1,45
	Llenado por rociado de estanque con traspaso de vapores	1,00

Fuente: AP-42. *Transportation and Marketing of Petroleum Liquids* [5]

Las variables para estimar el factor de emisión según la Ecuación 10, se presentan en la Tabla 64, con valores recomendados en AP-42 [5] para este tipo de fuente.

Tabla 64. Variables para estimar emisiones de COVs por llenado en transporte de combustible

Variable	Variable	Valor	Unidad
S	Factor de saturación	0,50	adimensional
P	Presión de vapor real del líquido cargado	0,60	psig
M	Peso molecular de vapores (lb/lb mol)	1,00	lb/lmol
T	Temperatura del líquido cargado (°R = °F + 460)	1,45	°R
Eff	Eficiencia de recuperación de vapores	1,45	%

Fuente: AP-42. *Transportation and Marketing of Petroleum Liquids* [5]

El factor de emisión resultante para la fuente distribución de combustible, por operaciones de llenado, se presenta en la Tabla 65.

Tabla 65. Factor de emisión para COV por transporte de combustible

Variable	Valor	Unidad	Referencia
L _L	8,844939	lb/1000 galones de líquido líquido cargado	AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [3]
L _L	1,05999E-06	Ton/ m ³ de líquido cargado	

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 66 muestra las distintas etapas del expendio final de combustible con sus factores de emisión.

Tabla 66. 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 [5]

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

Tabla 67. 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 [3]
FE expendio Final	0,004	Ton/m ³	

Fuente: AP-42. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids [5]

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 2017 [19], 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.

Dado que las estadísticas son regionales, para obtener el nivel de actividad a nivel comunal, se considera la información del Parque Automotriz, según estadísticas del INE para el año 2017 [24]. De esta manera, se asume que las ventas de combustibles son proporcionales al tamaño del parque vehicular existente en cada área de estudio. Para el año 2017 se tiene un parque vehicular de 232.911 vehículos motorizados en la región de la Araucanía, con un total de 72.479 y 20.435, vehículos en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, con lo cual se obtiene la proporción de ventas de un 31,1% y 8,8% según comuna, tal como se presenta en la Tabla 68 .

Tabla 68. Nivel de actividad para estimación de fugas por distribución de combustible

Consumo de Combustible (m ³)	Ventas (m ³ /año)	% Ventas	Referencia
Región de La Araucanía	175.998	100%	Estadísticas SEC [19]
Temuco	54.768	31,1%	INE Anuario Parque Vehicular [24]
Padre Las Casas	15.442	8,8%	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de la distribución de combustible se presentan a continuación en la Tabla 69.

Tabla 69. Estimación de emisiones por distribución de combustible

Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)	
	Temuco	PLC
Expendio de combustible	216,4	61,0
Transporte de combustible	0,06	0,02
Total	216,5	61,0

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 [5].

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 al número de trabajadores por local, para el cual emplea la expresión señalada en la Ecuación 11.

$$E = FExNA \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- E: Emisión COVs (Ton/año)
- FE: Factor de Emisión (Kg/trabajador-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 70. Factor de Emisión por pérdidas por solvente para lavasecos.

Fuente	Factor de Emisión		Referencia
Lavasecos	317,76	Kg/año-trabajador	Manual Inventario de Emisiones México [22]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de está determinado por el número de trabajadores de cada lavaseco. Para determinar el nivel de actividad, se realiza una actualización mediante la búsqueda de nuevos locales de lavandería con servicio de lavaseco. De acuerdo a la última versión del inventario de emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2014, el sector asociado a

esta actividad económica cuenta con un total de 74 trabajadores, con un número promedio de 3,8 trabajadores por local.

Para esta revisión se encontraron 4 nuevos locales, para lo cual se ha considerado el número de trabajadores promedio de esta actividad, obteniéndose una cantidad de 81 trabajadores.

Tabla 71. Nivel de actividad para estimación emisiones provenientes de Lavasecos

Comuna	N° Trabajadores	Referencia
Temuco	81	Consulta telefónica a la fuente
Padre Las Casas	0	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de emisiones de COVs asociadas a las actividades de lavasecos, se presenta en la Tabla 72. La estimación solo se realizó la comuna de Temuco, ya que no se cuenta con registro para la comuna de Padre Las Casas.

Tabla 72. Estimación de emisiones provenientes de Lavasecos

Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)
Lavasecos	25,80

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 [25], 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 [22] y se calcula según la expresión señalada en la Ecuación 12.

$$E = P \times FE$$

Ecuación 12

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 73. Factor de Emisión para Pintado Industrial de Vehículos

Contaminante	FE (Kg/persona-año)	Referencia
COV	0,14	Manual Inventario de Emisiones México [22]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

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

Tabla 74. Nivel de actividad para Pintado Industrial de Vehículos

Comuna	Población (año 2017)	Referencia
Temuco	282.415	Censo de Población - INE 2017 [1]
PLC	76.126	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones estimadas para la fuente Pintado Industrial de Vehículos se presenta en la Tabla 75.

Tabla 75. Estimación de Emisiones para Pintado Industrial de Vehículos

Tipo de Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)	
	Temuco	PLC
Pintura Vehículos	39,54	10,66

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 [26].

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 13.

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

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 76. 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 [12]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El nivel de actividad está dado por la superficie de camino alfaltada durante el año de estudio, información que fue proporcionada por la Dirección de Vialidad del MOP. 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 77.

Tabla 77. Nivel de actividad para aplicación de asfalto

Comuna	Km pavimentados	Ton asfalto	Dirección de Vialidad MOP 2017
Temuco	77,12	154	
PLC	158,03	316	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones estimadas para la fuente Aplicación de Asfalto se presenta en la [Tabla 78](#)

Tabla 78. Estimación de Emisiones para aplicación de asfalto

Tipo de Fuente	Emisiones (Ton COVs/año)	
	Temuco	PLC
Aplicación de asfalto	49,4	101,1

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 14 .

$$E = FExNA$$

Ecuación 14

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 79. Factor de Emisión por Fugas Comerciales de GLP

Contaminante	Factor de Emisión		Referencia
COV	3,6	%	Manual de Inventarios México [22]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

Para determinar el nivel de actividad se estima la cantidad de GLP comercializado en las comunas en estudio. Para esto se consideran estadísticas Regionales de venta de GLP y se obtiene un proporcional en función de la población para las Comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 80. Nivel de actividad para estimación de fugas de GLP -Comercial

Consumo GLP (ton/año)	Temuco	PLC	Referencias
GLP Industrial	5.817	1.568	SEC – Venta anuales GLP [17]
GLP Comercial	1.557	420	
Total	7.374	1.988	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones de COVs provenientes de las fugas comerciales de GLP se presentan a continuación en la Tabla 81.

Tabla 81. Estimación de emisiones de fugas de GLP -Comercial

Fuentes emisoras	Emisiones COVs (Ton/año)	
	Temuco	PLC
Fugas Com. GLP	265,48	71,56

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. En las Comunas de Temuco y Padre Las Casas esta actividad se limita a una pequeña cantidad de locales que ofrecen este tipo de producto.

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.

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

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 (Tabla 82), y en función de la cantidad de carbón empleada como combustible para esta actividad (

Tabla 83). Para la estimación de emisiones de esta fuente se empleará el factor para el cual haya información.

Tabla 82. Factores de emisión para restaurantes (parrillas) según tipo de carne

Tipo de carne	MP10 (g/kg carne)	MP2,5 (g/kg carne)	Referencia
Res	32,7	32,7	Manual de Inventarios México [22]
Pollo	10,4	10,4	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83. 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 [27]

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El primer paso al estimar las emisiones de la carne asada consiste en determinar el número de parrillas y asadurías. Luego de lo cual, se obtiene la información aplicando encuestas en terreno en los locales identificados respecto al nivel de consumo de combustible asociado. Se identificaron 16 parrillas y 9 asadurías en Temuco y Padre Las Casas, de las cuales 9 respondieron la encuesta respecto a consumos de carbón según demanda de su producto. Para los locales que no accedieron a entregar la información, se empleó el promedio de consumo de carbón de los locales que informaron el consumo, a fin de que el rubro no quede subrepresentado. Los datos de consumo se presentan en la Tabla 84.

Tabla 84. Nivel de actividad para parrillas y asadurías - Temuco

Tipo establecimiento	Número	Consumo promedio (kg/año)	Consumo total (kg/año)
Parrillas	16	2.340	37.440
Asadurías	6	2.200	13.200
Total	22	2.300	50.640

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Nivel de actividad para asadurías – Padre Las Casas

Tipo establecimiento	Número	Consumo promedio (kg/año)	Consumo total (kg/año)
Asadurías	3	2.200	6.600
Total	3	2.200	6.600

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

La estimación de emisiones asociada a las actividades de Parrillas y Asadurías se presenta en la Tabla 86.

Tabla 86. Estimación de emisiones de Parrillas y Asadurías

Fuentes emisoras	FE (Ton Cont/Ton Comb)	Consumo carbón (Ton/año)		Emisiones (Ton/año)	
		Temuco	PLC	Temuco	PLC
MP10	0,0208	50,6	6,6	1,05	0,14
MP2,5	0,0208	50,6	6,6	1,05	0,14
SO ₂	0,0000	50,6	6,6	0,00	0,00
NOX	0,0038	50,6	6,6	0,19	0,02
CO	0,0030	50,6	6,6	0,15	0,02

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. En la Figura 22 se presenta la ubicación geográfica de las quemas agrícolas e incendios forestales ocurridos durante el año 2017, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, en donde se observar que los eventos situados en el área urbana se concentran en el área del Cerro Ñielol de la comuna de Temuco.

Entre ambas comunas se registra un total de 136 eventos para el año 2017.

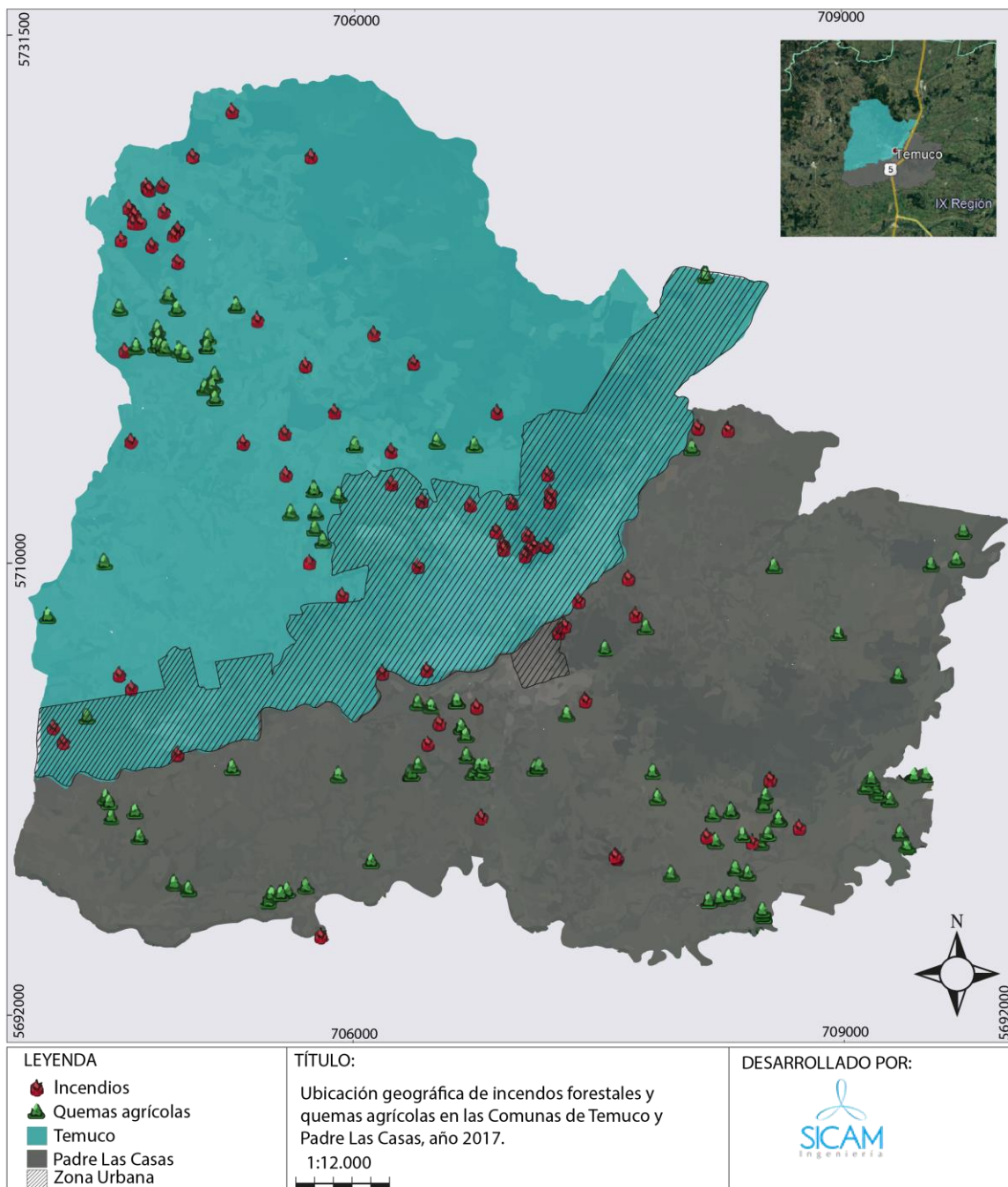


Figura 22. Ubicación de la quemadas agrícolas e incendios forestales en las comunas de Temuco y PLC, año 2017

Fuente: Elaboración propia

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 NOx, 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^[32], 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:

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

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 [28], 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, Temuco, Padre Las Casas año 2014 y Valdivia año 2014, desarrollados por SICAM Ingeniería, todos los cuales se basan en la metodología propuesta por la CARB.

Factores de Emisión

Los factores de emisión son los definidos por la CARB [28] y se presentan en la Tabla 87, según tipo de cultivo.

Tabla 87. Factores de emisión para quemas agrícolas por tipo de cultivo (lb/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 [28]
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. De acuerdo a lo señalado en la Guía Metodológica de Inventarios de Emisiones [12], se recomienda presentar este tipo de emisiones según su distribución mensual, debido a la calidad de zona saturada del área de estudio, en cuyo Plan de Descontaminación Atmosférica [2] se establecen restricciones de fecha para estas actividades.

La Tabla 88 y Tabla 89, presentan la superficie afectada por quemas agrícolas para los distintos tipos de cultivo, por temporada de uso de fuego para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, según información proporcionada por CONAF. Cada temporada de quemas ocurre entre el 01 de octubre y el 31 de marzo de cada año, dada las restricciones establecidas en el PDA de Temuco y Padre Las Casas, que limita el uso fuego en terrenos agrícolas en el periodo comprendido entre el 01 de abril y 30 de septiembre de cada año [2].

Tabla 88. Superficie afectada por quemas agrícolas quinquenio 2013-2018 Temuco

Tipo Cultivo	Superficie (ha)					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Trigo	60,0	83,5	0,0	86,7	181,8	116,0
Avena	0,0	0,0	0,0	91,3	13,5	57,0
Cebada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vegetación	14,5	13,0	0,0	0,0	22,5	4,3
Ramas	15,1	2,9	1,5	0,1	2,3	1,7
Desechos de pino	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros ¹	0,0	97,0	0,0	22,0	13,0	15,7
Varios ²	0,0	90,0	0,0	6,5	85,5	78,0
Total	90,1	286,4	1,5	206,6	318,6	272,6

Fuente: Departamento de manejo del fuego, CONAF.

¹Corresponde principalmente a cultivos de Lupino o Raps

²Corresponde a dos o más tipos de cultivos

Tabla 89. Superficie afectada por quemas agrícolas quinquenio 2013-2018 P. Las Casas

Tipo Cultivo	Superficie (ha)					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Trigo	0,0	1.125,2	90,0	616,4	302,3	738,4
Avena	0,0	0,0	0,0	471,0	525,1	658,8
Cebada	0,0	0,0	0,0	90,0	90,0	0,0
Vegetación	0,0	0,5	0,7	33,5	5,8	9,0
Ramas	3,8	2,8	0,3	0,0	2,5	1,0
Desechos de pino	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros ¹	0,0	237,7	0,0	261,8	95,6	18,5
Varios ²	0,0	393,2	0,4	510,8	1.291,0	1.530,0
Total	3,8	1.760,5	91,4	1.983,5	2.312,3	2.955,6

Fuente: Departamento de manejo del fuego, CONAF.

¹Corresponde principalmente a cultivos de Lupino o Raps

²Corresponde a dos o más tipos de cultivos

Tal como es posible apreciar en la Figura 23, la superficie afectada por quemas agrícolas ha aumentado desde el año 2013 al primer semestre de 2018, alcanzándose en total 2.956 ha para este último periodo. Las cuales concentran su actividad durante el mes de marzo de cada temporada, según se puede apreciar en el gráfico de perfil temporal presentado en la Figura 24.

De acuerdo al Balance de Gestión Integral de CONAF [29], los registros de avisos de quema controlada se realizan desde el año 2006 a través del sistema informático SAQ (Sistema de asistencia a quemas), en promedio al año se registran alrededor de 16 mil avisos de quema con una superficie promedio de 235 mil hectáreas tratadas, siendo las regiones del Biobío y Araucanía las que registran el mayor número y superficie en quemas silvoagropecuarias. De éstas últimas, la gran mayoría no se encuentra concentrada en las comunas de Temuco y

Padre Las Casas, sino que, en otras comunas con componente principalmente rural, registrándose solo cerca de un 2% de las hectáreas sometidas a quemas agrícolas en las dos comunas en estudio.

En general, el material sometido a quema corresponde principalmente a rastrojos de trigo y avena, así como también una mezcla de varias especies.

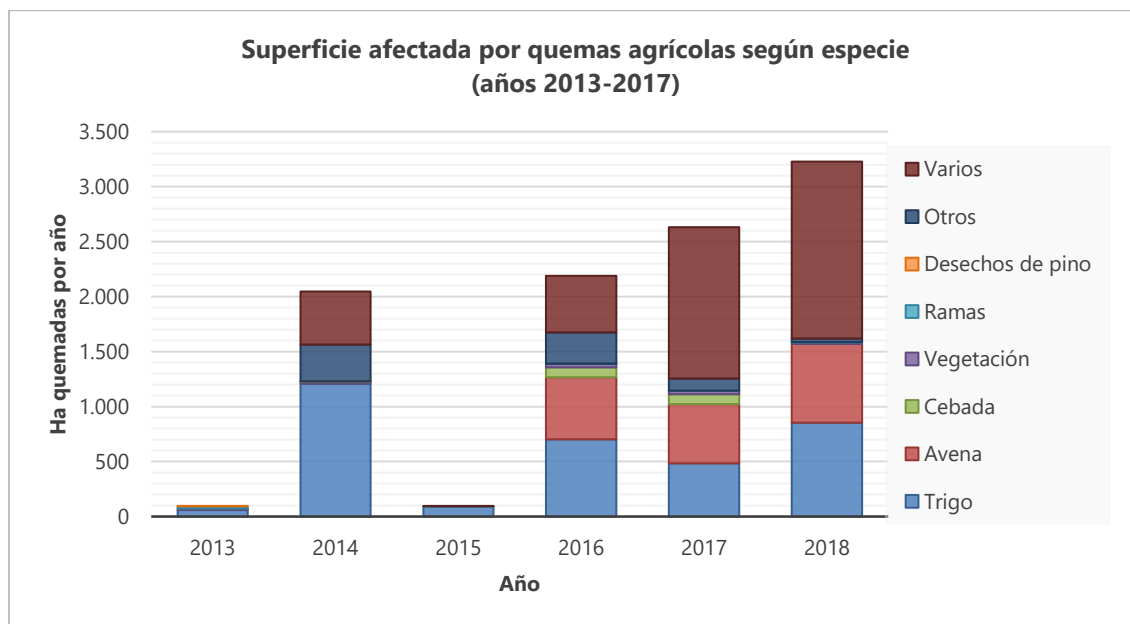


Figura 23. Quemas agrícolas en Temuco y Padre Las Casas Quinquenio 2013-2018

Fuente: Elaboración propia

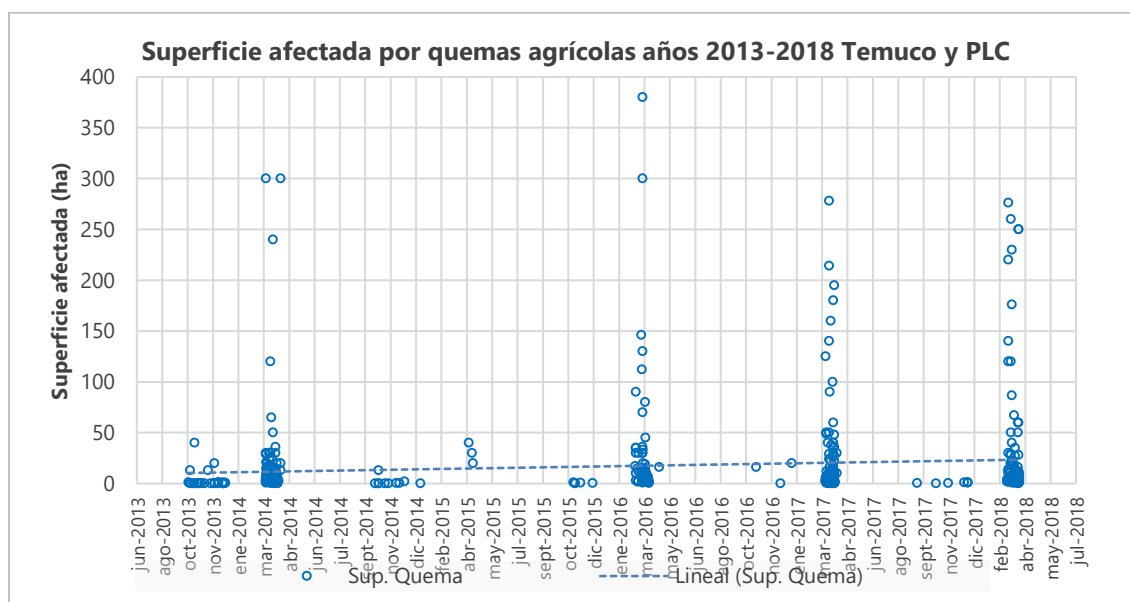


Figura 24. Perfil temporal de quemas agrícolas en Temuco y Padre Las Casas

Fuente: Elaboración propia

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, encontrándose que la mayor emisión de material particulado proviene de los cultivos de trigo, ya que son los predominantes en la comuna de Temuco, mientras que en Padre Las Casas, el mayor generador corresponde a cultivos de avena y “varios”, que considera una mezcla de cultivos sometidos a quemas.

Tabla 90. Estimación de emisiones de Quemas Agrícolas Temuco

Cultivo	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Trigo	4,11	3,91	1,67	0,35	2,95	47,90	0,76
Avena	0,50	0,48	0,11	0,01	0,25	3,30	0,05
Cebada	-	-	-	-	-	-	-
Vegetación	0,88	0,84	0,25	0,03	0,59	6,28	0,10
Ramas	0,02	0,02	0,02	0,00	-	0,16	0,00
Otros ¹	0,53	0,51	0,14	0,02	0,43	3,78	0,06
Varios ²	2,73	2,53	0,99	0,19	1,45	23,22	0,33
Total	8,78	8,29	3,17	0,61	5,67	84,65	1,30

Fuente: Elaboración propia

¹Corresponde principalmente a cultivos de Lupino o Raps

²Corresponde a dos o más tipos de cultivos

Tabla 91. Estimación de emisiones de Quemas Agrícolas Padre Las Casas

Cultivo	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Trigo	6,83	6,51	2,77	0,58	4,90	79,66	1,26
Avena	19,57	18,63	4,26	0,57	9,74	128,54	2,05
Cebada	2,43	2,35	0,87	0,02	2,55	31,25	0,50
Vegetación	0,23	0,22	0,06	0,01	0,15	1,62	0,03
Ramas	0,03	0,02	0,02	0,01	-	0,18	0,00
Otros ¹	3,93	3,76	1,07	0,13	3,17	27,79	0,44
Varios ²	41,23	38,21	14,88	2,94	21,86	350,59	5,02
Total	74,24	69,70	23,93	4,25	42,37	619,63	9,29

Fuente: Elaboración propia

¹Corresponde principalmente a cultivos de Lupino o Raps

²Corresponde 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 17.

$$E = S \times FE \times FC \quad \text{Ecuación 17}$$

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 [28] y se presentan en la Tabla 92. 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 92. Factores de emisión para incendios forestales por tipo de cultivo (lb/Ton)

Tipo Bosque	MP10	MP2,5	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃	Factor de carga (Ton/ha)	Referencia
Pino	0,00972	0,00824	0,00342	0,00104	0,00658	0,09261	0,00095	50,4	CARB [18]
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 93 y Tabla 94, presentan la superficie afectada por incendios forestales según tipo de plantación, por temporada para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, según información proporcionada por CONAF.

Tabla 93. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2013-2018 Temuco

Tipo plantación	Superficie (ha) por temporada						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Pino 0 a 10	1,0	5,8	32,1	1,3	1,2	1,2	42,6
Pino 11 a 17	-	0,5	-	0,1	0,2	0,2	1,0
Pino 18 o más	-	0,2	9,7	1,3	-	5,9	17,1
Eucalipto	1,0	5,0	38,6	25,0	16,0	8,7	94,3
Otras plantaciones	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal plantaciones	2,1	11,5	80,4	27,7	17,4	15,9	155,0
Arboleado	0,3	7,3	20,2	33,0	1,3	1,7	63,7
Matorral	2,4	21,2	81,4	46,3	19,4	29,6	200,2
Pastizal	2,8	39,5	113,5	94,7	14,5	18,0	283,0
Subtotal vegetación natural	5,5	68,0	215,0	174,0	35,2	49,2	546,9
Agrícola	-	3,0	5,0	8,5	5,0	0,8	22,3
Desechos	0,1	2,5	130,1	53,5	4,4	24,1	214,7
Subtotal otros	0,1	5,5	135,1	62,0	9,4	24,9	237,0
Total	7,6	85,0	430,6	263,7	62,0	90,0	938,9

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

Tabla 94. Superficie afectada por incendios forestales quinquenio 2013-2018 PLC

Superficie (ha) por temporada							
Tipo plantación	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Pino 0 a 10	-	0,4	395,8	1,9	0,1	-	398,2
Pino 11 a 17	-	-	76,2	1,5	-	-	77,7
Pino 18 o más	-	10,1	177,9	2,5	0,0	0,3	190,7
Eucalipto	0,0	1,0	72,3	7,5	1,9	1,9	84,7
Otras plantaciones	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Subtotal plantaciones	0,0	11,5	722,2	13,4	2,0	2,2	751,3
Arboleado	-	4,7	137,5	2,6	6,0	0,2	151,0
Matorral	2,9	9,6	57,9	24,3	3,7	7,4	105,8
Pastizal	0,1	1,4	20,7	14,3	0,2	3,7	40,3
Subtotal vegetación natural	2,9	15,6	216,2	41,2	9,8	11,4	297,0
Agrícola	-	36,1	0,7	0,2	-	-	36,9
Desechos	-	0,0	71,9	32,0	38,8	4,6	147,3
Subtotal otros	-	36,1	72,6	32,2	38,8	4,6	184,2
Total	2,9	63,1	1.010,9	86,7	50,7	18,2	1.232,6

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

El perfil temporal de los incendios forestales presentado en la [Figura 25](#), indica que los eventos se distribuyen entre los meses de septiembre y marzo de cada año en evaluación, apreciándose un aumento en las hectáreas consumidas por evento en la temporada 2014-2015, a diferencias de las quemas agrícolas que se concentran principalmente en el mes de marzo.

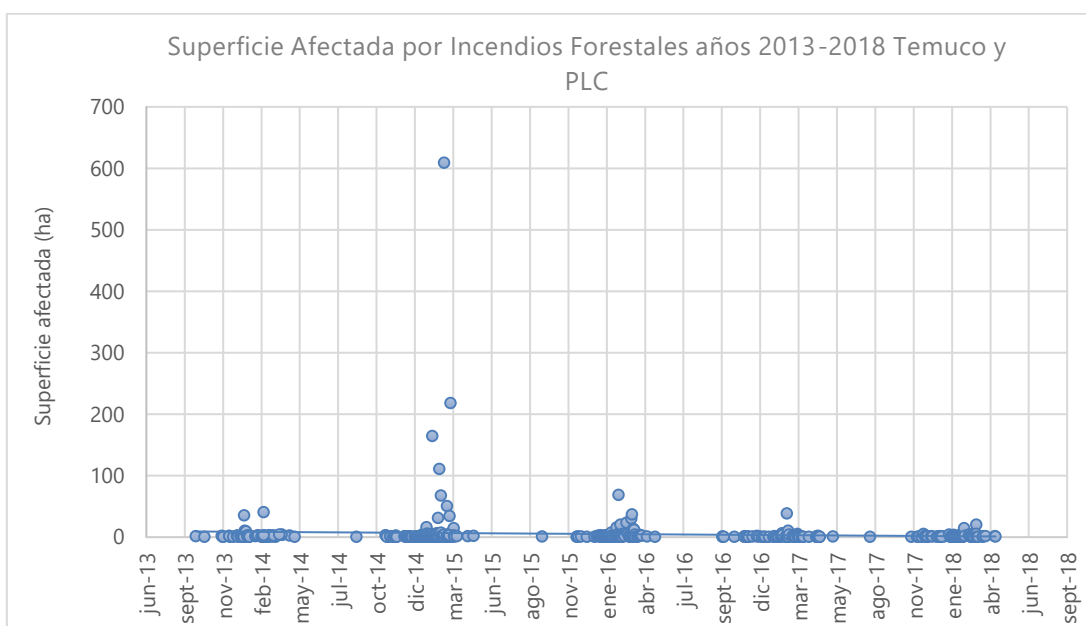


Figura 25. Perfil temporal de incendios forestales en Temuco y Padre Las Casas

Fuente: Elaboración propia

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. Dada la mayor incidencia de incendios forestales, las mayores emisiones se concentran en la comuna de Temuco, alcanzándose las 14,12 Ton de MP10 y 11,99 Ton de MP2,5, mientras que para la comuna de Padre Las Casas, las emisiones alcanzan las 6,95 Ton de MP2,5 y 5,9 Ton de MP10.

Tabla 95. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Temuco

Cultivo	MP10	MP2,5	NOX	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Pino 0 a 10	0,59	0,50	0,21	0,06	0,40	5,60	0,06
Pino 11 a 17	0,10	0,08	0,03	0,01	0,07	0,93	0,01
Pino 18 o más	-	-	-	-	-	-	-
Eucalipto	10,79	9,14	3,80	1,15	7,30	102,83	1,05
Subtotal plantaciones	11,48	9,73	4,04	1,22	7,77	109,37	1,12
Arboleado	0,74	0,63	0,22	0,07	0,43	7,35	0,07
Matorral	0,86	0,73	0,49	0,15	0,89	6,81	0,07
Pastizal	0,67	0,57	0,20	0,06	0,29	6,67	0,07
Subtotal vegetación natural	2,27	1,93	0,91	0,28	1,61	20,82	0,21
Agrícola	0,15	0,14	0,05	0,01	0,11	1,43	0,02
Desechos	0,23	0,20	0,10	0,03	-	2,06	0,02
Subtotal otros	0,38	0,34	0,15	0,04	0,11	3,49	0,04
Total	14,12	11,99	5,09	1,54	9,48	133,68	1,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96. Estimación de emisiones de Incendios Forestales Padre Las Casas

Cultivo	MP10	MP2,5	NOX	SO ₂	COV	CO	NH ₃
Pino 0 a 10	0,05	0,04	0,02	0,01	0,03	0,47	0,00
Pino 11 a 17	-	-	-	-	-	-	-
Pino 18 o más	-	-	-	-	-	-	-
Eucalipto	1,28	1,09	0,45	0,14	0,87	12,21	0,12
Subtotal plantaciones	1,33	1,13	0,47	0,14	0,90	12,68	0,13
Arboleado	3,42	2,90	1,01	0,31	1,99	33,91	0,34
Matorral	0,16	0,14	0,09	0,03	0,17	1,30	0,01
Pastizal	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
Subtotal vegetación natural	3,59	3,05	1,10	0,34	2,16	35,30	0,35
Agrícola	-	-	-	-	-	-	-
Desechos	2,04	1,73	0,89	0,27	-	18,14	0,18
Subtotal otros	2,04	1,73	0,89	0,27	-	18,14	0,18
Total	6,95	5,90	2,46	0,76	3,06	66,12	0,67

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" [30]. Esta metodología considera el número de siniestros ocurridos durante el período de estudio.

Metodología

La expresión base para la estimación de esta fuente corresponde a la Ecuación 18

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

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 [30] y se presentan en la Tabla 97 y Tabla 98, para incendios estructurales y de vehículos, respectivamente.

Tabla 97. Factores de emisión para incendios de Viviendas

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
MP	9,57	kg/ incendio	CARB,1999 [30]
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 98. Factores de emisión para incendios de vehículos

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
MP	7,71	kg/ incendio	CARB,1999 [30]
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 2017 ocurrieron un total de 393 incendios en la comuna de Temuco en viviendas. Dado que no se cuenta con registro para la comuna de Padre Las Casas, se empleó un factor asociado a la ocurrencia de incendios por número de viviendas.

Tabla 99. Nivel de actividad incendios urbanos

Ítem	Viviendas	Vehículos
N° Incendios ocurridos en Temuco 2017	393	69
N° Incendios ocurridos en PLC	63	19

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 vehiculos se presenta a continuación en la [Tabla 100](#) y [Tabla 101](#), para las comunas de Temuco y Padre Las Casas año 2017.

Tabla 100. Estimación de Emisiones incendios urbanos según comuna

Contaminante	Emisiones Ton/año	
	Temuco	PLC
MP10	3,76	0,60
COV	4,83	0,77
CO	58,39	9,36
NOx	1,39	0,22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101. Estimación de Emisiones incendios de vehículos según comuna

Contaminante	Emisiones Ton/año	
	Temuco	PLC
MP10	0,53	0,15
COV	0,23	0,06
CO	0,66	0,19
NOx	0,02	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 [31].

Metodología

La expresión base para la estimación de esta fuente corresponde a la Ecuación 19.

$$E = C_N \times FE \quad \text{Ecuación 19}$$

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 [30] se presentan los factores de emisión en la Tabla 102.

Tabla 102. Factores de emisión para consumo de cigarrillos

Compuesto	Factor de Emisión (mg/cigarrillo)	Referencia
MP2,5	8,1	CARB [32]
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 las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, 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 aplicada por el Ministerio de Salud para el periodo 2016-2017, indica que se experimentó a nivel nacional una reducción de 6,5% del consumo de tabaco alcanzándose una prevalencia del consumo de cigarrillos en el país es de 31,23% de la Población sobre 15 años. Además, se indica que el consumo promedio a nivel nacional es de 8,1 cigarrillos por

día por persona. Con estos datos se determinó un nivel de actividad de 300.709.433 de cigarrillos/año para ambas comunas en total, para la población sobre 15 años de edad.

Tabla 103. Nivel de Actividad para emisiones provenientes del consumo de cigarrillos

Comuna	Consumo cigarrillos / año	Referencia
Temuco	246.493.192	Encuesta Nacional de Salud [33]
PLC	54.216.241	
Total	300.709.433	

Fuente: Elaboración propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones generadas por el consumo de cigarrillos según comuna se presentan en la Tabla 104, y alcanzan 2,00 y 0,44 Ton/año de MP2,5 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente.

Tabla 104. Estimación de Emisiones por consumo de Cigarrillos según comuna año 2017

Contaminante	Emisiones (Ton/año)	
	Temuco	PLC
MP2,5	2,00	0,44
NO _x	0,22	0,05
CO	23,66	5,20
COVs ¹	0,05	0,01
NH ₃	1,28	0,28

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) [34].

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.

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

Ecuación 20

Donde:

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

LO : 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 105. Tabla de valores para k.

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

Fuente: AP42, EPA [34].

Para la estimación de emisiones del vertedero de las Comunas de Temuco y Padre Las Casas 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 106, se encuentran en función de la producción de metano del vertedero.

Tabla 106. Factores de Emisión para operaciones en Vertedero

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
NO ₂	0,00065	kg/m ³ CH ₄	AP-42 [34]
CO	0,012		
MP10	0,00027		

Fuente: Elaboración propia

Nivel de Actividad

El vertedero Bolleco que recibía los residuos sólidos de la comuna de Temuco, cerró sus actividades definitivamente el 17 de diciembre de 2016. Por lo que el nivel de producción

de CH₄ obedece a los residuos acumulados. Para estimar la producción de CH₄ se empleó la herramienta Landgem de la EPA, estimando la generación de residuos hasta el año 2016 se estima en 106.726 ton/año. Por otra parte se tiene durante el tiempo de vida útil del vertedero (25 años entre 1992 y 2016), existe una demanda de 1.895.185 ton.

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 107y Tabla 108.

Tabla 107. Estimación de emisiones LANDGEM EPA

Emisiones	Emisión (m ³ /año)	Emisión (Ton/año)
CH ₄	9.977.726	6.657
COVNM	79.822	286
CO ₂	9.977.726	18.264

Fuente: Elaboración propia

Tabla 108. Estimación de emisiones de otros contaminantes de vertedero

Compuesto	Emisiones (Ton/año)
NO ₂	6,5
CO	119,7
MP10	2,7
COVNM	286,1
CO ₂	18.264,2

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 [35].

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 21.

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

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 109.

Tabla 109. 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. Según un estudio encargado por la Municipalidad de Temuco, existe una demanda asociada al tratamiento de aguas servidas 1.105 Litros/segundo al año 2017 [36]. Lo que se traduce en un caudal de 34.847.280 m³/año que son tratados en la Planta de Tratamiento de Temuco.

Estimación de Emisiones

En la Tabla 110 se presenta la estimación de emisiones provenientes del tratamiento de aguas servidas en la comuna de Temuco.

Tabla 110. Estimación emisiones de tratamiento de aguas servidas

Compuesto	Emisiones (Ton/año)
COVNM	0,5
NH ₃	116,0

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 [22], 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 22 establece la expresión para la estimación de emisiones de amoníaco.

$$Emisiones\ f = Usof \times \%Nf \times FEf \quad \text{Ecuación 22}$$

Dónde:

Emisiones f : Emisiones anuales totales de NH₃ para el fertilizante tipo f.

Usof : 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 111.

Tabla 111. Factores de emisión para aplicación de fertilizantes

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
NH ₃	183	g NH ₃ /Kg N aplicado	AP-42 [5]

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. Para esto, se empleó como referencia el documento "Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile", desarrollado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura el año 2010 [37], el cual representa la única fuente de información disponible para esta fuente.

En dicho documento se establece que para la Región de La Araucanía los tres principales fertilizantes son la urea, el superfosfato triple y el cloruro de potasio, siendo, por lo tanto, la

principal fuente de nitrógeno la Urea. Luego, se indican las dosis de fertilizante para los principales tipos de cultivo existentes en la Región de La Araucanía y de acuerdo al rendimiento del mismo. Con esta información se calculó la demanda de fertilizante para las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, mediante la superficie por tipo de cultivo, obtenida del Censo Agropecuario.

Tabla 112. Dosis de fertilizante por tipo y rendimiento de cultivo por Comuna

Tipo Cultivo	Fertilización según rendimiento cultivo (KgN/Ha)		
	25%	50%	25%
Trigo	90	120	150
Avena	72	96	25
Cebada	72	96	25
Maíz	161	230	

Fuente: ODEPA [37]

Tabla 113. Superficie de cereales sembradas Temuco y Padre Las Casas año 2017

Tipo Cultivo	Temuco	Padre Las Casas
Trigo	2.333	3.545
Avena	816	1.380
Cebada	433	103
Maíz	-	7
Total Cereales	3.581	5.035

Fuente: CUADRO 7: SUPERFICIE SEMBRADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBÉRCULOS, EN RIEGO Y SECANO, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA Y ESPECIE [38].

De esta manera se establece que la demanda en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas es de 532.525 kg N/año.

Tabla 114. Demanda de nitrógeno (kg N/año) Temuco y Padre Las Casas

Tipo Cultivo	Aplicación de N (kgN/año) TEMUCO				Aplicación de N (kgN/año) PLC			
	25%	50%	25%	Total	25%	50%	25%	Total
Trigo	52.481	139.950	87.469	279.900	79.763	212.700	132.938	425.400
Avena	14.688	39.168	5.100	58.956	24.840	66.240	8.625	99.705
Cebada	7.789	20.770	2.704	31.263	1.849	4.930	642	7.420
Maíz	-	-	-	-	457	980		1.437
Total Cereales	74.958	199.888	95.273	370.119	106.451	283.870	142.204	532.525

Fuente: Elaboración propia

Tabla 115. Estimación emisiones de aplicación de fertilizantes

Tipo de Cultivo	Emisión (Ton NH ₃ /año)	
	Temuco	Padre Las Casas
Trigo	51,22	77,85
Avena	10,79	18,25
Cebada	5,72	1,36
Maíz	-	0,26
Total Cereales	67,73	97,72

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) [6].

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 23](#).

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

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 las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, lo cual fue obtenido a partir de las estadísticas agrícolas anuales del INE.

Tabla 117. Nivel de actividad asociados a labranza agrícola año 2017

Tipo Cultivo	Superficie (Ha)	
	Temuco	PLC
Cereales y Chacras	3.581	5.035
Industriales	2.917	4.868
Hortalizas	184	318
Frutales	113	105
Plantas Forrajeras	2.945	44
Leguminosas y Tubérculos	143	440
Total	9.883	10.811

Fuente: Estadísticas Agropecuarias INE, 2017

Estimación de Emisiones

La tabla siguiente presenta las emisiones asociadas a actividades de Labranza Agrícola para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, para el año base 2017.

Tabla 118. Estimación de emisiones de actividades de labranza agrícola año 2017

Tipo Cultivo	Emisiones (Ton/año) Temuco			Emisiones (Ton/año) PLC		
	MP10	MP2,5	COVNM	MP10	MP2,5	COVNM
Cereales y Chacras	5,57	0,21	3,07	7,84	0,30	4,32
Industriales	1,94	0,07	1,07	3,24	0,12	1,79
Hortalizas	0,67	0,03	0,37	1,16	0,04	0,64
Frutales	0,21	0,01	0,11	0,19	0,01	0,11
Plantas Forrajeras	2,09	0,08	1,15	4,59	0,18	2,53
Leguminosas y Tubérculos	0,25	0,01	0,14	0,76	0,03	0,42
Total	10,73	0,41	5,91	17,79	0,68	9,81

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 (rumiantes 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

$$E_{\text{NH}_3} = FE_{\text{NH}_3} \times N_{\text{anim}} = 1,21 \times FE_{\text{NH}_3-\text{N}} \times N_{\text{anim}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

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

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

$FE_{\text{NH}_3-\text{N}}$: 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 25

Otros Animales $FE_{NH_3-N} = \frac{FactorC \times FactorF + FactorD \times FactorG}{1000} \times 365$ Ecuación 26

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 27
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 28
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 29

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 30

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 fecas 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 _{NH3} (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. La única fuente de información respecto a la existencia de cabezas de ganado según comuna corresponde a la descrita en el Censo Agropecuario y Forestal del año 2007, por lo tanto, se emplearon estas cifras para estimar las emisiones.

Tabla 122. Niveles de actividad crianza animal

Comuna	Bovinos	Ovinos	Cerdos	Equinos	Caprinos
Temuco	10.898	6.475	8.518	547	24
PLC	13.851	11.846	20.054	2.232	75

Fuente: INE 2007

Estimación de Emisiones

En la Tabla 122 se presenta la estimación de emisiones de NH₃ asociadas a la crianza animal según comuna.

Tabla 123. Estimación de emisiones de Crianza Animal

Categoría Animal	Emisiones (Ton NH ₃ /año)	
	Temuco	PLC
Bovinos	250,8	318,8
Cerdos	44,6	105,0
Ovinos	4,6	8,3
Caprinos	0,02	0,05
Equinos	1,6	6,5
Total	301,6	438,8

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 FUENTES BIOGÉNICAS

Se estima que la variación entre inventario de emisiones año base 2013 y 2017 es mínima en relación a las emisiones de fuentes biogénicas, por lo que se mantienen las emisiones estimadas en el último inventario para Temuco y Padre Las Casas. Se adjunta como Anexo el Informe "Estimación de Emisiones de Fuentes Biogénicas" desarrollado para el año 2013.

Tabla 124. Estimación de emisiones fuentes biogénicas para Temuco y Padre Las Casas.

Tipo de Compuesto	Emisiones (Ton/año)
COVs	141,29
CO	0,78
NO	2,09

Fuente: Elaboración propia

4.6 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES FUENTES DE ÁREA AÑO BASE 2017

En la Tabla 125 y Tabla 126 se presenta el resumen del inventario de emisiones de fuentes de área en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, año base 2017.

Tabla 125. Resumen emisiones fuentes de área año base 2017 Temuco

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES FUENTES DE ÁREA TEMUCO (Ton/año)						
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
COMB. EXTERNA	GLP Y KEROSENE	0,5	0,4	26,2	24,8	6,4	1,0	
FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	SOLVENTES DE USO DOMÉSTICO						894,1	
	PINTURA ARQUITECTÓNICA						384,1	
	EMISIONES RESIDENCIALES DE NH ₃							239,5
	FUGAS RESIDENCIALES DE GLP						288,1	
FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE						216,5	
	LAVASECOS						25,8	
	PINTURA INDUSTRIAL (VEHÍCULOS)						39,5	
	APLICACIÓN DE ASFALTO						49,4	
	FUGAS COMERCIALES DE GLP						261,1	
RESTAURANTES	RESTAURANTES Y ASADURÍAS	1,1	1,1	0,0	0,2	0,2		
QUEMAS	QUEMAS AGRÍCOLAS	8,8	8,3	0,6	3,2	84,6	5,7	1,3
	INCENDIOS FORESTALES	14,1	12,0	1,5	5,1	133,7	9,5	1,4
	INCENDIOS URBANOS	4,3			1,4	59,1	5,1	
	CONSUMOS DE CIGARRILLOS	2,0			0,2	23,7	0,0	1,3
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	EMISIONES DESDE VERTEDEROS	2,7			6,5	119,7	286,1	
	P.T. AGUAS SERVIDAS						0,5	116,0
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	APLICACIÓN DE FERTILIZANTES							67,7
	LABRANZA AGRÍCOLA	10,7	0,4				5,9	
	CRianza ANIMAL							301,6
TOTAL		44,2	22,2	28,4	41,3	427,3	2.472,4	728,8

Tabla 126. Resumen emisiones fuentes de área año base 2017 Padre Las Casas

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES FUENTES DE ÁREA PLC (Ton/año)						
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
COMB. EXTERNA	GLP Y KEROSENE	0,1	0,1	7,1	6,7	1,7	0,3	
FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	SOLVENTES DE USO DOMÉSTICO						241,0	
	PINTURA ARQUITECTÓNICA						103,5	
	EMISIONES RESIDENCIALES DE NH ₃							48,4
	FUGAS RESIDENCIALES DE GLP						77,7	
FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE						61,0	
	LAVASECOS							
	PINTURA INDUSTRIAL (VEHÍCULOS)						10,7	
	APLICACIÓN DE ASFALTO						101,1	
	FUGAS COMERCIALES DE GLP						70,4	
RESTAURANTES	RESTAURANTES Y ASADURÍAS	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
QUEMAS	QUEMAS AGRÍCOLAS	74,2	69,7	4,3	23,9	619,6	42,4	9,3
	INCENDIOS FORESTALES	7,0	5,9	0,8	2,5	66,1	3,1	0,7
	INCENDIOS URBANOS	0,8			0,2	9,5	0,8	
	CONSUMOS DE CIGARRILLOS		0,4		0,0	5,2	0,0	0,3
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	EMISIONES DESDE VERTEDEROS							
	P.T. AGUAS SERVIDAS							
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	APLICACIÓN DE FERTILIZANTES							97,7
	LABRANZA AGRÍCOLA	17,8	0,7				9,8	
	CRianza ANIMAL							438,8
TOTAL		100,0	77,0	12,1	33,4	702,2	721,8	595,1

Respecto al aporte porcentual de las fuentes de área a las emisiones de contaminantes, es posible observar que para la Comuna de Temuco, los mayores aportes provienen de las quemas agrícolas y otras actividades agrícolas, para el M10 y MP2,5, al igual que para la comuna de Padre Las Casas, según se puede apreciar en las Figura 26 y Figura 27.

En relación a los gases contaminantes, se puede apreciar que el mayor aporte al SO₂ en el caso de Temuco proviene de las fuentes de combustión externa, correspondiente al consumo residencial de GLP y Kerosene.

En el caso de NO_x, para el caso de Temuco los aportes importantes se observan asociados a la combustión externa, quemas y disposición de residuos, mientras que en Padre Las Casas proviene principalmente de las quemas, fuente que en general es el mayor aportante de contaminantes en la comuna.

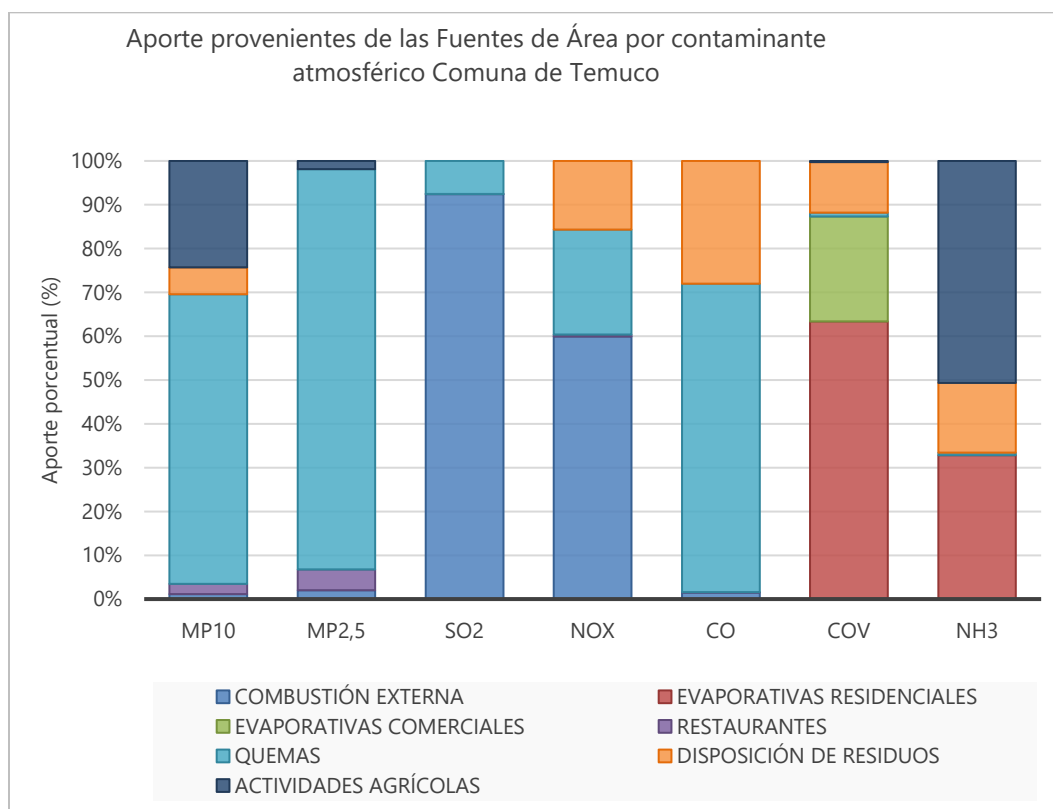


Figura 26. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Temuco

Fuente: Elaboración propia

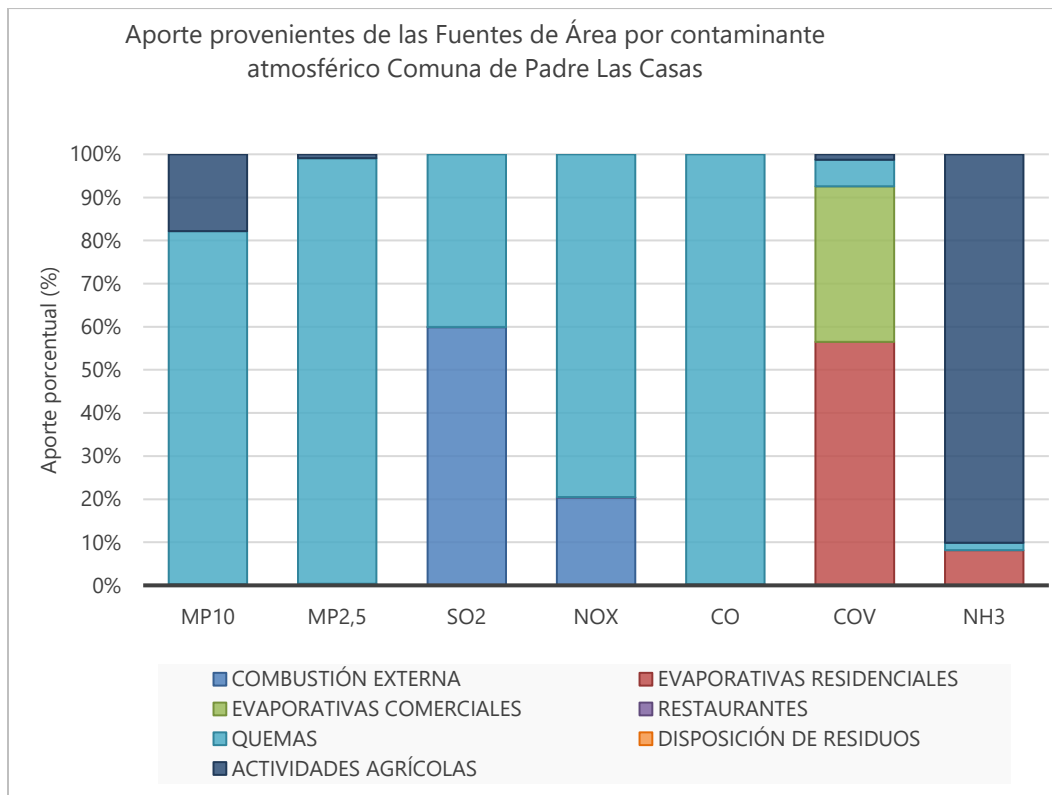
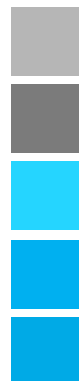


Figura 27. Aporte porcentual de contaminantes según fuente de área Padre Las Casas

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:

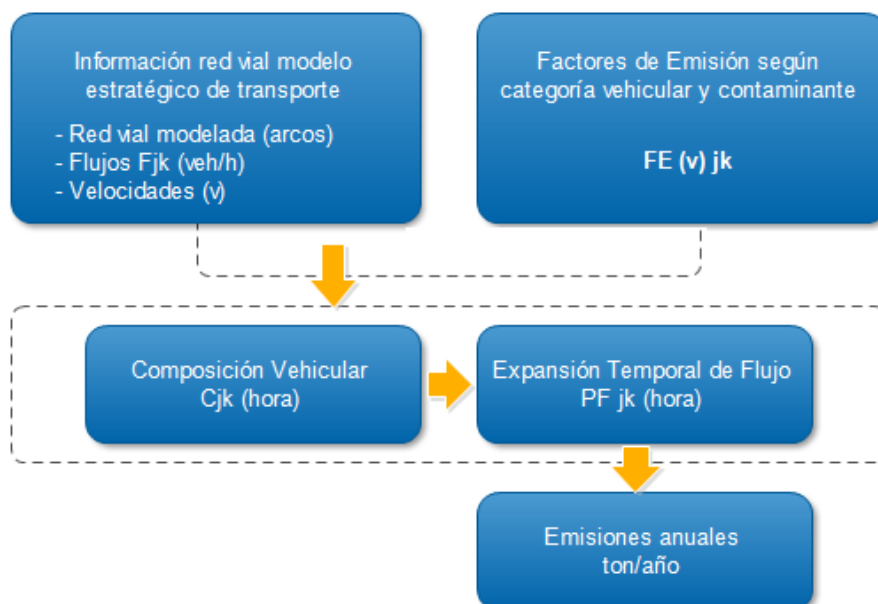


Figura 28. Metodología de cálculo MODEM

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.

$$E_i = \sum_{kt} \text{Nivel de actividad}_k \times FE_{ikt} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

E_i = Emisiones del contaminante i (gr)
 $\text{Nivel de actividad}_k$ = Nivel de actividad de la categoría vehicular k (km-vehículos)
 FE_{ikt} = 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, éstos se os niveles de actividad se 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, incluidos Temuco y Padre Las Casas, 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:

$$E_{total} = E_{Caliente} + E_{partidas\ en\ frío} + E_{Evaporativas} + E_{polvo} + E_{Desgaste} \quad \text{Ecuación 32}$$

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 127, en donde se presenta la categoría que fue considerada dentro de la clasificación de la flota vehicular del presente inventario de emisiones.

Tabla 127. 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 diesel Euro 1
	Camiones pesados diesel Euro 2
	Camiones pesados diesel Euro 3
	Camiones pesados diesel 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 diesel Euro 1
	Taxis colectivos diesel Euro 3
	Taxis colectivos gasolineros Euro 1
	Taxis colectivos gasolineros Euro 3
Vehículos de alquiler	Vehículos de alquiler diesel Euro 1
	Vehículos de alquiler diesel Euro 3
	Vehículos de alquiler gasolineros Euro 1
	Vehículos de alquiler gasolineros Euro 3
Vehículos livianos comerciales	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas diesel Euro 2
	Vehículos livianos comerciales de uso de empresas diesel Euro 5
	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 las Comunas de Temuco y Padre Las Casas, se presenta a continuación en la tabla siguiente, según estadísticas de transporte del INE, para el año base 2017.

Tabla 128. Caracterización Parque vehicular para Temuco y Padre Las Casas, año 2017

Tipo	Categoria INE	N° Vehículos año 2017	
		Temuco	Padre las casas
Transporte Particular y Otros	Automóvil y Station Wagon/1	44.596	10.676
	Todo Terreno /2	2.633	549
	Furgón /3	3.020	981
	Minibús	349	143
	Camioneta	14.088	5.306
	Motocicleta y Similares	2.144	478
	Otros con Motor/4	17	4
	Otros sin Motor/5	769	151
Transporte	Taxi Básico	268	119

	Taxi Colectivo	1.127	320
	Taxi Turismo	50	14
	Minibús, Transporte Colectivo/6	75	42
	Minibús, Furgón Escolar y Trabajadores	310	134
	Bus, Transporte Colectivo /7	534	410
	Bus, Transporte Escolar y Trabajadores	73	28
Transporte de Carga	Camión Simple	2.337	852
	Tractocamión	396	203
	Tractor Agrícola	91	44
	Otros con Motor /8	371	132
	Remolque y Semirremolque	758	296
TOTAL		74.006	20.882

Fuente: Elaboración propia en base a INE 2017

5.1.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES FUENTES MÓVILES EN RUTA

La estimación de emisiones provenientes de las fuentes móviles en ruta mediante el software MODEM v.5. para las comunas de Temuco y Padre Las Casas se presenta a continuación en la Tabla 129 y Tabla 130, según categoría vehicular, por contaminante para el año base 2017. Se observa que en relación al MP10, la comuna de Temuco genera 82,5 ton/año, mientras que Padre Las Casas solo 9,09 ton/año, situación que se explica debido al menor parque vehicular existente en ésta última comuna.

Tabla 129. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta Temuco 2017 (Ton/año)

CATEGORÍA VEHICULAR	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	NH ₃
Buses transporte público	30,5	28,9	0,5	662,7	185,0	60,2	0,2
Buses rurales	1,0	0,9	0,0	29,2	6,3	1,6	0,0
Camiones livianos	3,4	3,1	0,1	93,7	21,4	24,7	0,1
Camiones pesados	2,2	1,9	0,1	59,4	13,4	3,3	0,0
Taxis colectivos	2,7	1,9	0,3	28,9	79,3	7,7	7,4
Motocicletas	0,1	0,1	0,0	7,1	159,8	15,6	0,0
Vehículos comerciales	24,8	20,7	1,3	521,4	2.225,1	239,4	12,1
Vehículos de alquiler	1,8	1,2	0,2	19,7	119,2	11,3	7,4
Vehículos particulares	16,4	10,9	1,9	281,9	2.740,2	255,2	52,8
TOTAL	82,95	69,55	4,46	1.696,87	5.389,89	603,52	80,13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 130. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta Padre Las Casas 2017 (Ton/año)

CATEGORÍA VEHICULAR	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	NH ₃
Buses transporte público	3,3	3,1	0,1	71,4	19,8	6,4	0,0
Buses rurales	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3	0,1	0,0
Camiones livianos	0,4	0,4	0,0	11,1	2,7	2,9	0,0
Camiones pesados	0,3	0,3	0,0	8,4	2,0	0,5	0,0
Taxis colectivos	0,1	0,1	0,0	1,2	3,3	0,3	0,3
Motocicletas	0,01	0,00	0,00	0,46	9,83	0,88	0,00
Vehículos comerciales	3,1	2,6	0,2	65,0	295,8	31,8	1,5

Vehículos de alquiler	0,1	0,1	0,0	1,2	7,6	0,7	0,5
Vehículos particulares	1,6	1,1	0,2	28,3	283,8	26,5	5,3
TOTAL	9,09	7,69	0,47	187,80	615,23	69,28	7,63

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las categorías vehiculares, es posible observar que el mayor aporte al MP10 proviene de los buses del transporte público, vehículos comerciales y vehículos particulares, para ambas comunas.

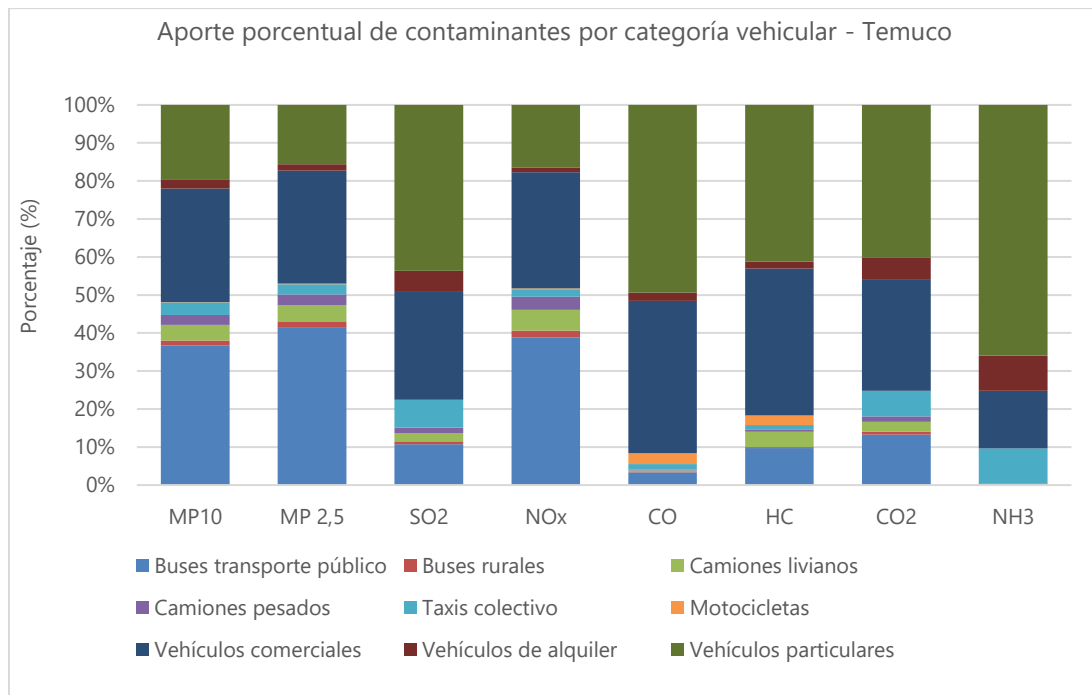


Figura 29. Aporte porcentual de contaminantes según fuente móvil Temuco

Fuente: Elaboración propia

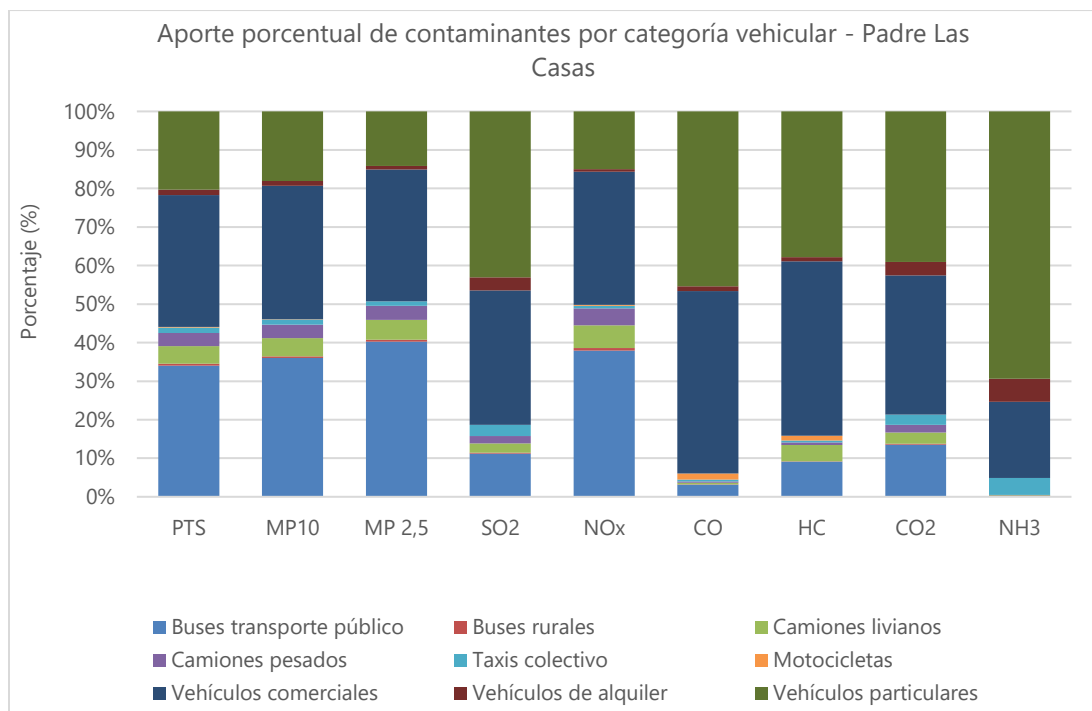


Figura 30. Aporte porcentual de contaminantes según fuente móvil Padre Las Casas
Fuente: Elaboración propia

5.1.5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y TEMPORAL DE LAS EMISIONES

Para la modelación de las emisiones de Fuentes Móviles, la conurbación de Temuco y Padre Las Casas se divide en cinco zonas, que se describen a continuación:

- Z1: Sectores Fundo el Carmen – Pedro de Valdivia
- Z2: Sectores Pueblo Nuevo – Santa Rosa
- Z3: Sectores Avenida Alemania - Centro
- Z4: Sectores Estadio Municipal - Amanecer
- Z5: Sector Padre Las Casas

Se determinaron mediante MODEM las emisiones según zona, tal como se observa en la [Tabla 131](#). Se observa que las mayores emisiones se presentan en la Zona 3 correspondiente a los sectores de Avenida Alemania y Centro. Asimismo, se presenta el nivel de actividad en términos de kilómetros recorridos, el cual se encuentra en directa relación con las emisiones.

Tabla 131. Estimación de emisiones fuentes móviles en Ruta según zona geográfica

Zona	MP10	MP2,5	SO ₂	NOX	CO	HC	NH ₃	KR
Z1	10,7	9,1	0,6	219,5	813,8	91,5	10,1	218.552.382
Z2	22,7	18,8	1,2	484,1	1.359,8	153,5	22,4	482.745.302
Z3	31,3	26,3	1,8	607,1	2.151,6	240,1	32,8	657.086.591
Z4	18,1	15,2	0,8	383,6	1.030,7	114,9	14,3	325.241.837
Z5	9,2	7,8	0,5	190,4	649,3	72,8	8,1	182.027.793
Total	92,0	77,2	4,9	1.884,7	6.005,1	672,8	87,8	1.865.653.905

Fuente: Elaboración propia

La Figura 31, presenta el mapa con la distribución de zonas y arcos viales empleados para la modelación de emisiones de fuentes móviles. Se observa la distribución de emisiones de MP10 según zona, situándose las mayores emisiones entre la zona 3 y zona 2, sectores Avenida Alemania – Centro y Pueblo Nuevo – Santa Rosa, respectivamente.

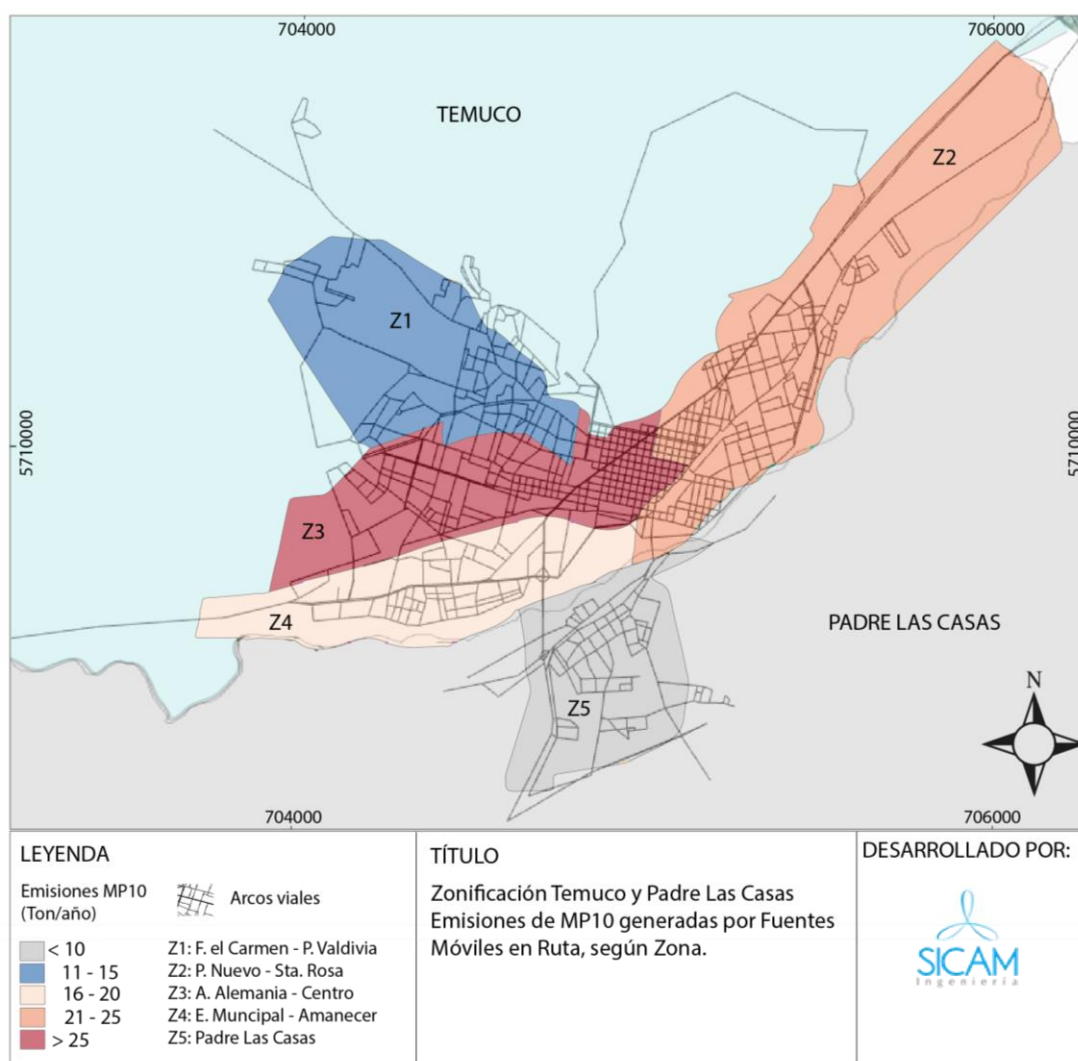


Figura 31. Distribución de emisiones de fuentes móviles según zona geográfica

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta el perfil horario según día de la semana de las emisiones de MP10 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, en la Figura 32. Se observa que las mayores emisiones se generan en los horarios punta mañana (8 a 9 A.M.) y punta tarde (15, 18-19 P.M.) para los días laborales lunes a jueves (L-J), mientras que para los días viernes, sábado y domingo las emisiones se reducen dada la menor actividad de las fuentes móviles.

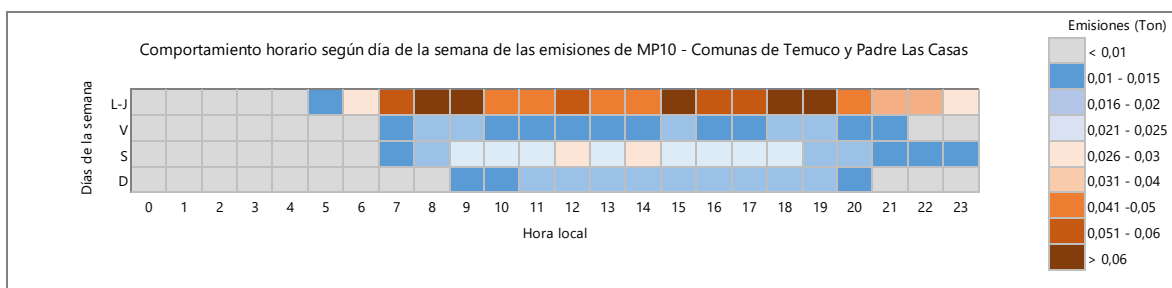


Figura 32. Perfil horario de las emisiones de MP10 provenientes de fuentes móviles

Fuente: Elaboración propia

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.

Para el caso de Temuco y Padre Las Casas, se consideró la estimación de emisiones correspondiente a maquinaria agrícola, y maquinaria de construcción.

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 de maquinaria agrícola se utilizaron los datos del VII Censo Agropecuario año 2007, con los que fue posible caracterizar el parque de maquinarias existentes en el área de estudio. 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" ^[21]. La ecuación general de cálculo se describe como:

$$E_{i,k} = EF_i * T_k * C_k * W \quad \text{Ecuación 33}$$

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 los Anexos 4, 5 y 6 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.

$$EF_{adj}(HC, CO, NO_x) = EF_{SS} \times TAF \times DF \quad \text{Ecuación 34}$$

onde:

- 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

$$DF = 1 + A \times (Age\ factor)^b \quad \text{Factor de edad } \leq 1 \quad \text{Ecuación 35}$$

$$DF = 1 + A \quad \text{Factor de edad } > 1 \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

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

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:

$$EF_{adj}(PM) = EF_{SS} \times TAF \times DF - S_{PMadj} \quad \text{Ecuación 37}$$

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:

$$S_{PMadj} = BSFC \times 453,6 \times 7 \times soxcnv \times 0,01 \times (soxbas - soxdsl) \quad \text{Ecuación 38}$$

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
- $soxbas$: 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 132. 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 6 presenta las horas de uso por tipo de maquinaria según actividad y tipo de cultivo. Luego en la tabla 7 se presentan las hectáreas por tipo de cultivo de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, de acuerdo a cifras entregadas INE [38].

Tabla 133. Horas de Uso de maquinaria por Hectárea según Actividad y tipo de cultivo

	Actividad	Cereales y Chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales
Actividad	Aradura	2	2	2	0
	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 134. Superficie (Ha) por tipo de cultivo por Comuna año 2017

Tipo Cultivo	Superficie (Ha)	
	Temuco	PLC
Cereales y Chacras	3.581	5.035
Industriales	2.917	4.868
Hortalizas	184	318
Frutales	113	105
Plantas Forrajeras	2.945	44
Leguminosas y Tubérculos	143	440
Total	9.883	10.811

Fuente: Estadísticas Agropecuarias INE, 2017

Con la información anterior se determinó el nivel de actividad para la utilización de la maquinaria agrícola empleada en la comuna de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 135. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2017 comuna de Temuco

Maquinaria	Horas de funcionamiento Maquinaria Agrícola				
	Cereales y Chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales	Total
Tractor	32.229,0	26.253,0	2.024,000	226,000	60.732,0
Cosechadora	7.162,00	5.834,0	-	-	12.996,0
Total Horas	39.391,0	32.087,0	2.024,0	226,0	73.728,0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 136. Nivel de Actividad Maquinaria Agrícola Año 2013 comuna de Padre Las Casas

Maquinaria	Horas de funcionamiento Maquinaria Agrícola				
	Cereales y Chacras	Industriales	Hortalizas	Frutales	Total
Tractor	45.315,0	43.812,0	3.498,0	210,0	92.835,0
Cosechadora	10.070,0	9.736,0	-	-	19.806,0
Total Horas	55.385,0	53.548,0	3.498,0	210,0	112.641,0

Fuente: Elaboración Propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones provenientes de las actividades realizadas por la maquinaria agrícola se presentan a continuación en la Tabla 137 y Tabla 138 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas respectivamente.

Tabla 137. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola, Temuco

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)							
	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Tractor	1,7	1,7	1,6	3,5	17,4	12,9	1,5	2.309,1
Cosechadora	0,4	0,4	0,4	1,5	7,0	2,3	0,6	976,7
Total	2,1	2,1	2,0	5,0	24,4	15,2	2,1	3.285,8

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 138. Estimación de Emisiones Maquinaria Agrícola, Padre Las Casas

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)							
	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Tractor	2,5	2,5	2,5	5,6	27,5	19,8	2,4	3.663,3
Cosechadora	0,6	0,6	0,6	2,3	10,7	3,5	0,9	1.488,5
Total	3,1	3,1	3,1	7,9	38,2	23,3	3,3	5.151,8

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 139. Factores de emisión maquinaria de Construcción

Maquinaria	Factor Emisión Ajustado (g/hp-h)					
	HC	CO	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂
Retroexcavadora Chica	0,87	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 140. 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 141.

Tabla 141. 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	6,5	1	6	1	3,0
4	350			1	8,0	1	6,5	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)

La información para la estimación de los niveles de actividad de esta fuente fue solicitada a la Dirección de Obras de cada comuna en estudio. La información de la superficie construida en la comuna de Padre Las Casas para el año 2017 fue obtenida mediante información entregada por el Municipio respectivo, correspondiente a la superficie recepcionada por obra (m²), la cual se detalla a continuación en la Tabla 142. Mientras que la información para la comuna de Temuco, fue obtenida de los permisos de edificación otorgados durante el año 2017, publicados en la página de transparencia de la Municipalidad, correspondiente a los documentos denominados "Actos y resoluciones con efectos sobre terceros - Permisos de Edificación", en donde se encuentra la información desagregada por superficie y número de pisos de cada obra nueva autorizada, tal como se puede observar en la Tabla 142.

Tabla 142. Superficie de nuevas construcciones (m²) año 2017 por N° de pisos

N° Pisos	Temuco	PLC
1	15.822	203
2	20.715	14.694
3	6.785	-
4	572	-
5	34.893	-
6	7.702	-
7	-	-
8	20.784	-
9 ó más	23.773	-
Total	131.045	14.897

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la Dirección de Obras de cada municipio.

Con la información procesada respecto a la superficie de obras nuevas construidas en las comunas de estudio, se obtuvo el nivel de actividad de la maquinaria de construcción para las comunas de Temuco y Padre Las Casas año 2017, según se presenta en la Tabla 143y Tabla 144, respectivamente.

Tabla 143. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Temuco

Maquinaria	Retroexcavadora Chica	Retroexcavadora	Compactador - Doble Tambor	Compactador - Placa	Compactador - Pata hidropistón	Vibrador de hormigón chico	Grúa	Total
1	923	-	-	396	-	1.187	-	2.505
2	1.295	-	-	647	-	1.748	-	3.690
3	-	271	221	204	102	641	-	1.438
4	-	13	11	17	9	54	-	103
5	21.808	4.885	4.253	2.617	1.308	10.717	21.808	67.396
6	6.258	1.078	939	578	289	3.785	6.258	19.185
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	28.539	2.910	2.533	1.559	779	13.209	28.539	78.069
9 ó más	42.436	3.328	2.897	1.783	891	17.352	42.436	111.123
Total	101.259	12.486	10.853	7.800	3.379	48.692	99.041	283.510

Fuente: Elaboración propia

Tabla 144. Nivel de actividad maquinaria de construcción comuna de Padre Las Casas

Maquinaria	Retroexcavadora Chica	Retroexcavadora	Compactador - Doble Tambor	Compactador - Placa	Compactador - Pata hidropistón	Vibrador de hormigón chico	Grúa	Total
1	12	-	-	5	-	15	-	32
2	918	-	-	459	-	1.240	-	2.617
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9 ó más	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	930	-	-	464	-	1.255	-	2.649

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 145 y Tabla 146 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas respectivamente.

Tabla 145. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Temuco

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)							
	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Retroexcavadora Chica	2,71	2,71	2,63	4,31	21,13	27,11	3,52	2.810,38
Retroexcavadora	0,54	0,54	0,52	1,44	6,70	3,19	1,10	941,93
Compactador - Doble Tambor	0,14	0,14	0,14	0,39	2,06	1,13	0,16	255,77
Compactador - Placa	0,12	0,12	0,12	0,23	1,19	0,42	0,07	147,13
Compactador - Pata hidropistón	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,12	0,02	15,91
Vibrador de hormigón chico	0,06	0,06	0,06	0,07	0,30	0,51	0,04	43,41
Grúa	0,18	0,18	0,17	0,22	1,07	1,12	0,14	145,73
Total	3,77	3,77	3,66	6,68	32,57	33,60	5,06	4.360,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 146. Estimación de emisiones proveniente de maquinaria de construcción Padre Las Casas

Maquinaria	Estimación Emisiones (Ton/año)							
	MP	MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
Retroexcavadora Chica	0,02	0,02	0,02	0,04	0,19	0,25	0,03	25,82
Retroexcavadora	-	-	-	-	-	-	-	-
Compactador - Doble Tambor	-	-	-	-	-	-	-	-
Compactador - Placa	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,00	8,76
Compactador - Pata hidropistón	-	-	-	-	-	-	-	-
Vibrador de hormigón chico	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01	0,01	0,001	1,12
Grúa	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,03	0,03	0,03	0,05	0,27	0,29	0,04	35,69

Fuente: Elaboración propia

5.3 RESUMEN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES AÑO BASE 2017

La estimación de las emisiones de fuentes móviles en ruta y fuera de ruta se presenta a continuación en la Tabla 147 y Tabla 148, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, para el año base 2017.

Tabla 147. Resumen de emisiones fuentes móviles Temuco 2017

Fuente		Emisión (Ton/año)						
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	NH ₃
	Buses licitados urbanos	30,5	28,9	0,5	662,7	185,0	60,2	0,2
	Buses licitados rurales	1,0	0,9	0,03	29,2	6,3	1,6	0,01
	Camiones livianos	3,4	3,1	0,1	93,7	21,4	24,7	0,1
	Camiones pesados	2,2	1,9	0,1	59,4	13,4	3,3	0,02
	Motocicletas	0,1	0,1	0,0	7,1	159,8	15,6	0,0
	Taxis colectivos	2,7	1,9	0,3	28,9	79,3	7,7	7,4
	Vehículos comerciales	24,8	20,7	1,3	521,4	2.225,1	239,4	12,1
	Vehículos de alquiler	1,8	1,2	0,2	19,7	119,2	11,3	7,4
	Vehículos particulares	16,4	10,9	1,9	281,9	2.740,2	255,2	52,8
	Total Móviles En Ruta	83,0	69,7	4,5	1.704,0	5.549,7	619,1	80,1
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	2,1	2,0	5,0	24,4	15,2	2,1	-
	Maquinaria Construcción	3,8	3,7	6,7	32,6	33,6	5,1	-
	Total Móviles Fuera De Ruta	5,9	5,7	11,7	57,0	48,8	7,2	-
Total		88,9	75,3	16,2	1.761,0	5.598,5	626,3	80,2

Tabla 148. Resumen de emisiones fuentes móviles Padre Las Casas 2017

Fuente		Emisión (Ton/año) PLC						
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	HC	NH ₃
	Buses licitados urbanos	3,28	3,10	0,05	71,41	19,75	6,41	0,02
	Buses licitados rurales	0,04	0,04	0,00	1,20	0,28	0,07	0,00
	Camiones livianos	0,43	0,39	0,01	11,08	2,75	2,93	0,01
	Camiones pesados	0,31	0,28	0,01	8,37	1,96	0,51	0,00
	Motocicletas	0,01	0,00	0,00	0,46	9,83	0,88	0,00
	Taxis colectivos	0,12	0,08	0,01	1,24	3,32	0,32	0,34
	Vehículos comerciales	3,15	2,63	0,16	64,99	295,80	31,78	1,51
	Vehículos de alquiler	0,11	0,07	0,02	1,23	7,56	0,73	0,45
	Vehículos particulares	1,65	1,09	0,20	28,27	283,81	26,53	5,29
	Total Móviles En Ruta	9,10	7,70	0,47	188,26	625,06	70,16	7,63
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	3,15	3,06	7,89	38,20	23,25	3,33	N.D.
	Maquinaria Construcción	0,03	0,03	0,05	0,27	0,29	0,04	N.D.
	Total Móviles Fuera De Ruta	3,18	3,09	7,95	38,47	23,54	3,37	-
Total		12,3	10,8	8,4	226,7	648,6	73,5	7,6

De acuerdo a lo presentado en la Figura 33, el mayor aporte al MP proviene de las fuentes móviles en ruta, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, sin embargo, en esta última, se presenta un mayor aporte de las fuentes móviles fuera de ruta, asociada principalmente a las actividades realizadas por maquinaria agrícola.

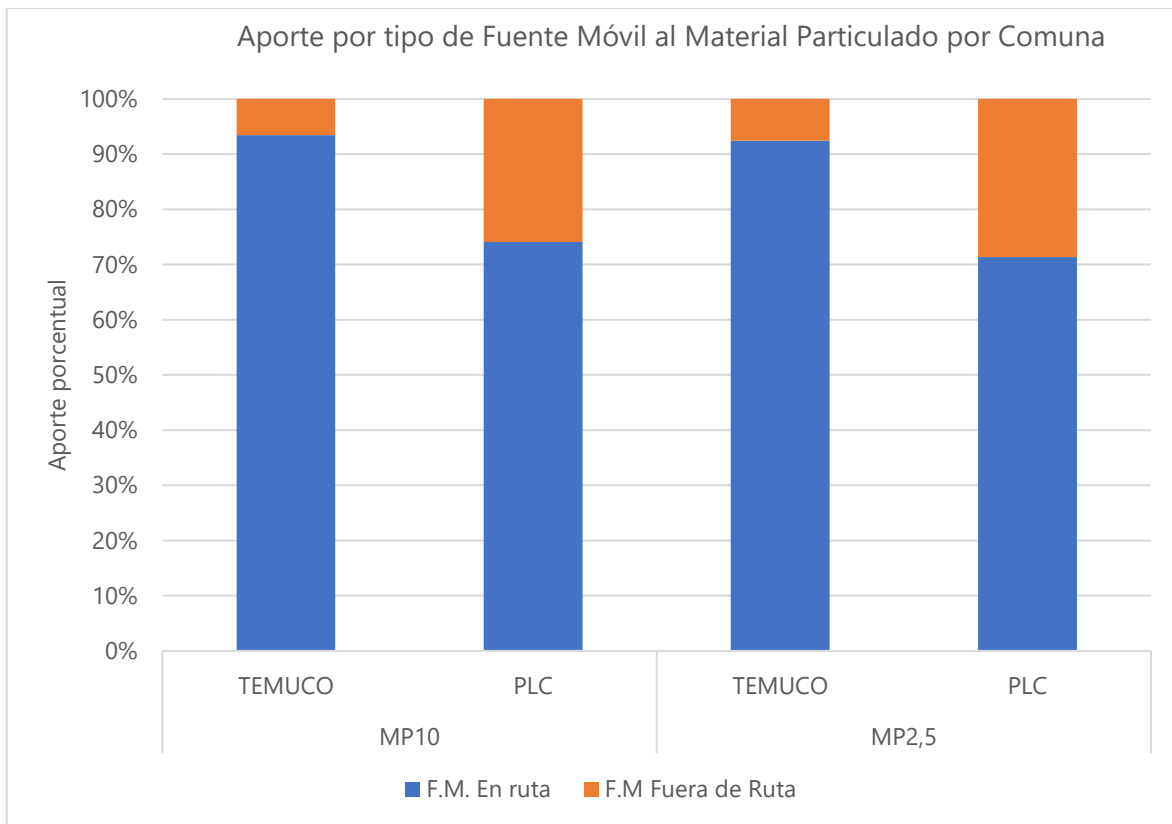
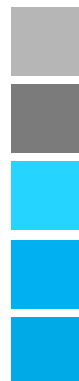


Figura 33. Emisiones de MP fuentes móviles en ruta y fuera de ruta

Fuente: Elaboración propia

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.

6.1 ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Metodología

La metodología empleada para estimar las emisiones de esta fuente se basa en un factor de emisión, en el tiempo en que demora la construcción de las obras y la superficie edificada. Dicha información se puede obtener de los anuarios de edificación del INE, o bien de información de permisos de edificación de los Municipios.

Se propone la metodología sugerida por CARB "Building Construction Dust", la que ya se ha utilizado en los inventarios desarrollados en el país.

$$E = A \cdot T \cdot FE \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

E: Emisiones de material particulado [kg/año]

A: Superficie edificada en la construcción [m²]

T: Tiempo de duración de la obra [mes]

FE: Factor de emisión de material particulado [kg/m²-mes]

Factor de emisión

Factores de emisión para estimar las emisiones en actividades de Construcción de Edificios a utilizar se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 149. Factores emisión asociados a construcción de edificaciones.

Compuesto	Factor de Emisión	Unidad	Referencia
PM10	0,0247	kg/m ² -mes	CARB (2002)
PTS	0,0504	kg/m ² -mes	CARB (2002)

Fuente: Elaboración propia

En este caso particular, los niveles de actividad están dados por el número, longitud y superficies edificadas [39], el cual se obtiene del anuario de edificaciones comunales correspondiente al año 2017 del INE. Para la elaboración del presente inventario se contó con la información a nivel Regional, por lo que para obtener el nivel de actividad a nivel comunal se empleó el factor de participación comuna/Región para cada comuna.

Tabla 150. Nivel de actividad asociado a la construcción comuna de Temuco 2017

Mes	Total (m²)	Viviendas (m²)	Industria, comercio y Establecimientos financieros (m²)	Servicios (m²)
Enero	87.664	79.782	6.189	1.693
Febrero	26.952	20.042	990	5.920
Marzo	79.799	63.679	10.992	5.128
Abril	5.978	1.156	4.822	0
Mayo	7.268	3.367	679	3.222
Junio	28.046	23.846	3.905	295
Julio	1.134	979	155	0
Agosto	4.668	3.798	509	361
Septiembre	12.673	1.357	8.643	2.673
Octubre	2.405	2.043	362	0
Noviembre	12.207	11.941	266	0
Diciembre	7.369	3.123	2.869	1.377
TOTAL	276.163	215.113	40.381	20.669

Fuente: INE 2017

Tabla 151. Nivel de actividad asociado a la construcción comuna de PLC 2017

Mes	Total (m²)	Viviendas (m²)	Industria, comercio y Establecimientos financieros (m²)	Servicios (m²)
Enero	12.755	5.417	7.326	12
Febrero	30.555	494	0	30.061
Marzo	718	718	0	0
Abril	8.682	8.414	223	45
Mayo	28.989	28.784	0	205
Junio	365	365	0	0
Julio	460	138	322	0
Agosto	82	82	0	0
Septiembre	1.145	830	191	124
Octubre	2.402	2.402	0	0
Noviembre	352	352	0	0
Diciembre	110	110	0	0
TOTAL	86.615	48.106	8.062	30.447

Fuente: INE 2017

Para el tiempo de duración de las obras, se consideraron los datos proporcionados por CONAMA – Ambiosis S.A. – DICTUC S.A. – SMHI – Apertum IT AB (2009), que contempla una duración promedio de las obras de 6 meses para la construcción de viviendas y 11 meses para el sector de comercio y servicios.

Tabla 152. Tiempo estimado duración de obras.

Obra	Duración Obras	Referencia
Viviendas	6 meses	SINCA 2009
Industria, comercio y establecimientos financieros	11 meses	SINCA 2009

Fuente: Elaboración Propia

Estimación de Emisiones

Las emisiones estimadas para las actividades de construcción se presentan a continuación en la Tabla 153, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 153. Estimación de emisiones asociadas a actividades de construcción

Tipo Construcción	Emisiones MP (Ton/año)		Emisiones MP10 (Ton/año)	
	Temuco	PLC	Temuco	PLC
Viviendas	65,05	14,55	31,88	7,13
Industria, comercio y establecimientos financieros (m²)	22,39	4,47	10,97	2,19
Servicios (m²)	11,46	16,88	5,62	8,27
Total	98,90	35,90	48,47	17,59

Fuente: Elaboración Propia

6.2 POLVO RESUSPENDIDO POR TRÁNSITO DE VEHICULOS

Metodología caminos pavimentados

Corresponde a emisiones asociadas a vehículos que circulan sobre la superficie de caminos 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.

A continuación, se detalla la ecuación básica que conforma la metodología sugerida para la estimación de emisiones.

$$E_{pa} = E_d \cdot \left(1 - \frac{P}{4N}\right)$$

Ecuación 40

Donde:

E_{pa} : Tasa de emisión anual (o del período bajo estudio) de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/año).

E_d : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/día).

P: Días con precipitaciones mayores de 0,254 mm, durante el periodo considerado.

N: Número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual).

Esta fuente es estimada en conjunto con las emisiones provenientes desde Fuentes Móviles, en ruta y fuera de ruta.

Metodología caminos No pavimentados

La metodología empleada para la estimación de las emisiones provenientes de esta fuente es la señalada por la EPA, que considera que la tasa anual de emisiones se estima mediante la tasa de emisión diaria y el número de días al año, restando los días con precipitaciones mayores a 0,25 mm, como se indica en la siguiente expresión.

$$E_{anual} = e * F * L * (365 - d)$$

Ecuación 41

Donde:

E_{anual} : Emisión anual de partículas para el tramo de calle sin pavimentar (g/día)

e : Factor de emisión de partículas por calle (gr/vehículo-km)

F : Flujo vehículo diario (vehículo/día)

L : Longitud del tramo (km)

d : Número de días con precipitaciones mayores a 0,25 mm

Estimación de emisiones

La estimación de emisiones se realiza mediante el software MODEM, que determina las emisiones asociadas a la resuspensión de polvo debido al tránsito de vehículos, las que se presentan en la Tabla 154, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas para el año 2017.

Tabla 154. Estimación de emisiones asociadas a tránsito de vehículos

Comuna	PTS	PM10	PM 2,5
Temuco	4.791	918	132
PLC	589	113	16
Total	5.380	1.031	148

Fuente: Elaboración propia

6.3 RESUMEN FUENTES FUGITIVAS

A continuación, se presenta el resumen de las fuentes fugitivas de área, alcanzándose una emisión anual de 4.889 y 966,7 Ton/año de PTS y MP10 respectivamente, tal como se observa en la Tabla 155.

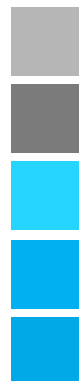
Tabla 155. Resumen de estimación de emisiones para Fuentes Fugitivas

Fuente	Emisiones Temuco (Ton/año)			Emisiones PLC (Ton/año)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Viviendas	65,1	31,9	-	14,5	7,1	-
Industria, comercio y est. financieros (m ²)	22,4	11,0	-	4,5	2,2	-
Servicios (m ²)	11,5	5,6	-	16,9	8,3	-
Subtotal Construcción	98,9	48,5	-	35,9	17,6	-
Polvo resuspendido	4.790,5	918,2	132	589,4	113,0	16
Subtotal Polvo	4.790,5	918,2	131,7	589,4	113,0	16,2
Total Fugitivas	4.889,4	966,6	131,7	625,3	130,6	16,2

Fuente: Elaboración propia

MEDIDAS PDA

EVALUACIÓN DE MEDIDAS



7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES SEGÚN MEDIDAS PDA

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 efecto, a partir de un análisis técnico PDA de la Región Metropolitana de Santiago; PDA del Valle Central de la región del Libertador General Bernardo O’Higgins; PDA de Talca y Maule; PDA Chillán y Chillán Viejo; PDA de Los Ángeles; PDA de Temuco y Padre Las Casas; PDA de Valdivia; PDA de Osorno; y PDA de Coyhaique, se determinó que aproximadamente el 54% de las medidas contenidas en cada uno de ellos, apunta a la reducción de los contaminantes provenientes de la combustión de leña a nivel residencial [40].

A partir del mismo estudio, se determinó que las principales medidas definidas en cada PDA se concentran en torno a los sectores descritos en la Tabla 146, lo cuales se constituyen como los ejes estratégicos para la descontaminación atmosférica en el sur de Chile. En este contexto, el PDA de Temuco y Padre Las Casas es quizá, el que mejor refleja esta directriz, y más aún, es quizá, el que ha marcado la pauta en la definición de los ejes estratégicos.

Tabla 156. Descripción de los sectores identificados en la clasificación de medidas.

Instrumento	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 -en las zonas con PDAs vigentes-, 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 vigencia 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. De igual manera, algunos PDAs incluyen medidas para avanzar en el mejoramiento tecnológico de cocinas a leña.
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.

Fuente: SICAM, 2016 [40].

Para el presente estudio, se realizó una evaluación del impacto que ha tenido la implementación de las medidas más relevantes contenidas en la estrategia del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas (PDA), a saber, Mejoramiento térmico de viviendas, Recambio de calefactores a leña y Uso de leña seca, que representan los ejes estructurales de dicho PDA.

7.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS CONSIDERADOS PARA LA EVALUACIÓN DE MEDIDAS.

Para lo anterior, se consideró la implementación de medidas entre los años 2015-2017, 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:

7.1.1 ALCANCES DE LA MEDIDA “MEJORAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS”:

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 térmico o reacondicionamiento térmico 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, lo que finalmente repercute en una menor tasa de emisiones contaminantes.

Este programa, al igual que el PRC, 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 Temuco y Padre Las Casas establece una meta 40.000 subsidios de mejoramiento térmico de viviendas, a ejecutarse en el horizonte de 10 años en que se implementa el PDA (2015-2025). Luego, según antecedentes proporcionados por la contraparte técnica del estudio, a la fecha, se ha logrado un avance cercano al 25% de ejecución, con un total de 10.694 subsidios ejecutados entre los años 2015 y 2017. En la Tabla 157 se muestra el total de subsidios ejecutados en estos años.

Tabla 157. N° de viviendas intervenidas en Temuco y PLC, mediante subsidio de mejoramiento térmico (2015-2017).

Año	2015	2016	2017	Total
Temuco	1.501	2.300	4.370	8.171
PLC	561	1.099	863	2.523
Total	2.062	3.399	5.233	10.694

Fuente: Elaboración propia

Luego, la metodología para estimar la reducción de emisiones asociadas a esta medida implica determinar cuál es la reducción en la demanda energética de la vivienda, posterior al mejoramiento térmico. En principio, y en concordancia con el fundamento técnico de la medida, una metodología comúnmente aceptada y 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.

Los factores constructivos tienen relación básicamente con el diseño y materiales empleados en la construcción de la vivienda, por cuanto definen la transmitancia térmica o el flujo de calor a través de piso y envolvente (muros, ventanas y cubierta), así como también, definen las renovaciones aceleradas del aire interior, ya sea por mecanismos de infiltración incontrolados o ventilación mal diseñados. La variable climática en tanto es externa, y depende de la zona donde se emplace la vivienda, y es la que determina la diferencia de temperaturas entre el interior de la vivienda (temperatura de confort) y el exterior (temperatura ambiente). Esta última resulta crítica, ya que, a mayor diferencia y mayor tiempo de permanencia, mayor será la pérdida de energía en forma de calor.

Para el cálculo de la tasa de pérdidas por transmisión, se deben emplear las siguientes expresiones:

Para el piso:

$$\dot{Q}_{trans,piso} = U_{piso} A_{piso} (T_{int} - T_{suelo}) \quad \text{Ecuación 42}$$

Dónde:

- U_{piso} es la transmitancia del piso en $W m^{-2} K^{-1}$
- A_{piso} es el área del piso en m^2 .
- T_{int} es la temperatura interior de confort (18 a 20°C).
- T_{suelo} es la temperatura del suelo (10 a 11 °C como valor típico). Si el piso es ventilado, se reemplaza la T_{suelo} por T_{ext}

Nótese que el producto ($U_{piso} \times A_{piso}$) es el factor constructivo y la diferencia de temperaturas corresponde al factor climático.

Para la envolvente:

$$\dot{Q}_{Transmisión} = \left(\sum U \cdot A \right) \times (T_{int} - T_{ext}) \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

- $\sum U \cdot A = U_{muro} A_{muro} + U_{ventana} A_{ventana} + U_{cubierta} A_{cubierta}$
- U es la transmitancia de la superficie respectiva en $W \, m^{-2} \, K^{-1}$
- A es el área de la superficie respectiva en m^2
- T_{int} es la temperatura interior de confort (18 a 20°C)
- T_{ext} es la temperatura exterior

Para el cálculo de la tasa de pérdidas por infiltración, se emplea la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{Infilt,Vent} = \dot{m} \times c_p \times (T_{int} - T_{ext}) \quad \text{Ecuación 44}$$

Dónde:

- \dot{m}^* es el flujo másico, en $kg \, s^{-1}$, proporcional a las renovaciones de aire, en el caso de las infiltraciones
- c_p es la capacidad calorífica del aire, igual a $1 \, kJ \, kg^{-1} \, K^{-1}$
- T_{int} es la temperatura interior de confort (18 a 20°C)
- T_{ext} es la temperatura exterior en °C o K
- Q^* es la tasa de pérdida de energía, expresada en kW

De lo expuesto, queda claro que 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, para que la realidad concuerde con los valores estimados, se requiere que la ejecución de la obra obedezca fielmente a las indicaciones técnicas. Una mala ejecución es la causa de los indeseables puentes térmicos, que son sumideros de energías, análogos a los pinchazos en un neumático. Por este motivo, para los objetivos del presente estudio, es solo referencial.

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 mecanismo alternativo, 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. En específico, los datos fueron entregados contra el pronunciamiento de las siguientes preguntas, aplicadas en el orden indicado:

Pregunta N° 1 ¿Qué combustible utiliza para calefacción?

ÍTEM B) "EQUIPOS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN.

Pregunta N° 7 ¿Cuánta leña consumió durante el año 2017?

ÍTEM C) CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, PELLET O BRIQUETAS Y FORMA DE ABASTECIMIENTO.

Pregunta 14.1 ¿Es beneficiario(a) de un Subsidio de Mejoramiento Térmico (MT) ya ejecutado?

ÍTEM D) INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA, ANTECEDENTES GRALES, CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA.

Pregunta 14.1.2 ¿Cuánta leña usaba antes del mejoramiento térmico (MT)?

ÍTEM D) INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA, ANTECEDENTES GRALES, CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA.

La pregunta N° 1 fue aplicada a todos los encuestados, la pregunta N° 7 fue aplicada a todos quienes respondieron que utilizaban leña para calefacción, pero la pregunta N° 14.1.2 solo fue aplicada a quienes respondieron ser beneficiarios del programa de mejoramiento térmico. En la Tabla 147 se muestran las respuestas entregadas, y una estimación del porcentaje de reducción en el consumo a partir de la medida.

Tabla 158. Reducción del consumo de leña a partir del mejoramiento térmico de viviendas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Comuna	Pregunta N° 7	Pregunta N° 14.1.2	Reducción de consumo de leña
Temuco	7,7	11,4	32,5%
Padre Las Casas	7,4	10,8	31,5%

Fuente: Elaboración propia

No obstante, un análisis un poco más detallado de la encuesta permite identificar que para el mismo grupo de entrevistados, si las respuestas entregadas a la pregunta N° 7 son aisladas según lo informado por dos subgrupos, formados a partir de la respuesta entregada en la pregunta N° 14.1 **¿Es beneficiario(a) de un Subsidio de Mejoramiento Térmico (MT) ya ejecutado?**, se observan respuestas diferentes, con una reducción muy poco significativa entre ambos escenarios, sin MT vs con MT.

De esta manera, para efectos de cálculo se determinó pertinente utilizar los datos entregados en respuesta a la pregunta N° 14.1.2, solo para estimar el consumo de leña de las viviendas beneficiarias.

7.1.2 ALCANCES DE LA MEDIDA “RECAMBIO DE CALEFACTORES A LEÑA”:

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 chatarrización³ 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:

$$E = FE \times NA$$

Ecuación 45

³ Destrucción de artefactos retirados mediante la fundición a altas temperaturas, de todas sus partes y piezas, para evitar ser destinado a nuevos usuarios.

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 (Tabla 28 y Tabla 29).

De acuerdo con los antecedentes disponibles, el programa de recambio de calefactores a leña ejecutado en las comunas de Temuco y Padre Las Casas se inició el año 2011, no obstante, durante los primeros años consistió más bien en un programa piloto que se fue perfeccionando y creando las condiciones para llegar a establecerse como un eje central de la política pública en materia de descontaminación ambiental del centro y sur de Chile. En la Tabla 159 y Tabla 160, se muestra un resumen con el total de calefactores recambiados en las comunas de Temuco y Padre Las Casas entre los años 2015 y 2017, donde se concentra su implementación.

Tabla 159. Tipología de artefactos recambiados en Temuco, mediante PRC (2015-2017).

Tecnología	Calefactor a Leña	Calefactor a Pellet	Calefactor a Parafina	Total
Calefactor comb. Lenta C/T	39	734	219	992
Calefactor comb. Lenta S/T	407	730	223	1.360
Cocina a leña	192	111	127	430
Salamandra	96	83	35	214
Hechiza	50	60	18	128
Total	784	1.718	622	3.124

Fuente: elaboración propia

Tabla 160. Tipología de artefactos recambiados en PLC, mediante PRC (2015-2017).

Tecnología	Calefactor a Leña	Calefactor a Pellet	Calefactor a Parafina	Total
Calefactor comb. Lenta C/T	23	492	62	577
Calefactor comb. Lenta S/T	86	271	45	402
Cocina a leña	133	118	40	291
Salamandra	41	71	18	130
Hechiza	14	27	8	49
Total	297	979	173	1.449

Fuente: elaboración propia

7.1.3 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 las comunas de Temuco y Padre Las Casas, el uso residencial de leña es considerado como la principal causa de contaminación atmosférica, representando el 82,7% para MP10 según Inventario de Emisiones año base 2013 (SICAM, 2014).

La calidad de la leña es uno de los factores que incide en esta contaminación, pues, en buena parte se comercializa y consume leña con altos porcentajes de humedad, provocando daño ambiental y afectando directamente la salud de las personas.

Para avanzar en la solución de los problemas de calidad del aire que afecta a gran cantidad de ciudades, la autoridad correspondiente, a través de los instrumentos de gestión ambiental, como son los Planes de Descontaminación Atmosférica, y otros, como ordenanzas municipales, ha establecido medidas para prohibir la comercialización de leña húmeda, sin embargo esta situación no se condice necesariamente con el uso de leña seca en las viviendas, sobre todo porque gran parte del comercio de leña es de tipo informal. En efecto, para el PDA de Temuco y Padre Las Casas se definió la meta de lograr en el transcurso de su ejecución un 80% de uso de leña seca.

Calidad de la leña en Temuco y Padre Las Casas:

Considerando la importancia de esta variable en la estimación de emisiones, ***es lamentable que no existan mecanismos estandarizados para realizar un seguimiento constante, que permita identificar la calidad de la leña utilizada en viviendas de Temuco y Padre Las Casas, y al mismo tiempo, conocer la evolución de este aspecto en el tiempo.*** Dicho esto, aun cuando se dispone de algunos datos de referencia asociados al monitoreo de la calidad de leña en algunos locales del comercio establecido, realizada por la SEREMI de Medio Ambiente de la región de La Araucanía, así como de otros asociados a mediciones de humedad de leña realizadas en contexto de fiscalización de viviendas en el marco de actividades en terreno para la gestión de episodios críticos (GEC), realizada por la SEREMI de Salud de la región de La Araucanía, resulta complejo realizar una estimación representativa de la realidad con un grado de incertidumbre acotado.

Ante la ausencia de antecedentes concretos y representativos referidos a la calidad de la leña utilizada actualmente en Temuco y Padre Las Casas, se consideró pertinente utilizar los datos de proyección planteados en el marco de la elaboración del inventario de emisiones

año base 2013, a partir del análisis experto realizado por profesionales de la contraparte técnica. En dicha ocasión, se determinó que la leña seca utilizada en el año base 2013 alcanzaba el 22%, y se proyectó que al año 2020, esta alcanzaría el 55%.

Tabla 161. Distribución del contenido de humedad de la leña usada en TPLC, año 2017.

VARIABLE	Leña seca	Leña semi húmeda	Leña húmeda
Distribución	41%	39%	20%

Fuente: elaboración propia.

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 2017, solo que determinar cuáles serían las emisiones sin la medida, se conservan los porcentajes de humedad de leña utilizados para el inventario del año base 2013.

7.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES REDUCIDAS SEGÚN MEDIDAS DEL PDA

A continuación, en la Tabla 162 se muestra la estimación de las emisiones reducidas como consecuencia de la implementación de algunas de las medidas estructurales del PDA de Temuco y Padre Las Casas. Al respecto, señalar que las emisiones estimadas para el año base 2017, ya consideran el impacto de implementación de estas medidas, por cuanto son parte del escenario actual/real. En otras palabras, si esto no hubiese ocurrido, es decir, sin la implementación de estas medidas, las emisiones estimadas para el escenario base habrían aumentado en 576,3 toneladas en Temuco y 135,5 toneladas en Padre Las Casas, respectivamente.

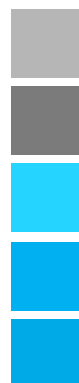
Tabla 162. Reducción de emisiones de MP10, asociadas a la implementación de medidas estructurales del PDA de Temuco y PLC, entre los años 2015-2017.

Medidas consideradas en la Evaluación	Temuco	PLC
Programa de mejoramiento térmico de viviendas	99,2	36,9
Programa de recambio de calefactores a leña	162,5	58,7
Mejoramiento de la calidad de la leña	314,6	39,9
TOTAL, DE EMISIONES REDUCIDAS	576,3	135,5

Fuente: elaboración propia.

RESUMEN

INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2017, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS



8 RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2017

El resumen del inventario de emisiones año base 2017 se presenta a continuación en la Tabla 163 y Tabla 164, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, considerando todas las fuentes de emisión en estudio.

Tabla 163. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Temuco

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	Comb. Externa Puntual	125,4	112,3	492,4	823,4	787,2	16,9	-
	Comb. Interna	0,2	0,2	0,3	4,5	0,8	0,1	-
	Mad. Y Papel	0,4	0,4	-	-	0,9	-	-
	Alimento y Agropecuaria	2,9	1,4	0,6	5,4	1,4	0,1	-
	Prod. Min.	-	-	-	-	10,2	-	-
	Metalúrgica Secundaria	-	-	-	-	-	-	-
	Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	-
	Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-
	Fuentes Puntuales	128,9	114,2	493,4	834,3	800,6	17,1	-
Fuentes de Área	Comb. Residencial Leña	2.958,2	2.754,1	15,2	609,8	63.527,9	35.049,2	-
	Combustión externa	0,5	0,4	26,2	24,8	6,4	1,0	-
	Evaporativas residenciales	-	-	-	-	-	1.566,3	239,5
	Evaporativas comerciales	-	-	-	-	-	592,3	-
	Restaurantes	1,1	1,1	0,0	0,2	0,2	-	-
	Quemas	29,2	20,3	2,2	9,9	301,0	20,2	4,0
	Disposición de residuos	2,7	-	-	6,5	119,7	286,6	116,0
	Actividades agrícolas	10,7	0,4	-	-	-	5,9	369,3
	Fuentes Área	44,2	22,2	28,4	41,3	427,3	2.472,4	728,8
Fugitivas	Construcción	48,5	-	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	918,2	132,0	-	-	-	-	-
	Fuentes Fugitivas	966,6	132,0	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	Buses licitados urbanos	30,5	28,9	0,5	662,7	185,0	-	0,2
	Buses licitados rurales	1,0	0,9	0,0	29,2	6,3	-	0,0
	Camiones livianos	3,4	3,1	0,1	93,7	21,4	-	0,1
	Camiones pesados	2,2	1,9	0,1	59,4	13,4	-	0,0
	Motocicletas	0,1	0,1	0,0	7,1	159,8	-	-
	Taxi colectivo	2,7	1,9	0,3	28,9	79,3	-	7,4
	Vehículos comerciales	24,8	20,7	1,3	521,4	2.225,1	-	12,1
	Vehículos de alquiler	1,8	1,2	0,2	19,7	119,2	-	7,4
	Vehículos particulares	16,4	10,9	1,9	281,9	2.740,2	-	52,8
	F.M. En ruta - Subtotal	83,0	69,7	4,5	1.704,0	5.549,7	-	80,1
	Maquinaria Agrícola	2,09	2,02	5,03	24,41	15,23	-	-
	Maquinaria Construcción	3,77	3,66	6,68	32,57	33,60	-	-
	F.M. Fuera de Ruta - Subtotal	5,86	5,68	11,71	56,98	48,84	-	-
	Fuentes Móviles	88,9	75,3	16,2	1.761,0	5.598,5	-	80,1
TOTAL*		3.220,2	2.965,9	553,1	3.246,3	70.354,3	37.538,7	809,0

Fuente: Elaboración propia

* No considera la suma de las fuentes fugitivas

Tabla 164. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Padre Las Casas

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	Comb. Externa Puntual	13,1	10,9	90,2	35,3	32,9	1,0	-
	Comb. Interna	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-
	Mad. Y Papel	-	-	-	-	-	-	-
	Alimento y Agropecuaria	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	-
	Prod. Min.	16,7	4,1	2,8	-	51,2	-	-
	Metalúrgica Secundaria	4,4	4,1	2,8	-	51,2	-	-
	Otros	-	-	-	-	-	-	-
	Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-
	Fuentes Puntuales	34,2	19,1	95,9	35,7	135,5	1,0	-
Fuentes de Área	Comb. Residencial Leña	383,1	356,7	2,2	79,4	8.629,8	3.583,1	-
	Combustión externa	0,1	0,1	7,1	6,7	1,7	0,3	-
	Evaporativas residenciales	-	-	-	-	-	422,2	48,4
	Evaporativas comerciales	-	-	-	-	-	243,2	-
	Restaurantes	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-	-
	Quemas	81,9	76,0	5,0	26,7	700,5	46,3	10,2
	Disposición de residuos	-	-	-	-	-	-	-
	Actividades agrícolas	17,8	0,7	-	-	-	9,8	536,5
	Fuentes Área	100,0	77,0	12,1	33,4	702,2	721,8	595,1
Fugitivas	Construcción	17,6	-	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	113,0	16,0	-	-	-	-	-
	Fuentes Fugitivas	130,6	16,0	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	Buses licitados urbanos	3,3	3,1	0,1	71,4	19,8	-	0,0
	Buses licitados rurales	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3	-	0,0
	Camiones livianos	0,4	0,4	0,0	11,1	2,7	-	0,0
	Camiones pesados	0,3	0,3	0,0	8,4	2,0	-	0,0
	Motocicletas	0,0	0,0	0,0	0,5	9,8	-	-
	Taxi colectivo	0,1	0,1	0,0	1,2	3,3	-	0,3
	Vehículos comerciales	3,1	2,6	0,2	65,0	295,8	-	1,5
	Vehículos de alquiler	0,1	0,1	0,0	1,2	7,6	-	0,5
	Vehículos particulares	1,6	1,1	0,2	28,3	283,8	-	5,3
	F.M. En ruta - Subtotal	9,1	7,7	0,5	188,3	625,1	-	7,6
	Maquinaria Agrícola	3,15	3,06	7,89	38,20	23,25	-	-
	Maquinaria Construcción	0,03	0,03	0,05	0,27	0,29	-	-
	F.M. Fuera de Ruta - Subtotal	3,18	3,09	7,95	38,47	23,54	-	-
	Fuentes Móviles	12,3	10,8	8,4	226,7	648,6	-	7,6
TOTAL*		529,6	463,5	118,7	375,3	10.116,1	4.305,9	602,8

Fuente: Elaboración propia

* No considera la suma de las fuentes fugitivas

Luego, se presenta el conjunto de las emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas en la Tabla 165.

Tabla 165. Resumen del inventario de emisiones año base 2017 comuna de Temuco y Padre Las Casas

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	Comb. Externa Puntual	138,5	123,2	582,6	858,7	820,1	17,9	-
	Comb. Interna	0,2	0,2	0,3	4,6	0,8	0,1	-
	Mad. Y Papel	0,4	0,4	-	-	0,9	-	-
	Alimento y Agropecuaria	2,9	1,4	0,6	5,8	1,4	0,1	-
	Prod. Min.	16,7	4,1	2,8	-	61,4	-	-
	Metalúrgica Secundaria	4,4	4,1	2,8	-	51,2	-	-
	Otros	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	-
	Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-
	Fuentes Puntuales	163,2	133,3	589,3	870,0	936,0	18,1	-
Fuentes de Área	Comb. Residencial Leña	3.341,3	3.110,7	17,4	689,2	72.157,7	38.632,3	-
	Combustión externa	0,6	0,6	33,3	31,4	8,1	1,2	-
	Evaporativas residenciales	-	-	-	-	-	1.988,5	287,9
	Evaporativas comerciales	-	-	-	-	-	835,6	-
	Restaurantes	1,2	1,2	0,0	0,2	0,2	-	-
	Quemas	111,1	96,3	7,2	36,6	1.001,5	66,5	14,2
	Disposición de residuos	2,7	-	-	6,5	119,7	286,6	116,0
	Actividades agrícolas	28,5	1,1	-	-	-	15,7	905,8
	Fuentes Área	144,2	99,2	40,5	74,7	1.129,6	3.194,2	1.324,0
Fugitivas	Construcción	66,1	-	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	1.031,2	148,0	-	-	-	-	-
	Fuentes Fugitivas	1.097,0	148,0	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	Buses licitados urbanos	33,8	32,0	0,5	734,1	204,8	-	0,2
	Buses licitados rurales	1,1	1,0	0,0	30,4	6,5	-	0,0
	Camiones livianos	3,8	3,5	0,1	104,7	24,1	-	0,1
	Camiones pesados	2,5	2,2	0,1	67,8	15,4	-	0,0
	Motocicletas	0,1	0,1	0,0	7,6	169,6	-	-
	Taxi colectivo	2,8	2,0	0,3	30,1	82,7	-	7,8
	Vehículos comerciales	27,9	23,3	1,4	586,4	2.520,9	-	13,6
	Vehículos de alquiler	2,0	1,2	0,3	20,9	126,8	-	7,9
	Vehículos particulares	18,1	12,0	2,1	310,2	3.024,0	-	58,1
	F.M. En ruta - Subtotal	92,1	77,3	4,9	1.892,2	6.174,7	-	87,8
	Maquinaria Agrícola	5,24	5,08	12,93	62,62	38,49	-	-
	Maquinaria Construcción	3,80	3,69	6,73	32,84	33,89	-	-
	F.M. Fuera de Ruta - Subtotal	9,04	8,77	19,66	95,46	72,38	-	-
	Fuentes Móviles	101,2	86,1	24,6	1.987,7	6.247,1	-	87,8
TOTAL *		3.749,8	3.429,4	671,8	3.621,6	80.470,4	41.844,6	1.411,7

Fuente: Elaboración propia

* No considera la suma de las fuentes fugitivas

A continuación, la Figura 34 y Figura 35, presenta la distribución del inventario de emisiones de MP10 y MP2,5 según fuente, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, para el año base 2017, observándose que la combustión residencial de leña representa un 89% y 91% para cada comuna, por contaminante.

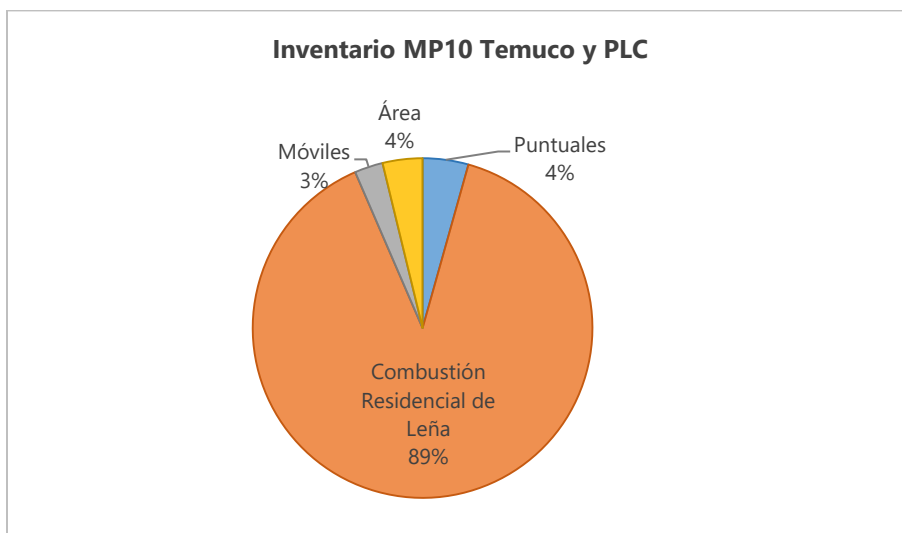


Figura 34. Distribución del inventario de emisiones de MP10 en Temuco y Padre Las Casas año base 2017

Fuente: Elaboración propia

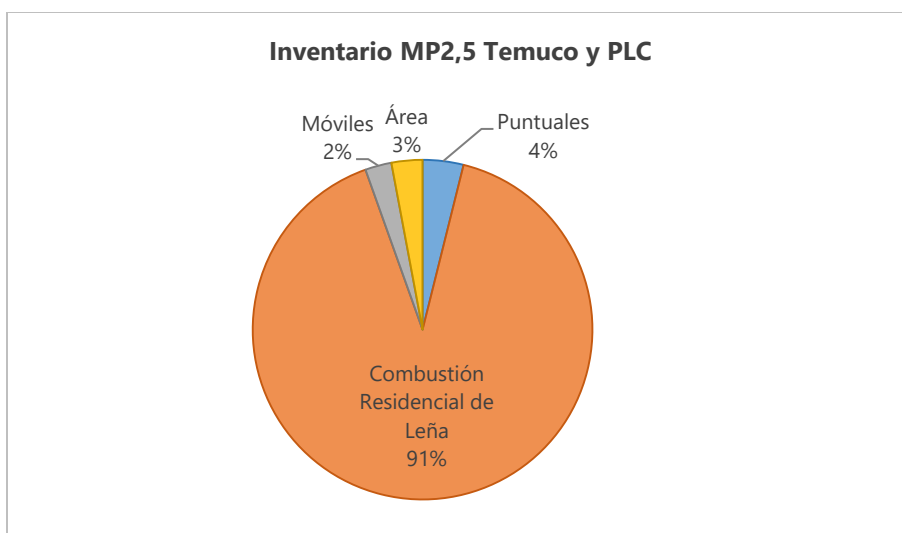


Figura 35. Distribución del inventario de emisiones de MP2,5 en Temuco y Padre Las Casas año base 2017

Fuente: Elaboración propia

Según se observa, en la Figura 36 se presenta la distribución del aporte porcentual por contaminante según tipo de fuente para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 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, asociadas al consumo de carbón de una fuente específica. Asimismo, los NOx son aportados principalmente por las fuentes móviles.

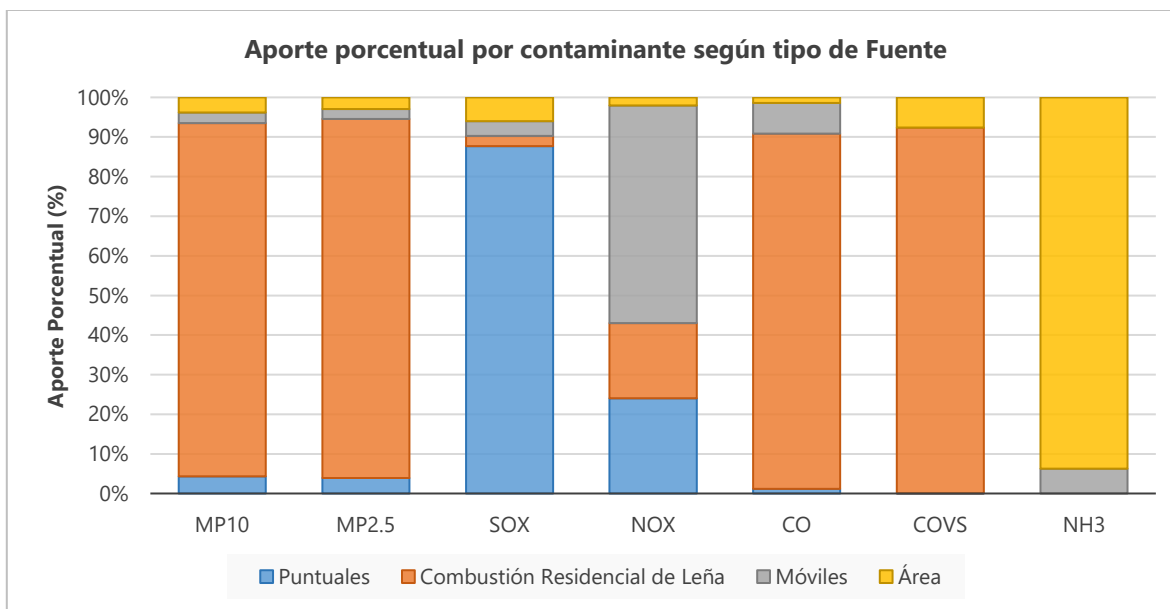


Figura 36. Distribución del inventario de emisiones en Temuco y Padre Las Casas año base 2017

Fuente: Elaboración propia

La Figura 37, presenta una comparación entre las emisiones de MP10 del inventario de emisiones año base 2013 y el año base 2017, apreciándose una baja en las emisiones cercanas al 38% en el caso de las fuentes puntuales. Para el caso de la combustión residencial de leña, se observa un estancamiento entre ambos años en estudio.

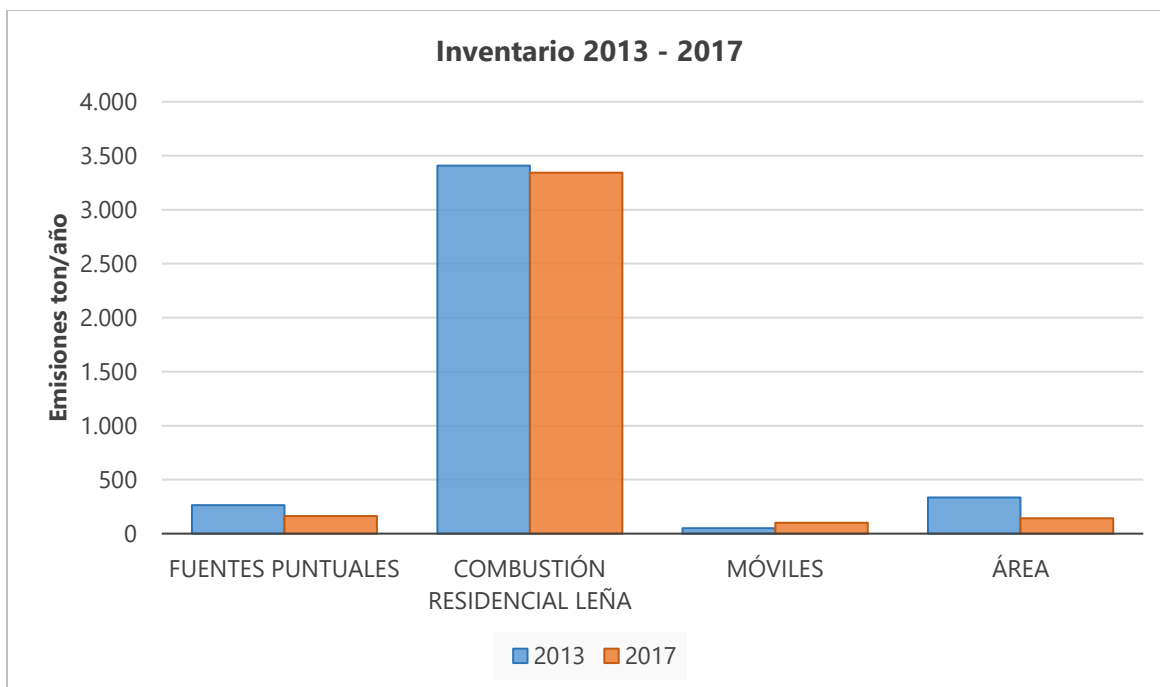


Figura 37. Comparación Inventario de emisiones MP10 en Temuco y Padre Las Casas años 2013 – 2017

Fuente: Elaboración propia

8.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES

Se realizó la distribución temporal anual de las emisiones de MP10 considerando las distintas fuentes de emisión catastradas en el inventario, para el año base 2017.

Para la fuente de combustión residencial de leña se consideró el perfil de uso de los artefactos, obtenidos mediante la aplicación de la "Encuesta de Caracterización Residencial en Relación al Uso de Leña y sus Artefactos de Combustión", distribuyéndose la emisión anual según la intensidad de uso en cada mes.

Para el caso de las fuentes puntuales y móviles se asume que las emisiones se distribuyen de manera equivalente durante todos los meses del año.

Para el caso de las fuentes de área, las emisiones asociadas a quemas e incendios se estimaron según el mes de ocurrencia del evento, de acuerdo a la información proporcionada por CONAF. Las emisiones generadas por fuentes de combustión externa residencial (GLP, GN y Kerosene) también fueron distribuidas durante el año, ya que se cuenta con las estadísticas de ventas mensuales de cada combustible. Para el caso de las actividades de labranza agrícola se consideró que se concentran entre los meses de abril a junio (siembre invernal) y de julio a septiembre (siembre primaveral), ya que son los periodos

de preparación y siembra en la Araucanía [41]. Las demás fuentes de área fueron distribuidas de manera equivalente durante los doce meses del año.

Con estas consideraciones se obtiene la distribución de las emisiones de MP10 del inventario año base 2017 que se presenta en la Figura 38, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas. La gráfica presenta el año dividido en dos periodos, meses fríos y meses cálidos. Se observa que, durante los meses fríos, entre abril y septiembre las emisiones de MP10 asociadas a la combustión residencial de leña ocupan el 94% del total de emisiones en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, repartiéndose entre las demás fuentes el 6% restante. Mientras que, en los meses cálidos, entre octubre y marzo, se observa una fuerte disminución de las emisiones en general, y la combustión residencial de leña, en promedio, representa un 70% de las emisiones totales (Figura 39), llegando a su participación más baja en el mes de febrero con un 43%.

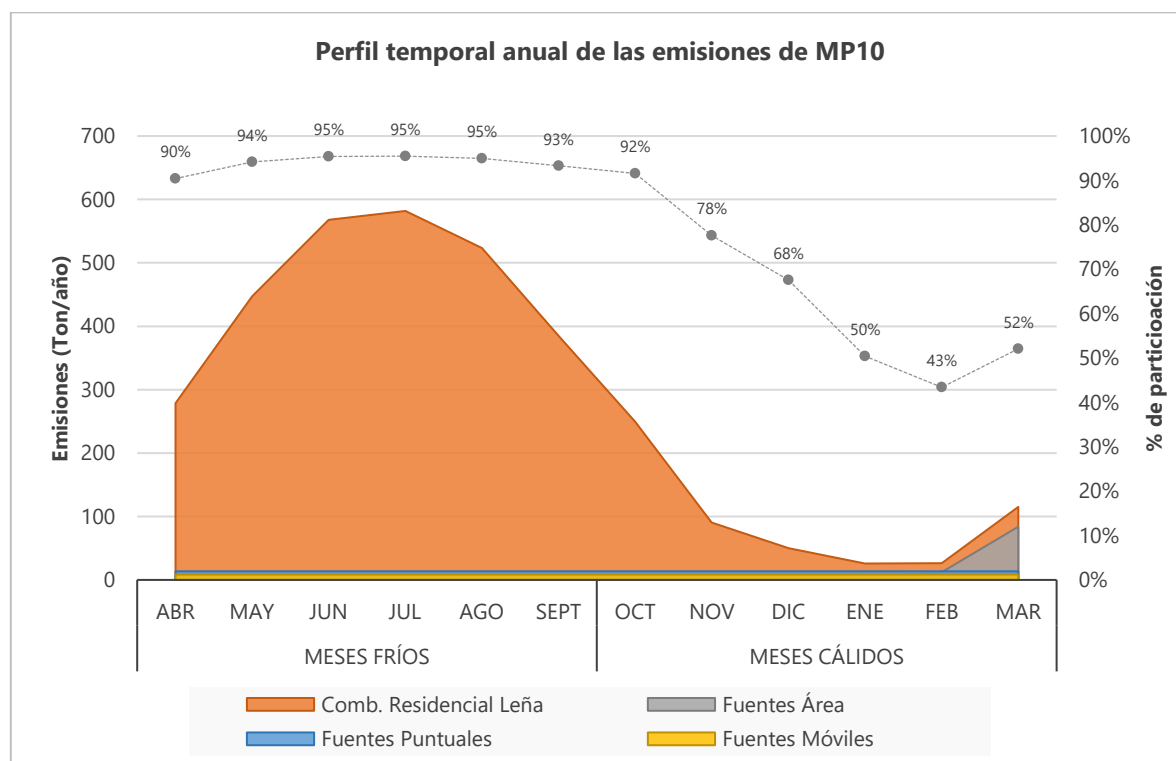


Figura 38. Distribución temporal anual del inventario de emisiones año base 2017, Temuco y Padre Las Casas.

Fuente: Elaboración propia

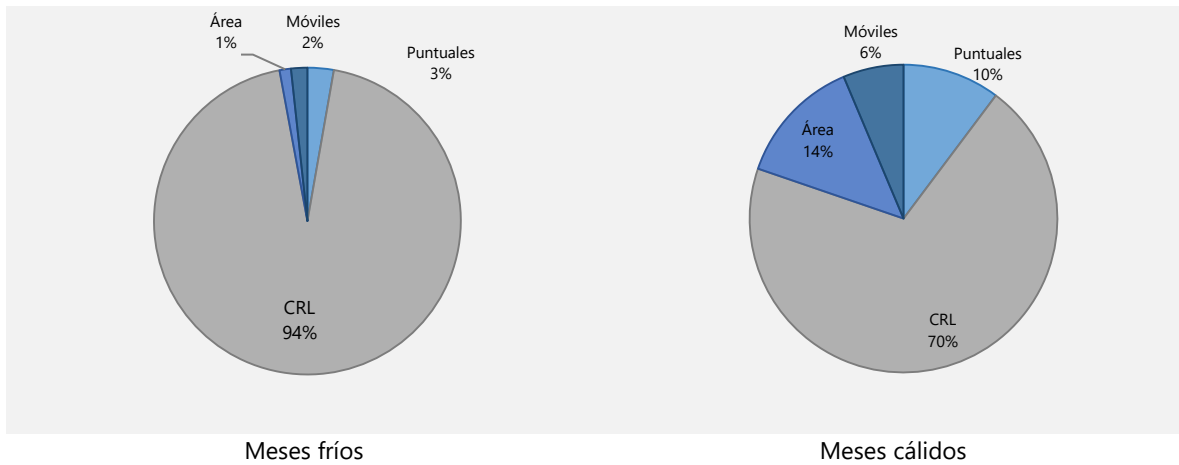
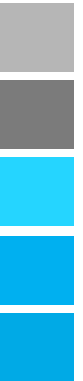


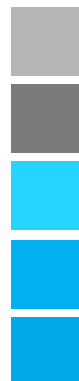
Figura 39. Distribución del inventario de emisiones según temporada Temuco y Padre Las Casas, año base 2017

Fuente: Elaboración propia



PROYECCIÓN

INVENTARIO DE EMISIÓN 2025



9 PROYECCIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN FUENTES DE EMISIÓN

9.1 FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES: COMBUSTIÓN Y PROCESOS

Para la proyección de las emisiones de fuentes puntuales, se utilizó como base el crecimiento del PIB regional, el cuál fue proyectado a partir de los datos recabados por INE, ver Figura 40. Así un incremento del 36% es alcanzado al año 2025, lo que impacta directamente en los niveles de actividad, que según este escenario crece de manera lineal un 36%, lo que se tomaría como única variable de expansión para actividad económica. Es importante mencionar que actualmente las emisiones de Temuco y Padre las Casas han reportado una disminución considerable, lo que obedece a la entrada en vigencia del PDA, acatándose e implementándose las medidas ahí dispuestas para fuentes puntuales, por tanto, se parte una proyección desde un escenario regulado que no permite la aplicación de medidas restrictivas adicionales, asumiéndose de este modo que el incremento está dado por la expansión de la actividad económica. Para el caso de las emisiones de calderas residenciales se propone un factor de crecimiento poblacional proyectado a partir del CENSO 2017, el que entrega un incremento del 10% sobre la base de las emisiones totales de la tipología de fuente.

De este modo los resultados se presentan en función de las emisiones para Temuco, Padre Las casas y la sumatoria de ambas comunas.

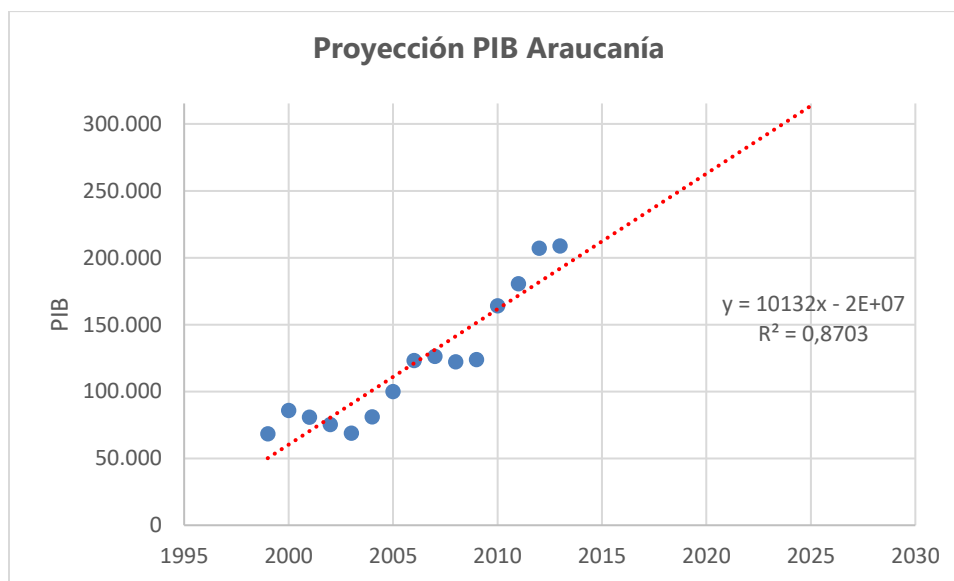


Figura 40. Proyección PIB Araucanía
Fuente: Elaboración propia en base a información INE

La proyección se realiza en al año 2025 considerando el escenario base (pasivo) y PDA (ideal) con la misma base de cálculo, ya que la implementación del PDA no fija condiciones para esta fuente, hacia el horizonte de evaluación.

Tabla 166. Proyección inventario de fuentes puntuales año 2025 para Temuco y Padre Las Casas

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	126,0	116,7	64,6	766,1	783,5	16,1	
		Caldera Industrial	29,1	21,9	631,3	164,6	131,5	3,5	
		Caldera Calef. Residencial	2,9	1,1	65,7	45,3	12,3	0,8	
		SubTotal Comb. Externa Puntual	158,0	139,7	761,6	976,0	927,2	20,4	
	Combustión Interna	Equipo Electrógeno	0,2	0,2	0,4	6,2	1,1	0,1	
		SubTotal Comb. Interna	0,2	0,2	0,4	6,2	1,1	0,1	
Procesos	Industria de la Madera y Papel	Fabricación de Artículos y Muebles	0,5	0,5	-	-	1,2	-	
		Fabricación de Madera Elaborada	-	-	-	-	-	-	
		SubTotal Mad. Y Papel	0,5	0,5	-	-	1,2	-	
	Industria Alimentaria y Agropecuaria	Panaderías	1,2	1,1	0,8	7,8	1,9	0,2	
		Faenamiento de Animales	-	-	-	-	-	-	
		Procesamiento de Granos	2,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	
		SubTotal Alimento y Agro.	4,0	1,9	0,8	7,8	1,9	0,2	
	Industria de Productos Minerales	Fabricación de Hormigón y Extracción de Áridos	22,8	5,5	3,9	-	83,5	-	
		SubTotal Prod. Min.	22,8	5,5	3,9	-	83,5	-	
	Industria Metalúrgica Secundaria	Productos de Hierro y Acero	5,9	5,5	3,9	-	69,7	-	
		SubTotal Metalúrgica Secundaria	5,9	5,5	3,9	-	69,7	-	
	Otros	Otros	0,1	0,1	0,1	1,3	0,2	0,0	
		Sub Otros	0,1	0,1	0,1	1,3	0,2	0,0	
	Evapor ativas	Evaporativas Puntuales	Fabricación de Artículos Plásticos	-	-	-	-	-	-
			SubTotal Evaporativas	-	-	-	-	-	-
TOTAL			191,5	153,5	770,6	991,4	1.084,9	20,7	

Fuente: Elaboración propia

9.2 PROYECCIÓN INVENTARIO: COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA

A continuación, en la Tabla 167 y Tabla 168 se muestran las emisiones estimadas bajo 2 escenarios de proyección del inventario base 2017, correspondientes a un escenario pasivo y un escenario ideal, respectivamente. Ambos escenarios reflejan el nivel o tasa de implementación del PDA, donde el escenario pasivo proyecta el comportamiento actual observado en los primeros años de implementación del PDA (2015-2017), y el escenario ideal proyecta un comportamiento acelerado de implementación de medidas.

Tabla 167. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017), bajo un escenario pasivo de implementación del PDA.

ARTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	453,5	422,2	15.184,9	59,3	4,6	12.710,8	35,2
Salamandra	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Lenta S/T	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Lenta C/T	1.229,5	1.144,7	20.617,6	231,4	2,6	9.643,1	906,8
Chimenea y otras	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor a Pellet	53,1	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	598,9	557,6	13.361,7	194,5	2,2	8.108,4	-
Nueva Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	2.335,1	2.124,5	49.164,3	485,2	9,4	30.462,3	941,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla 168. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017), bajo un escenario ideal de implementación del PDA.

ARTEFACTO	MP10	MP2,5	CO	NOx	SOx	COVs	HAPs
Cocina a Leña	353,2	328,8	12.163,2	48,2	3,9	9.554,2	28,0
Salamandra	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Lenta S/T	-	-	-	-	-	-	-
Combustión Lenta C/T	950,1	884,5	15.915,1	193,4	3,2	7.258,3	567,8
Chimenea y otras	-	-	-	-	-	-	-
Calefactor a Pellet	48,0	-	-	-	-	-	-
Calefactor certificado	338,4	315,1	7.969,8	134,5	2,2	5.047,2	-
Nueva Tecnología	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	1.689,7	1.528,4	36.048,1	376,0	9,3	21.859,7	595,8

Fuente: elaboración propia.

9.3 FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA: COMERCIALES, QUEMAS Y OTRAS

En general, las fuentes estacionarias de área se proyectan en función de su nivel de actividad, el cual se encuentra asociado, según el tipo de fuente, a estadísticas de población, venta de combustibles y actividades agropecuarias, entre otras muy variadas. La Tabla 169 presenta de manera resumida, la referencia empleada para proyectar el nivel de actividad según subcategoría de fuente.

Tabla 169. Proyección año 2025, de las emisiones estimadas para el escenario base (2017)

Fuente	Categoría	Subcategoría	Proyección Nivel de actividad año 2025
Fuentes residenciales	Combustión externa	Gas licuado (GLP)	Proyectado en base a información histórica respecto de ventas de GLP y Kerosene (2006-2017).
		Gas natural (GN)	No se proyecta por no contar con data histórica. (venta desde 2017) (Se mantiene emisión año base).
		Kerosene	Proyectado en base a información histórica respecto de ventas de GLP y Kerosene (2006-2017).
	Evaporativas Residenciales	Solventes uso doméstico	Proyectado en base a información histórica de población (censo 1992 – 2002 -2017).
		Pintura arquitectónica	Proyectado en base a información histórica de población (censo 1992 – 2002 -2017).
		Emisiones Residenciales de NH ₃	Proyectado en base a información histórica de población según rango de edad (censo 1992 – 2002 -2017).
		Fugas Residenciales de GLP	Proyectado en base a información histórica respecto de ventas de GLP y Kerosene (2006-2017).
	Fuentes comerciales	Evaporativas Comerciales	Distribución de combustibles
Lavasecos			No se proyecta por no contar con data histórica. (Se mantiene emisión año base).
Pintura industrial (vehículo)			Proyectado en base a información histórica de población (censo 1992 – 2002 -2017).
Aplicación de asfalto			No se cuenta con datos históricos de pavimentación por comuna, por lo que no se realiza proyección. (Se mantiene emisión año base).

		Fugas comerciales de GLP	Proyectado en base a información histórica respecto de ventas de GLP y Kerosene (2006-2017).
	Restaurantes y comida rápida	Restaurantes	No se cuenta con datos históricos, por lo que no se realiza proyección. (Se mantiene emisión año base).
		Asadurías	No se cuenta con datos históricos, por lo que no se realiza proyección. (Se mantiene emisión año base).
Quemas	Quemas e Incendios	Quemas agrícolas	Los últimos registros de quemas agrícolas no presentan una tendencia clara, lo que no permite proyectar el nivel de actividad. (Se mantiene emisión año base).
		Incendios forestales	Los últimos registros de incendios forestales no presentan una tendencia clara, lo que no permite proyectar el nivel de actividad. (Se mantiene emisión año base).
		Incendios urbanos Incendio de vehículos	Ocurrencia de incendios corresponde a eventos, lo que no permite proyectar el nivel de actividad. (Se mantiene emisión año base).
		Consumo de cigarrillos	Proyectado en base a información histórica de población según rango de edad (censo 1992 – 2002 -2017).
Otras fuentes de Área	Disposición de residuos	Emis. desde vertederos	Proyectado mediante LandGEM
		Aguas servidas (PTAS)	Proyectado en base a información histórica de población (censo 1992 – 2002 -2017).
	Emis. Biogénicas	Emisiones biogénicas	No se proyecta
	Actividades agropecuarias	Aplicación de fertilizantes	Proyección realizada en base a análisis de datos históricos de superficie por tipo de cultivo en la Araucanía (años 2004-2017) según información de INE- Estadísticas Agropecuarias
		Labranza agrícola	Proyección realizada en base a análisis de datos históricos de superficie por tipo de cultivo en la Araucanía (años 2004-2017) según información de INE- Estadísticas Agropecuarias
		Crianza animal	Proyección realizada según datos de estadísticas agropecuarias INE, (año 2004-2014)

Fuente: Elaboración propia

Con la proyección de los niveles de actividad al año 2025 se realizó la estimación de emisiones para el escenario proyectado que se presenta a continuación, en la Tabla 170 y Tabla 171 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas respectivamente.

Tabla 170. Proyección año 2025 inventario de emisiones de fuentes de área Temuco

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES FUENTES DE ÁREA TEMUCO (Ton/año)						
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
COMB. EXTERNA	GLP Y KEROSENE	0,6	0,5	31,9	30,3	1,0	1,2	
FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	SOLVENTES DE USO DOMÉSTICO						997,5	
	PINTURA ARQUITECTÓNICA						428,5	
	EMISIONES RESIDENCIALES DE NH							249,4
	FUGAS RESIDENCIALES DE GLP						323,6	
FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE						264,9	
	LAVASECOS						25,8	
	PINTURA INDUSTRIAL (VEHÍCULOS)						44,1	
	APLICACIÓN DE ASFALTO						49,4	
	FUGAS COMERCIALES DE GLP						291,1	
RESTORANES	RESTAURANTES Y ASADURÍAS	1,1	1,1	0,0	0,2	0,2		
QUEMAS	QUEMAS AGRÍCOLAS	8,8	8,3	0,6	3,2	84,6	5,7	1,3
	INCENDIOS FORESTALES	14,1	12,0	1,5	5,1	133,7	9,5	1,4
	INCENDIOS URBANOS	4,3			1,4	59,1	5,1	
	CONSUMO CIGARRILLOS	2,4			0,3	28,2	0,1	1,5
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	EMISIONES DESDE VERTEDEROS	1,8			4,3	80,3	191,8	
	P.T. AGUAS SERVIDAS						0,6	129,5
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	APLICACIÓN DE FERTILIZANTES							95,7
	LABRANZA AGRÍCOLA	14,0	0,5				7,7	
	CRianza ANIMAL							356,8
TOTAL		47,0	22,4	34,0	44,7	387,0	2.646,4	835,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 171. Proyección año 2025 inventario de emisiones de fuentes de área PLC

FUENTES DE EMISIÓN		EMISIONES FUENTES DE ÁREA TEMUCO (Ton/año)						
		MP10	MP2,5	SO ₂	NO _x	CO	COV	NH ₃
COMB. EXTERNA	GLP Y KEROSENE	0,2	0,1	8,6	8,2	2,1	0,3	
FUENTES EVAPORATIVAS RESIDENCIALES	SOLVENTES DE USO DOMÉSTICO						285,1	
	PINTURA ARQUITECTÓNICA						122,5	
	EMISIONES RESIDENCIALES DE NH							52,7
	FUGAS RESIDENCIALES DE GLP						87,2	
FUENTES EVAPORATIVAS COMERCIALES	DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE						74,7	
	LAVASECOS							
	PINTURA INDUSTRIAL (VEHÍCULOS)						12,6	
	APLICACIÓN DE ASFALTO						101,1	
	FUGAS COMERCIALES DE GLP						78,5	
RESTORANES	RESTAURANTES Y ASADURÍAS	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
QUEMAS	QUEMAS AGRÍCOLAS	74,2	69,7	4,3	23,9	619,6	42,4	9,3
	INCENDIOS FORESTALES	7,0	5,9	0,8	2,5	66,1	3,1	0,7
	INCENDIOS URBANOS	0,8			0,2	9,5	0,8	
	CONSUMO CIGARRILLOS	0,6			0,1	6,6	0,0	0,4
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	EMISIONES DESDE VERTEDEROS							
	P.T. AGUAS SERVIDAS							

ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	APLICACIÓN DE FERTILIZANTES							134,7
	LABRANZA AGRÍCOLA	22,7	0,9				12,5	
	CRIANZA ANIMAL							504,0
TOTAL		105,5	76,8	13,6	34,9	704,0	820,8	701,6

Fuente: Elaboración propia

La Figura 41 y Figura 42 presentan de manera gráfica la comparación entre los escenarios base (año 2017) y proyectado (año 2025) para las comunas de Temuco y Padre Las Casas en su conjunto para material particulado y gases. En la figura es posible observar que el MP10 experimenta una leve alza asociado principalmente a actividades agrícolas, las cuales aportan a la fracción respirable del MP10 y no a la fracción fina MP2,5, manteniéndose este último casi constante.

Para el caso de los gases se observa una reducción en el CO, debido principalmente a la fuente de disposición de residuos en vertedero, el cual reduce su emisión en el tiempo, al no recibir más residuos desde el año 2016.

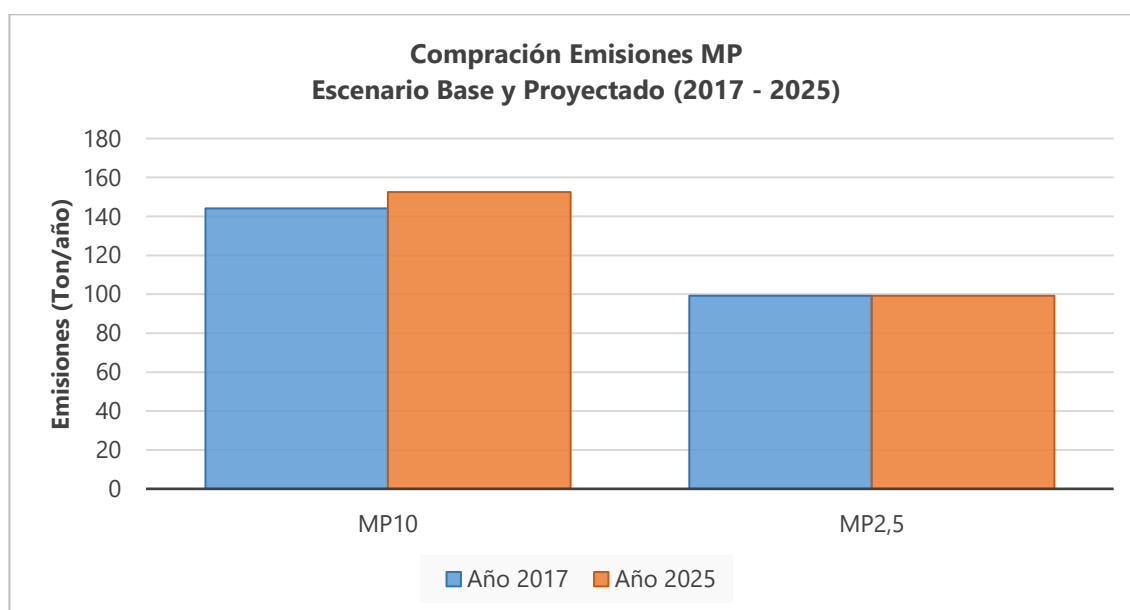


Figura 41. Comparación emisiones de MP escenario 2017 – 2025

Fuente: Elaboración propia

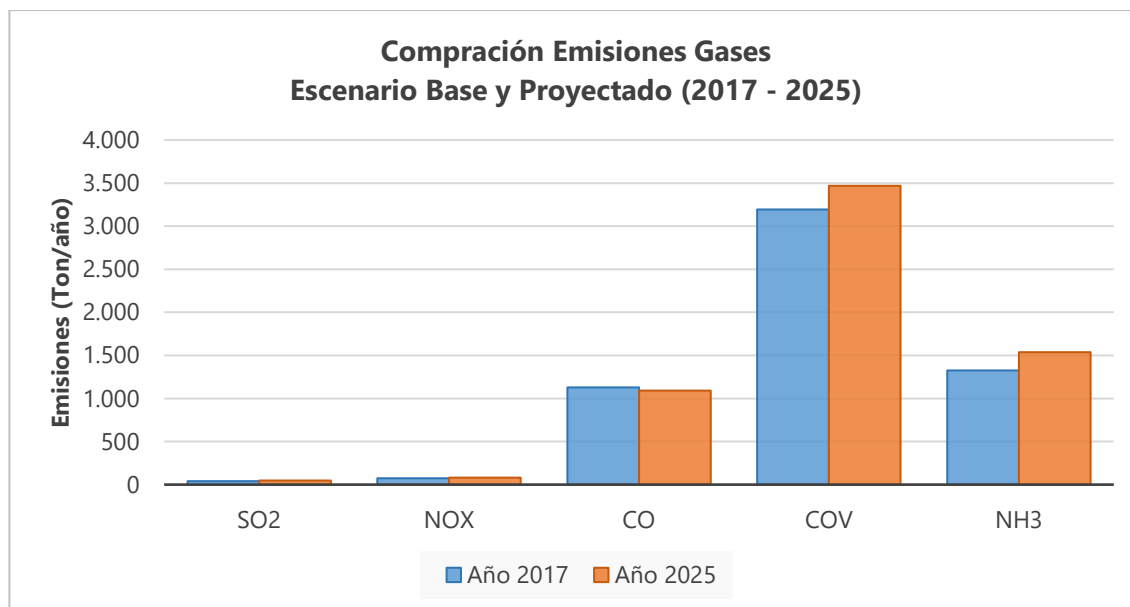


Figura 42. Comparación emisiones de Gases escenario 2017 – 2025

Fuente: Elaboración propia

9.4 FUENTES MÓVILES: EN RUTA Y FUERA DE RUTA

La proyección del inventario de emisiones de fuentes móviles para el año 2025 se realiza de acuerdo a la proyección del parque vehicular, en función de la información histórica de los anuarios para Temuco y Padre Las Casas (2007-2017), el cual presenta un crecimiento lineal, tal como se aprecia en la Figura 43.

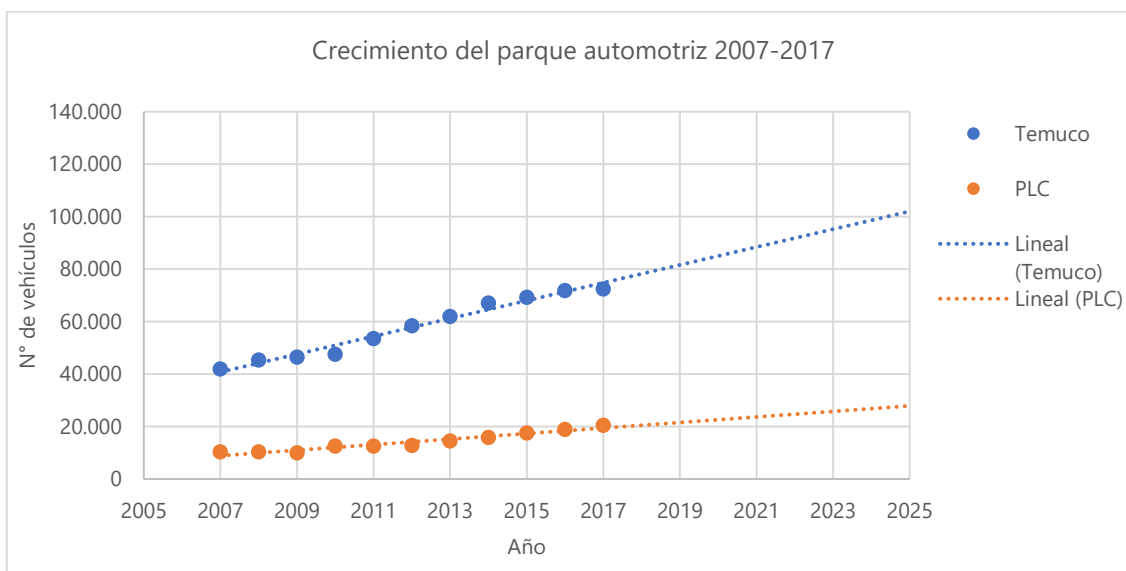


Figura 43. Crecimiento del parque vehicular Temuco y PLC 2007-2017

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información histórica, se obtiene la proyección al año 2025, como se observa en la Tabla 172, sobre el cual se realizará la proyección de la estimación de emisiones.

Tabla 172. Parque vehicular Temuco y PLC años 2007-2017 y proyección 2025

Año	Temuco	PLC
2007	41.969	10.322
2008	45.314	10.351
2009	46.418	9.980
2010	47.518	12.485
2011	53.475	12.483
2012	58.350	12.790
2013	61.968	14.451
2014	67.033	15.856
2015	69.229	17.550
2016	71.769	18.887
2017	72.479	20.435
2025	102.013	27.869

Fuente: INE 2017

Para el caso de las fuentes móviles fuera de ruta, se tienen las siguientes consideraciones:

- Maquinaria agrícola: Se proyectaron los niveles de actividad en función de la proyección de la superficie cultivada por tipo de cultivo, de acuerdo a información histórica del INE.

Tabla 173. Proyección cultivos agrícolas año 2025

Tipo Cultivo	Superficie 2025 (ha)	
	Temuco	PLC
Cereales y Chacras	4.358,65	6.132,63
Industriales	2.612,11	4.360,10
Hortalizas	429,12	742,80
Frutales	132,20	122,80
Total	7.532,08	11.358,33

Fuente: INE 2017

- Maquinaria de Construcción: Las emisiones se deben proyectar en función de la proyección de la superficie construida al año 2025. Sin embargo, la observación de la data histórica de superficie autorizada disponible para el análisis desde los años 1995 a 2017 no muestra una tendencia clara que permita proyectar la información requerida de manera certera, tal como se puede observar en la Figura 44. Por esta razón, para el escenario proyectado se mantendrá la emisión estimada para el escenario base.

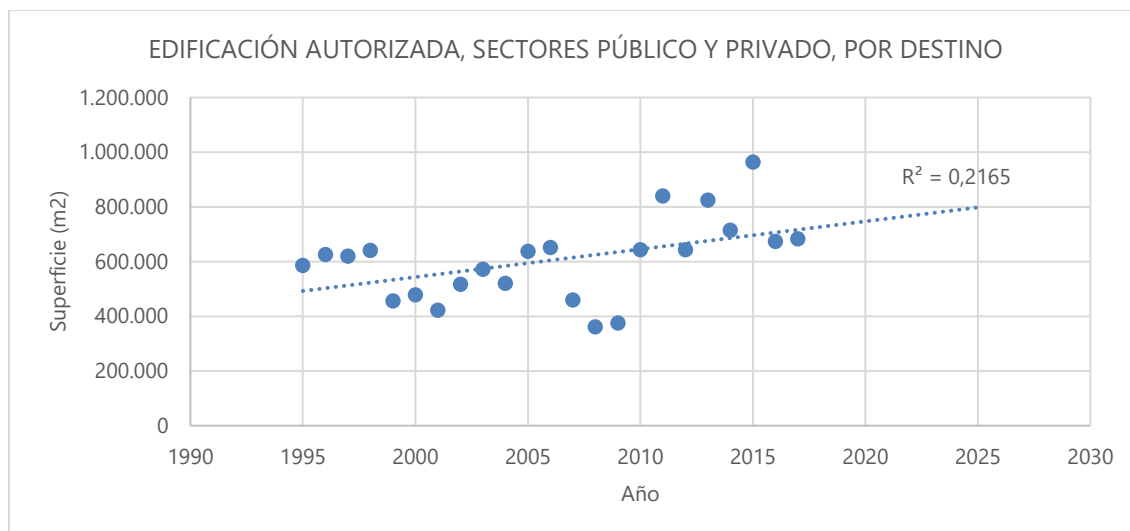


Figura 44. Data histórica de edificaciones Temuco y PLC 1995-2017

Fuente: Elaboración propia en base a INE 2017

Tabla 174. Estimación de emisiones Fuentes Móviles Temuco 2025

Fuente		Emisión Temuco (Ton/año) 2025					
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	NH ₃
	Transporte particular y otros	59,3	45,2	4,8	1.141,2	7.209,8	99,5
	Transporte colectivo	81,8	75,7	2,0	1.719,1	645,5	18,2
	Transporte de carga	7,5	6,8	0,2	205,7	46,7	0,2
	Total Móviles En Ruta	148,7	127,7	7,0	3.066,0	7.902,0	117,9
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	2,1	2,1	4,9	24,1	16,0	ND
	Maquinaria Construcción	3,8	3,7	6,7	32,6	33,6	ND
	Total Móviles Fuera De Ruta	5,9	5,7	11,6	56,7	49,6	-
Total		154,6	133,4	18,6	3.122,7	7.951,5	117,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 175. Estimación de emisiones Fuentes Móviles PLC 2025

Fuente		Emisión Padre Las Casas (Ton/año) 2025					
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	NH ₃
	Transporte particular y otros	6,5	5,0	0,5	126,0	792,1	9,6
	Transporte colectivo	7,0	6,6	0,1	150,1	47,5	0,7
	Transporte de carga	1,0	0,9	0,0	26,1	6,3	0,0
	Total Móviles En Ruta	14,5	12,5	0,7	302,2	845,9	10,4
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	3,5	3,4	8,6	41,8	25,6	ND
	Maquinaria Construcción	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	ND
	Total Móviles Fuera De Ruta	3,5	3,4	8,7	42,1	25,9	-
Total		18,0	15,9	9,4	344,3	871,7	10,4

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el PDA [2], establece en el Capítulo V. Regulación para el control de emisiones del transporte, Artículo 55, lo siguiente:

“Artículo 55.- Dentro de los 7 años, contados a partir de la publicación del presente Decreto en el Diario Oficial, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones deberá incorporar en las medidas de ordenamiento, gestión y mejoras tecnológicas del transporte público de las comunas de la zona saturada, exigencias orientadas a reducir las emisiones MP y NOx provenientes del sistema de transporte público en un 40% y 35% respectivamente. Para cumplir con dicha reducción, se podrán contemplar incentivos para la incorporación de flotas de vehículos con menores emisiones, incorporación de sistemas de post tratamiento de emisiones y la incorporación de otras alternativas tecnológicas a los combustibles tradicionales, entre otros”.

Por lo que con las medidas indicadas se deberá contar con dicha reducción de emisiones para el transporte público en noviembre de 2022, por lo que para el escenario proyectado al año 2025 se considera la reducción indicada, asumiendo que se ejecuta de manera correcta la medida.

Tabla 176. Estimación de emisiones Fuentes Móviles Temuco 2025 – Escenario PDA

Fuente		Emisión Temuco (Ton/año) 2025					
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NOx	CO	NH ₃
	Transporte particular y otros	59,3	45,2	4,8	1.141,2	7.209,8	99,5
	Transporte colectivo	49,1	45,4	2,0	1.117,4	645,5	18,2
	Transporte de carga	7,5	6,8	0,2	205,7	46,7	0,2
	Total Móviles En Ruta	115,9	97,4	7,0	2.464,3	7.902,0	117,9
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	2,1	2,1	4,9	24,1	16,0	ND
	Maquinaria Construcción	3,8	3,7	6,7	32,6	33,6	ND
	Total Móviles Fuera De Ruta	5,9	5,7	11,6	56,7	49,6	-
Total		121,8	103,1	18,6	2.521,0	7.951,5	117,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 177. Estimación de emisiones Fuentes Móviles PLC 2025 – Escenario PDA

Fuente		Emisión Temuco (Ton/año) 2025					
Móviles En Ruta	Categoría Vehicular	MP10	MP 2,5	SO ₂	NO _x	CO	NH ₃
	Transporte particular y otros	6,5	5,0	0,5	126,0	792,1	9,6
	Transporte colectivo	4,2	3,9	0,1	97,6	47,5	0,7
	Transporte de carga	1,0	0,9	0,0	26,1	6,3	0,0
	Total Móviles En Ruta	11,7	9,9	0,7	249,6	845,9	10,4
Móviles Fuera de Ruta	Maquinaria Agrícola	3,5	3,4	8,6	41,8	25,6	ND
	Maquinaria Construcción	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	ND
	Total Móviles Fuera De Ruta	3,5	3,4	8,7	42,1	25,9	-
Total		15,2	13,3	9,4	291,7	871,7	10,4

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el transporte público representa la segunda mayor categoría aportante de emisiones a las fuentes móviles, para los contaminantes MP10 y NO_x, por lo que la reducción de sus emisiones en un 40% y 35% respectivamente, representa una repercusión importante en la reducción total de la fuente. De esta manera, se puede estimar una reducción del 21% y 23% para MP10 y MP2,5 respectivamente, para la comuna de Temuco, mientras que para Padre Las Casas, la reducción alcanzaría un 16 y 17% para ambos contaminantes, tal como se presenta en la Figura 45, lo cual se debe a que en esta última comuna la incidencia del transporte público en las emisiones totales es menor que en la ciudad de Temuco.

En relación a los NO_x, se observa una reducción del 19% y 17% para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente, tal como se presenta en la Figura 46.

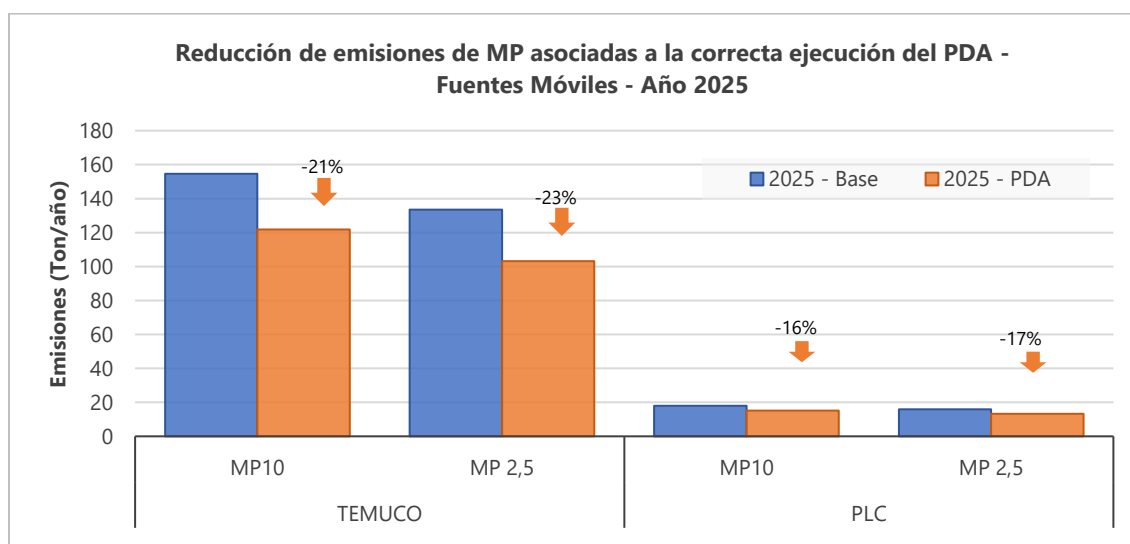


Figura 45. Reducción de emisiones de MP por aplicación de medidas PDA año 2025

Fuente: Elaboración propia

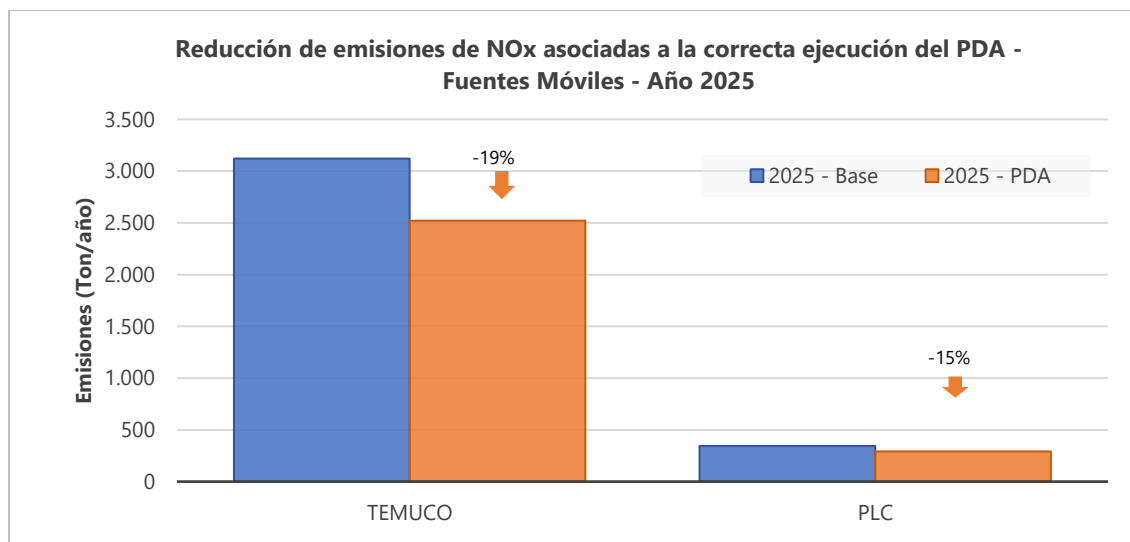


Figura 46. Reducción de emisiones de NOx por aplicación de medidas PDA año 2025

Fuente: Elaboración propia

9.5 FUENTES FUGITIVAS

Para la proyección de las emisiones de fuentes fugitivas se tienen las siguientes consideraciones:

- **Actividades de construcción:** Al igual que para las fuentes móviles fuera de ruta, las emisiones se deben proyectar en función de la proyección de la superficie construida al año 2025. Sin embargo, la observación de la data histórica de superficie autorizada disponible para el análisis desde los años 1995 a 2017 no muestra una tendencia clara que permita proyectar la información requerida de manera certera, tal como se puede observar en la Figura 44. Por esta razón, para el escenario proyectado se mantendrá la emisión estimada para el escenario base.
- **Polvo resuspendido por Tránsito de Vehículos:** La proyección de las emisiones para esta fuente al año 2025 se realiza de acuerdo a la proyección del parque vehicular, en función de la información histórica de los anuarios para Temuco y Padre Las Casas (2007-2017), el cual presenta un crecimiento lineal, tal como se aprecia en la Figura 43. De esta manera se obtiene las emisiones proyectadas que se presentan en la Tabla 178.

Tabla 178. Proyección de emisiones año 2025 de polvo resuspendido

Año	Emisiones (Ton/año) Temuco			Emisiones (Ton/año) PLC		
	PTS	PM10	PM 2,5	PTS	PM10	PM 2,5
2025	6.743	1.292	185	804	154	22

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, se estima la proyección del inventario de emisiones al año 2025, tal como se observa en la Tabla 179, que presenta los resultados, según actividad, para cada comuna en Ton/año.

Tabla 179. Resumen de estimación de emisiones para Fuentes Fugitivas año 2025

Actividad	Emisiones Temuco (Ton/año)			Emisiones PLC (Ton/año)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Viviendas	65,1	31,9	-	14,5	7,1	-
Industria, comercio y est. financieros (m²)	22,4	11,0	-	4,5	2,2	-
Servicios (m²)	11,5	5,6	-	16,9	8,3	-
Subtotal Construcción	98,9	48,5	-	35,9	17,6	-
Polvo resuspendido	6.742,6	1.292,3	185	803,8	154,1	22
Subtotal Polvo	6.742,6	1.292,3	185,4	803,8	154,1	22,1
Total Fugitivas	6.841,5	1.340,8	185,4	839,7	171,7	22,1

Fuente: Elaboración propia

9.6 RESUMEN INVENTARIO PROYECTADO

La proyección del inventario de emisiones se realiza en 2 escenarios, base (pasivo) y PDA (ideal), en un horizonte al año 2025. El resumen del inventario proyectado se presenta a continuación en la Tabla 180, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas en su conjunto, considerando las categorías de fuentes puntuales, área (combustión residencial de leña y otras), móviles y fugitivas.

Tabla 180. Resumen del inventario de emisiones año 2025 Temuco y Padre Las Casas –
Caso Base (pasivo)

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	Comb. Externa Puntual	158,0	139,7	761,6	976,0	927,2	20,4	1,3
	Comb. Interna	0,2	0,2	0,4	6,2	1,1	0,1	0,0
	Mad. Y Papel	0,5	0,5	-	-	1,2	-	0,0
	Alimento y Agropecuaria	4,0	1,9	0,8	7,8	1,9	0,2	0,0
	Prod. Min.	22,8	5,5	3,9	-	83,5	-	0,5
	Metalúrgica Secundaria	5,9	5,5	3,9	-	69,7	-	0,1
	Otros	0,1	0,1	0,1	1,3	0,2	0,0	0,0
	Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-
	Fuentes Puntuales	191,5	153,5	770,6	991,4	1.084,9	20,7	2,0
Fuentes de Área	Comb. Residencial Leña	2.335,1	2.124,5	9,4	485,2	49.164,3	30.462,3	-
	Combustión externa	0,7	0,7	40,5	38,4	3,1	1,5	-
	Evaporativas residenciales	-	-	-	-	-	2.244,3	302,1
	Evaporativas comerciales	-	-	-	-	-	942,2	-
	Restaurantes	1,2	1,2	0,0	0,2	0,2	-	-
	Quemas	112,1	95,9	7,2	36,6	1.007,5	66,5	14,5
	Disposición de residuos	1,8	-	-	4,3	80,3	192,4	129,5
	Actividades agrícolas	36,7	1,4	-	-	-	20,2	1.091,2
	Fuentes Área	152,5	99,1	47,6	79,6	1.091,0	3.467,2	1.537,3
Fugitivas	Construcción	84,4	-	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	1.446,4	207,5	-	-	-	-	-
	Fuentes Fugitivas	1.530,8	207,5	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	Transporte particular y otros	65,9	50,2	5,3	1.267,2	8.001,9	-	109,1
	Transporte colectivo	88,8	82,3	2,1	1.869,2	692,9	-	18,9
	Transporte de carga	8,5	7,7	0,2	231,8	53,0	-	0,2
	F.M. En ruta - Subtotal	163,2	140,2	7,6	3.368,2	8.747,8	.	128,2
	Maquinaria Agrícola	5,6	5,4	13,6	65,9	41,6	-	N.D.
	Maquinaria Construcción	3,8	3,7	6,7	32,8	33,9	-	N.D.
	F.M. Fuera de Ruta - Subtotal	9,4	9,1	20,3	98,8	75,5	.	-
	Fuentes Móviles	172,6	149,3	28,0	3.466,9	8.823,3	-	128,2
TOTAL		4.382,4	2.733,9	855,6	5.023,1	60.163,5	33.950,2	1.667,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 181. Resumen del inventario de emisiones año 2025 Temuco y Padre Las Casas –
Caso PDA (ideal)

Categoría	Sub-Categoría	MP10	MP2,5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	Comb. Externa Puntual	140,2	125,0	638,9	928,2	882,7	19,0	1,0
	Comb. Interna	0,2	0,2	0,4	6,1	1,1	0,1	0,0
	Mad. Y Papel	0,5	0,5	-	-	1,2	-	0,0
	Alimento y Agropecuaria	4,0	1,9	0,8	7,4	1,9	0,2	0,0
	Prod. Min.	-	-	-	-	13,9	-	-
	Metalúrgica Secundaria	-	-	-	-	-	-	-
	Otros	0,1	0,1	0,1	1,3	0,2	0,0	0,0
	Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-
	Fuentes Puntuales	145,0	127,6	640,2	943,0	900,9	19,3	1,0
Fuentes de Área	Comb. Residencial Leña	1.689,7	1.528,4	9,3	376,0	36.048,1	21.859,7	-
	Combustión externa	0,7	0,7	40,5	38,4	3,1	1,5	-
	Evaporativas residenciales	-	-	-	-	-	2.244,3	302,1
	Evaporativas comerciales	-	-	-	-	-	942,2	-
	Restaurantes	1,2	1,2	0,0	0,2	0,2	-	-
	Quemas	112,1	95,9	7,2	36,6	1.007,5	66,5	14,5
	Disposición de residuos	1,8	-	-	4,3	80,3	192,4	129,5
	Actividades agrícolas	36,7	1,4	-	-	-	20,2	1.091,2
	Fuentes Área	152,5	99,1	47,6	79,6	1.091,0	3.467,2	1.537,3
Fugitivas	Construcción	84,4	-	-	-	-	-	-
	Polvo resuspendido	1.446,4	207,5	-	-	-	-	-
	Fuentes Fugitivas	1.530,8	207,5	-	-	-	-	-
Móviles En Ruta	Transporte particular y otros	65,9	50,2	5,3	1.267,2	8.001,9	-	109,1
	Transporte colectivo	53,3	49,4	2,1	1.215,0	692,9	-	18,9
	Transporte de carga	8,5	7,7	0,2	231,8	53,0	-	0,2
	F.M. En ruta - Subtotal	127,6	107,3	7,6	2.713,9	8.747,8	.	128,2
	Maquinaria Agrícola	5,6	5,4	13,6	65,9	41,6	-	N.D.
	Maquinaria Construcción	3,8	3,7	6,7	32,8	33,9	-	N.D.
	F.M. Fuera de Ruta - Subtotal	9,4	9,1	20,3	98,8	75,5	.	-
	Fuentes Móviles	137,1	116,4	28,0	2.812,7	8.823,3	-	128,2
TOTAL		3.655,1	2.079,1	725,1	4.211,3	46.863,3	25.346,2	1.667,5

Fuente: Elaboración propia

10 CONCLUSIONES

En las Comunas de Temuco y Padre Las Casas se emiten alrededor de 135.200 toneladas de contaminantes criterio al año, de los cuales cerca del 60% es monóxido de carbono, un 30% es COVs, cercano al 2%, casi en igual proporción partículas (MP10, MP2,5), óxidos de nitrógeno y en menor proporción, menos del 1%, amoníaco y dióxido de azufre. De estos contaminantes, el sector combustión residencial de leña aporta grandes cantidades, contribuyendo con el 90% del CO, 92% de COVs, 89% de MP10, 91% de MP2,5. Mientras que las fuentes puntuales contribuyen principalmente con el SOx.

En relación al contaminante que se encuentra sobre norma, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas se emiten 3.748 toneladas al año de material particulado respirable (MP10) y 3.413 toneladas al año de material particulado fino (MP2,5), cuya principal fuente de emisión corresponde a la Combustión Residencial de Leña (89% y 91% respectivamente), seguido por las Fuentes Puntuales y de Área con un aporte cercano al 4% para ambos contaminantes y las fuentes móviles como última categoría con un aporte del 3% para ambos contaminantes.

En ambas comunas confluyen diversos factores que proporcionan una mala calidad del aire, tales como la ubicación dentro de la cuenca, el clima, el numeroso parque de calefactores y el uso intensivo de leña, todo lo cual resulta en altas emisiones, especialmente asociadas a los meses más fríos del año. Es así que al obtener la distribución porcentual de las emisiones según cada mes del año se concluye que durante los meses de abril a septiembre la influencia de la combustión residencial de leña en las emisiones alcanza el 95% del total de las emisiones de MP10, mientras que para los meses cálidos (octubre a marzo) alcanza un aporte del 70%.

- En relación a las Fuentes Puntuales:

Tal como se observó en la versión anterior del inventario de emisiones (año base 2013), actualmente se cuenta con un número importante de mediciones en fuentes, lo que hace más robustas las estimaciones de las fuentes puntuales, sin embargo, gran cantidad de las emisiones son estimadas utilizando como fuente principal de información la declaración de emisiones del formulario 138, siendo en este punto relevante el control de calidad de información, y la revisión de registros históricos más allá del año base en estudio.

Actualmente se evidencia una reducción de emisiones para MP10 del orden del 38% respecto del año 2013, situación que se explica por la entrada en vigencia de las medidas del PDA de Temuco y PLC. Maltexco, a través de la instalación de filtros de mangas en sus calderas a carbón concentra la mayor reducción de emisiones, lo que explica la gran disminución general del sector industrial.

De acuerdo a los resultados obtenidos del catastro a calderas de potencia inferior a 75 KWt, se evidencia que del total encuestado un número reducido utiliza tecnologías a leña.

Respecto a los niveles de emisión de SO₂, se cree conveniente ratificar los valores mediante mediciones de gases, debido a que en particular éstas debieran estar representadas por un número reducido de fuentes industriales que utilizan carbón. Siendo el factor de emisión para estos casos una estimación gruesa y poco fiable al depender de los niveles de azufre del combustible.

- En relación a las Fuentes de Combustión Residencial de Leña:

En relación con el análisis metodológico y niveles de actividad:

La metodología de cálculo utilizada para la estimación de emisiones del presente estudio corresponde a la misma utilizada para la actualización del inventario del año base 2013, que fue donde se introdujeron los mayores ajustes. De igual manera, los F.E. seleccionados y aplicados no fueron alterados, por cuanto no se dispone de nuevos antecedentes. Lo anterior, permite que los resultados obtenidos en el presente estudio sean absolutamente comparables con la versión anterior del inventario, ya que estos dependen únicamente de la fuente emisora, y las dinámicas que se observan en torno a ella, determinadas a través de una nueva caracterización de los niveles de actividad.

Se diseñó un instrumento o encuesta estándar para la caracterización residencial en relación con el uso de leña y sus artefactos de combustión. Este instrumento permitió recoger datos específicos para construir los niveles de actividad asociados a la fuente combustión residencial de leña, de fácil comprensión y aplicación, lo cual fue ratificado mediante un efectivo proceso de aplicación.

Se definió un diseño muestral que consideró 1.156 encuestas, para aplicar solamente en viviendas tipo casa, de las cuales 997 encuestas correspondieron a la comuna de Temuco, y 159 encuestas a la comuna de Padre Las Casas. En esta ocasión, para la elaboración del marco muestral se contó con información recientemente actualizada mediante del Censo de población y vivienda del año 2017, lo cual, valida aún más la representatividad del diseño, por cuanto se ajusta a las condiciones reales observadas en el territorio. Hay que recordar

que previamente solo se disponía del Censo 2002, a partir de lo cual se debían construir proyecciones según el año de interés.

La proporción de viviendas que consume leña en el área urbana de la zona de estudio alcanza el 82,8% en la comuna de Temuco, y 72,8% en la comuna de Padre Las Casas. Luego, el consumo promedio de leña en viviendas que declaran consumir este combustible alcanza 8,0 m³/año en Temuco, y 6,9 m³/año en Padre Las Casas. De esto, se tiene que la variación más importante, respecto del inventario del año base 2013, corresponde a lo observado en la comuna de Padre Las Casas. Lo anterior, se respalda en parte, en el hecho de que en esta comuna se concentró gran parte de los subsidios con aportes públicos para el recambio de calefactores, muchos de los cuales correspondieron a una tecnología diferente a la leña, situación que fue replicada por el sector privado, al entregar viviendas nuevas con calefactores distintos a leña, ya instalados. Finalmente, hay que señalar que estos antecedentes sirven de insumo para la proyección de escenarios futuros.

La estimación proyectada del consumo total de leña en el área urbana de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, alcanza los 613.547 m³ estéreos al año, correspondiendo 541.783 m³/año a Temuco y 71.764 m³/año a Padre Las Casas. Los distritos censales que presentan los consumos más altos corresponden a: distrito Labranza (66.291 m³/año), distrito Coihueco (64.278 m³/año), y distrito Santa Rosa (53.246 m³/año), todos en la comuna de Temuco.

La distribución del tipo de artefactos es liderada, en ambas comunas, por calefactores de combustión lenta con templador, con 48,6% en la comuna de Temuco, y 43,2% en la comuna de Padre Las Casas, respectivamente. Luego siguen las cocinas a leña con 17,9% en Temuco y 21,6% en Padre Las Casas, y calefactores combustión lenta sin templador con 16,3% y 15,1%, respectivamente. En menor proporción quedan salamandras con 1,4% y 1,4%, y chimeneas con 1,1% y 0,7% en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, respectivamente. No obstante, el aspecto más importante, en comparación con la versión anterior del inventario (2013), es como ya se empieza a reflejar la penetración de nuevas tecnologías, esto es, calefactores a leña certificados, con 7,3% en Temuco y 2,2% en PLC, y calefactores a Pellet, con 6,5% en Temuco y 15,8% en PLC.

En relación con la estimación de emisiones:

La estimación de emisiones de MP10 y MP2,5 proveniente de la combustión residencial de leña en el área urbana de la comuna de Temuco alcanza a 2.958,2 Ton/año y 2.754,1 Ton/año, respectivamente, mientras que en Padre Las Casas alcanza 383,1 Ton/año y 356,7 Ton/año, respectivamente. Para ambos contaminantes, los distritos censales que presentan las

mayores emisiones corresponden a: distrito Labranza (13,2%), distrito Santa Rosa (10,6%), distrito Coihueco (10,4%), todos de la comuna de Temuco.

Se determinó que en el distrito censal "Caupolicán" de la comuna de Temuco, registra las mayores emisiones por vivienda, con un promedio sobre los 60 Kg MP10/Viv., con lo cual se demuestra que, más allá del tamaño de la unidad territorial analizada, el aporte a la contaminación está finalmente determinado por las condiciones particulares que caracterizan el consumo de leña de cada usuario o grupo de usuarios.

Las emisiones de MP10 y MP2,5 estimadas para la combustión residencial de leña en las comunas de Temuco y Padre Las Casas están fuertemente influenciadas por la calidad de la leña utilizada y el modo de operación de los artefactos. En efecto, el 57,3% de estas emisiones son generadas a partir de una mala operación de los artefactos de combustión (lo que incluye uso de leña seca), mientras que el 32,5% es producto del uso de leña húmeda y tan solo un 10,2% se origina por la combustión adecuada de leña seca (leña seca y buena operación del artefacto).

Para el cálculo de las emisiones se utilizó el supuesto que el consumo de leña es el mismo, en términos de cantidad (kg de leña), cuando se realiza una buena o una mala operación del artefacto, sobre una base de igual tiempo de operación. Luego, de todas las variables consideradas, solo esta podría ser fuente de mayor incertidumbre en la estimación de las emisiones, toda vez que mediante un análisis más específico se podría demostrar que la tasa de quemado de leña (kg leña / hora), o directamente el consumo de leña (kg), es menor cuando se realiza una mala operación del artefacto (tiraje cerrado), respecto a cuando se realiza una buena operación del mismo (tiraje medio-abierto), impactando por defecto, en la estimación de emisiones, y en este caso, en una sobreestimación de las mismas.

La distribución del contenido de humedad de leña propuesta para la estimación de emisiones se realizó en base al total de leña utilizada en el área de estudio, y no consideró una distribución desagregada a nivel de distrito censal, lo cual incide en que la estimación de emisiones para esta unidad territorial, en función de esta variable, no es del todo ajustada.

En relación con la proyección de emisiones:

Se definió un horizonte de proyección del inventario de emisiones año base 2017, al año 2025, correspondiente al último año de ejecución del PDA, para lo cual se consideró 2 escenarios de evaluación, configurados a partir de supuestos de implementación diferenciada de medidas de dicho PDA, a saber, escenario pasivo y escenario ideal, donde el primero refleja las dinámicas de implementación observadas a la fecha, y la segunda, una

dinámica de mayor compromiso de todas las partes involucradas, que implica una tasa de implementación acelerada.

El horizonte de proyección fijado para el año 2025 corresponde al último año de ejecución del PDA, por lo que las diferencias entre un escenario, aun cuando son significativas en el intertanto, se disipan hacia el final. De esta manera, se estima que el stock de artefactos en uso ascenderá a 67.730 unidades para el escenario pasivo y 63.243 unidades para el escenario ideal, lo que equivale a una reducción respecto del escenario base 2017 de 18,3% y 23,7%, respectivamente.

El consumo de leña para el escenario pasivo (2025 pasivo) corresponde a 481.870 m³ de leña al año, mientras que para el escenario ideal (2025 ideal), corresponde a 444.210 m³ de leña al año, lo cual supone una reducción respecto del año base 2017 de 22,4% y 28,4%, respectivamente. Esta reducción se fundamenta, en primer lugar, en la reducción del stock de artefactos, y luego y en gran medida, en la reducción de la demanda energética asociada al mejoramiento térmico de viviendas, sobre la cual se asignó una reducción de 30% en el consumo de leña.

Las emisiones estimadas para el año base 2017 (3.341,3), se ven reducidas en el horizonte de evaluación (2025), para ambos escenarios de proyección. En efecto, las emisiones estimadas para el escenario pasivo (2025 pasivo) corresponden a 2.105,6 Ton/año MP10 y 1.951,0 Ton/año MP2,5, mientras que para el escenario ideal (2025 ideal) corresponden a 1.560,7 Ton/año MP10 y 1.453,0 Ton/año MP2,5, lo cual equivale a una reducción de 36,9% y 53,2%, respectivamente, sobre el escenario base, al incorporar algunas de las principales medidas consideradas en el PDA MP10-MP2,5 de las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

- En relación a las Fuentes de Área:

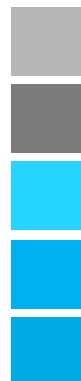
En lo que respecta a las fuentes de área, se concluye que las mayores emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) provienen de las quemas agrícolas e incendios forestales, alcanzando un aporte del 54% para MP10 y 84% para MP2,5. Este aporte se hace relevante en los meses de febrero y marzo, temporada en que se concentran este tipo de eventos, siendo las fuentes de área, responsables del 38% de las emisiones totales de MP10 durante el mes de marzo.

El principal aporte de las fuentes de área corresponde a la emisión de amoníaco, generando una emisión total de 1.324 toneladas al año, lo que representa el 94% del total en el área de estudio, asociado principalmente a actividades agrícolas de crianza animal y fuentes evaporativas residenciales, además de las emitidas por el tratamiento de aguas servidas.

- En relación a las Fuentes Móviles

En el caso de las fuentes móviles, su aporte a la emisión de material particulado resulta baja en comparación a las demás fuentes de emisión, asociado a las emisiones relacionadas con el proceso de combustión en el motor de los vehículos. Sin embargo, resultan relevantes respecto al polvo resuspendido producto de su tránsito por calles pavimentadas y no pavimentadas, generándose más de 1.000 toneladas al año de MP10 por esta actividad en ambas comunas.

La relevancia de las fuentes móviles radica en su aporte a la emisión de NOx, siendo la fuente con mayor generación de este contaminante alcanzando un 55% del total en el área de estudio.



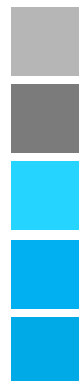
11 BIBLIOGRAFÍA

- [1] I.-I. N. d. Estadísticas, «Censo de Población y Vivienda,» 2017.
- [2] MMA, «D.S. N° 08/2015 MMA. Establece Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2,5 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas».
- [3] H. y. Vallack, «Air Pollutant Emission Inventory Manual. The Global Atmospheric Pollution Forum. Version 5.0,» 2012.
- [4] SICAM-Ingeniería, «Actualización del Inventario de Emisiones de Temuco y Padre Las Casas, año base 2014,» 2015.
- [5] EPA, «AP42-Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol I: Stationary Point And Area Sources,» 1995.
- [6] EMEP/EEA, «Emission Inventory Guidebook,» 2013.
- [7] V. (Nussbaumer), «Resultado de ensayos en calefactores a leña y recomendaciones para establecer límites de emisión en Chile. Reporte para CONAMA y COSUDE,» 2006.
- [8] EIIP, «Volume III, Chapter 2: Residential Wood Combustion,» 2001.
- [9] SICAM-Ingeniería, «Inventario de Emisiones Atmosféricas para la Comuna de Valdivia, Año base 2013,» 2014.
- [10] SICAM-Ingeniería, «Actualización del Inventario de Emisiones de Concepción Metropolitano año base 2013,» 2014.
- [11] SICAM-Ingeniería, «Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las Comunas del Valle Central de O'Higgins, año base 2015,» 2016.
- [12] GreenLabUC, «Manual de Inventario de Emisiones,» 2016.
- [13] USACH, «Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana,» 2014.
- [14] E. R. G. -. E. EPA, «Introduction to Area Source Emission Inventory Development,» 2001.
- [15] I. W. G. A. SEMARNAT, «Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones,» México, 2005.
- [16] C.-S. o. C. A. R. Board, «Methods for Assessing Area Source Emissions in California (MAASEC),» 1991.
- [17] SEC, «Ventas de GLP, Periodo enero-diciembre 2017 - Venta IX Región Mensual por Tipo de Consumidor (Ton),» 2017.
- [18] ACHEE, «Capacidades Caloríficas de Combustibles y Unidades de Conversión».
- [19] SEC, «Ventas de Combustibles Líquidos de las Compañías Distribuidoras,» 2017.
- [20] EPA, «EIIP - Vol III, CH5, Consumer and Commercial Solvent Use,» 1996.
- [21] I.-I. N. d. Ecología, «Inventario de Emisiones de los Estados de la Frontera Norte de México,» 1999.
- [22] R. I. LLC, «Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México - Volumen V. Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes de Área,» 1997.
- [23] S. Bustamante, «Demografía en las Poblaciones de Perros y Gatos en la Comuna de Santiago,» Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, 2008.
- [24] INE, «Anuario Parque de Vehiculos,» 2017.
- [25] EMEP/EEA, «Air Pollutant Emission Inventory Guidebook - Coating Applications,» 2016.



- [26] EMEP/EEA, «Air Pollution Emission Inventory GuideBook - Asphalt Roofing,» 2016.
- [27] DICTUC, «Análisis de la Calidad del Aire para MP10 en Tocopilla,» 2006.
- [28] CARB, «Agricultural Burning and Other Burning Methodology. Section 7.17,» 2005.
- [29] MINAGRI, «Balance de Gestión Integral CONAF,» 2017.
- [30] CARB, «Section 7.14 - Structural And Automobile Fires,» 1994.
- [31] CARB, «Cigarette/Tobacco Smoking,» 1999.
- [32] L. B. N. Laboratory, «Toxic Volatile Organic Compounds in Environmental Tobacco Smoke: Emission Factors for Modeling Exposures of California Populations,» 1994.
- [33] MINSAL, «Encuesta Nacional de Salud 2016-2017,» 2017. [En línea]. Available: http://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/11/ENS-2016-17_PRIMEROS-RESULTADOS.pdf.
- [34] EPA, «AP-42 Sec. 2.4 - Municipal Solid Waste Landfills,» 2008.
- [35] NPI, «Emission estimation technique for Manual for Sewage and Treatment Plants,» 1999.
- [36] T. M. -. U. Mayor, «Estudio de Factibilidad Sanitaria - Actualización Diagnóstico Territorial Para Modificación al Plan Regulador - Temuco,» 2015.
- [37] ODEPA, «Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile,» 2010.
- [38] INE, «CUADRO 7: SUPERFICIE SEMBRADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBÉRCULOS, EN RIEGO Y SECANO, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA Y ESPECIE. INE,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.ine.cl/estadisticas/economicas/estad%C3%ADsticas-agropecuarias?categoria=Censos%20Agropecuarias>.
- [39] CARB, «Sección 7.7 "Building Construction Dust",» 2002.
- [40] SICAM-Ingeniería, «"Diagnóstico de la implementación de los Planes de Descontaminación Atmosférica del Centro-Sur de Chile",» 2016.
- [41] INIA, «Recomendaciones Técnicas, Cultivo de Trigo en la Araucanía,» 2013.

12 ANEXOS

12.1 ANEXO 1: Recopilación y selección de factores de emisión para su aplicación representativa en inventarios de emisión de la fuente combustión residencial de leña (DIGITAL)



12.2 ANEXO 2: Diseño del Instrumento para Aplicación de Encuesta

	ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL EN RELACIÓN AL USO DE LEÑA Y SUS ARTEFACTOS DE COMBUSTIÓN En el marco del Estudio: Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, año base 2017.	 SEREMI Región de La Araucanía Ministerio del Medio Ambiente
ID Encuesta:	ID Manzana Censal:	ID Selección (1/2) ID Visita (1/2)

A) INFORMACIÓN PRELIMINAR

<p>0.1 Dirección de la vivienda</p> <p>Dirección: <input style="width: 100%;" type="text"/></p> <p>Pobl./Villa: <input style="width: 100%;" type="text"/></p>	<p>0.2 ¿Cuál es el uso de la vivienda? (marcar con solo una alternativa)</p> <p>1. Residencial <input style="width: 50px;" type="checkbox"/></p> <p>2. Comercial <input style="width: 50px;" type="checkbox"/></p> <p>3. Residencial y Comercial <input style="width: 50px;" type="checkbox"/></p> <p>4. Otro ¿cuál? <input style="width: 150px;" type="text"/></p> <p style="text-align: center;">SI LA RESPUESTA ES 1 Ó 3 Seguir con la encuesta, de lo contrario FIN DE LA ENCUESTA</p>
---	---

B) ÍTEM EQUIPOS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN.

En este ítem indicar qué tipo de combustible utiliza para calefacción y para cocción, y cuáles son los equipos, según tipo, modelo y consumo.

<p>1. ¿Qué combustible utiliza para Calefacción? Jerarquizar según su importancia</p> <p>1.1) <input style="width: 50px;" type="text"/> 1.2) <input style="width: 50px;" type="text"/> 1.3) <input style="width: 50px;" type="text"/></p> <p>1. Leña 2. Pellets 3. Parafina 4. Gas Licuado (GLP) 5. Electricidad 6. Otro ¿cuál? <input style="width: 100px;" type="text"/></p>	<p>EN CASO DE NO UTILIZAR LEÑA, O SU USO NO ES PRIORITARIO</p> <p>2. ¿En el pasado utilizó leña, o la utilizó como combustible principal? SI / NO <input style="width: 50px;" type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">SI SU RESPUESTA ES SI:</p> <p>3. ¿Por qué la dejó de utilizar, o cambió su preferencia? <input style="width: 100px;" type="text"/></p> <p>1. Iniciativa propia. Comodidad 2. Para evitar restricciones 3. Beneficiario de PRC 4. Otra <input style="width: 100px;" type="text"/></p> <p>4. ¿En qué año se produjo el Cambio? <input style="width: 50px;" type="text"/></p>
---	---

5. Para los equipos que utilizan LEÑA, PELLETS, BRIQUETAS como combustible: INDICAR CARACTERÍSTICAS

Completar la tabla de acuerdo a las alternativas dadas en la Pauta. SI NO UTILIZA ALGUNO DE LOS COMB. INDICADOS PASAR DIRECTO A ÍTEM E

	5.1 TIPO	5.2 MARCA	5.3 UBIC	5.4 USO	5.5 AÑO	5.6 ESTADO	5.7 MESES DE USO											
							E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1°																		
2°																		
3°																		

PAUTA:

5.1 TIPO

A. Calefactor certificado
B. Combustión lenta C/T
C. Combustión lenta S/T
D. Cocina a leña
E. Salamandra
F. Chimenea
G. Calefactor a Pellet
H. Otra

5.2 MARCA

AMESTI
BOSCA
TROTTER
PUCÓN
EFFEL
ALCAZAR
YUNQUE
OTRA. Especificar

5.3 UBICAC

1. LIVING
2. COCINA
3. DORMITOR
4. LOGIA u OTRO

5.4 USO

1. Calefacción
2. Cocinar
3. Agua caliente
4. opción 1 y 2

5.6 ESTADO

1. BUENA
2. REGULAR
3. MALA

5.7 RESPECTO DE LOS MESES DE USO DE LEÑA O PELLET, FAVOR CLASIFICAR SEGÚN LA INTENSIDAD CON LA QUE ESTA OCURRE, CONSIDERANDO LO SIGUIENTE:

Llenar con los códigos que se señalan

0. = Sin Consumo
1. = Consumo Bajo
2. = Consumo Moderado
3. = Consumo Alto

6. Para los equipos declarados, indicar perfil de funcionamiento que representen el periodo

TIPO	ACCIÓN	LUNES - VIERNES		SÁBADO - DOMINGO		REGULACIÓN DE TIRAJE		
		1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO	1° ENCENDIDO	2° ENCENDIDO	DÍA	TARDE	ULT CARGA
6.1	Encendido							
	Apagado							
6.2	Encendido							
	Apagado							

A) ABIERTO – B) MEDIO – C) CERRADO

C) ÍTEM CONSUMO RESIDENCIAL DE LEÑA, PELLETS O BRIQUETAS Y FORMA DE ABASTECIMIENTO

En este ítem indicar qué tipo de Leña utiliza para calefacción y para cocina, su forma de abastecimiento y humedad declarada.

7. ¿Cuánta Leña consumió durante el año 2017? Responder esta y otras interrogantes completando la siguiente Tabla, según corresponda.

	7.1	7.2	7.3	7.4			7.5	7.6	7.7
	Formato	Cantidad	Abastecimiento	% Nativa	% Exótica	%Madera	Almacena	Valor/unidad	Gasto anual
1°									
2°									
3°									

PAUTA:

- 7.1
- A) m³ estéreo picada
 - B) m³ trozado
 - C) Saco picada
 - D) Bolo pitraco
 - E) Canasto
 - F) Carretón
 - G) Bolsa Pellets
 - H) Bolsa briquetas

- 7.3
- A) FORMAL
 - B) INFORMAL
 - C) PROPIA

- 7.5
- A) Bajo techo
 - B) Al aire libre
 - C) Al aire libre, pero cubierta

Indicar cuantos kg/bolsa

Respecto al uso de LEÑA que realiza en su hogar.

8. ¿Cuál es el principal motivo por el cual prefiere su uso?

- 1. Precio
- 2. Costumbre
- 3. Calienta más
- 4. Otro.

9. ¿Recibe boleta por la compra de Leña?

- 1. Siempre
- 2. A veces
- 3. Nunca
- 4. No aplica

D) ÍTEM INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA: ANTECEDENTES GRALES, CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y EFICIENCIA TÉRMICA

<p>10. Identificar el tipo de vivienda, según corresponda</p> <p>A) Individual <input type="checkbox"/></p> <p>B) Pareada 1 muro <input type="checkbox"/></p> <p>C) Pareada 2 muros <input type="checkbox"/></p> <p>D) Tipo Depto <input type="checkbox"/></p>	<p>11. ¿Cuántos pisos tiene la vivienda?</p> <p>A) 1 PISO <input type="checkbox"/></p> <p>B) 2 PISOS <input type="checkbox"/></p> <p>C) 3 PISOS <input type="checkbox"/></p> <p>10.1 Indicar m2 totales <input type="text"/></p>	<p>12. ¿En qué año fue construida la vivienda?</p> <p>A) Antes del año 2000 <input type="checkbox"/></p> <p>B) Entre 2000 y 2007 <input type="checkbox"/></p> <p>C) Entre 2008 y 2015 <input type="checkbox"/></p> <p>D) Después de 2015 <input type="checkbox"/></p> <p>E) No sabe <input type="checkbox"/></p>	<p>13. ¿Cuántas personas viven en la vivienda según edad?</p> <p>A) ≤ 5 Años <input type="checkbox"/></p> <p>B) 6 – 60 Años <input type="checkbox"/></p> <p>C) > 60 Años <input type="checkbox"/></p>
<p>14. Respecto de las características constructivas de su vivienda</p>			
<p>14.1 ¿Es beneficiario(a) de un Subsidio de Mejoramiento Térmico (MT) ya ejecutado?</p> <p>SI / NO <input type="checkbox"/></p> <p>14.1.1 ¿En qué año se ejecutó? <input type="text"/></p> <p>14.1.2. ¿Cuánta leña usaba antes del MT? <input type="text"/></p>	<p>14.2 Si no ha sido beneficiario ¿Ha realizado algún MT de manera particular en últimos años?</p> <p>SI / NO <input type="checkbox"/></p> <p>14.2.1 ¿Dónde? <input type="text"/></p> <p>1. Techo</p> <p>2. Muros</p> <p>3. Ventanas</p> <p>4. Infiltraciones</p>	<p>Solo en caso de no tener adjudicado</p> <p>14.3 Tiene pensado postular al subsidio de MT o realizar una mejora de forma particular?</p> <p>SI / NO <input type="checkbox"/></p>	

E) ÍTEM PERCEPCIÓN / PROYECCIÓN DE CONSUMO Y USO DE ARTEFACTOS (RESPONDER SOLO SI USA LEÑA)		
<p>15. Considera que su actual calefactor, y su nivel de consumo de leña o pellets brindan confortabilidad al interior de la vivienda.</p> <p style="text-align: center;">SI / NO <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/></p>	<p>16. Si su respuesta es NO ¿cuál cree que es la principal causa?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>1. Mala aislación térmica de la vivienda</p> <p>2. Artefacto poco eficiente</p> <p>3. Leña de mala calidad</p> <p>4. Otro</p> </div> <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> </div>	
<p>17. ¿Conoce el PDA de Temuco Y Padre Las Casas?</p> <p style="text-align: center;">SI / NO <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/></p> <p>17.1. Describa:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	<p>18. ¿Qué medios de calefacción utiliza en días de emergencia preemergencia ambiental?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center; font-size: small;">indicar el más importante</p> <p>EJEMPLO:</p> <p>+ Sigue usando LEÑA</p> <p>+ Calefacción a PELLET</p> <p>+ Calefacción a GAS</p> <p>+ Calefacción a PARAFINA</p> <p>+ Calefacción ELÉCTRICA</p>	<p>19. ¿Qué tan efectivas considera las siguientes medidas para mejorar la calidad del aire? Jerarquizar según la importancia atribuida.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <p>19.1 <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/></p> <p>19.2 <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/></p> </div> <p>A. Mejoramiento térmico de viviendas.</p> <p>B. Recambio tecnológico de calefactores.</p> <p>C. Restricción de humos visibles en episodios críticos.</p> <p>D. Restricción de uso de calefactores a leña en episodios críticos.</p>
<p>OBSERVACIONES DEL ENCUESTADOR:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>		

Una vez finalizada la encuesta, solicite a la persona encuestada si es posible registrar algunos datos de contacto para fines de supervisión:

Nombre:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Teléfono:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
E-mail:	<input style="width: 95%;" type="text"/>

Nombre del encuestador:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Fecha aplicación:	<input style="width: 40px;" type="text"/> / <input style="width: 40px;" type="text"/> / <input style="width: 40px;" type="text"/>
RUT:	<input style="width: 100px;" type="text"/>	Teléfono:	<input style="width: 100px;" type="text"/>
Área de Ocupación/Estudio:	<input style="width: 95%;" type="text"/>		
Hora aplicación:		<input style="width: 100px;" type="text"/>	

USO EXCLUSIVO DEL SUPERVISOR:				
Nombre del supervisor: <input style="width: 95%;" type="text"/>				
Área de ocupación: <input style="width: 95%;" type="text"/>				
1. Todos los campos están completos	SI	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	NO	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
2. Letra legible	SI	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	NO	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
3. Datos son concordantes	SI	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	NO	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
4. Pasa a digitalización	SI	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	NO	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div> <p>FIRMA SUPERVISOR</p>				

12.3 ANEXO 3: Factores de Emisión Asociados a las Fuentes Móviles En Ruta

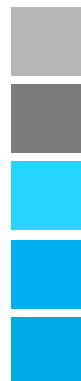
De acuerdo a las categorías vehiculares antes descritas, se presentan los factores de emisión, empleados en estudios anteriores de SECTRA, reportados en "Investigación e Instrumentos de Planificación Ambiental para Ciudades Intermedias, Etapa I, II y III".

Tabla 182. Factores de Emisión para Buses del Transporte Público, Interurbano, Rurales y Particulares

Categoría	Cont.	Factor de Emisión	Fuente
Buses Licitados Urbanos Diesel VTT (Sin norma de emisión) y Buses Rurales Diesel Convencional y Buses particulares	CO	$((2,06009658797102 + (12,4887688587286 * \exp((-1)^{0,0505255998584954} * V))) + (23,5557007665851 * \exp((-1)^{0,211694370574096} * V)))$	COPERT V
	HC	$((0,729005985398433 + (5,27683496706808 * \exp((-1)^{0,0522550898062261} * V))) + (28,1631776942575 * \exp((-1)^{0,358045190114825} * V)))$	COPERT IV
	NOX	$(10,9405646505257 + (33,6358775966976 * \exp((-1)^{0,0719192109094799} * V)))$	COPERT IV
	MP	$((0,330392709350419 + (2,12626141356873 * \exp((-1)^{0,0531758407457396} * V))) + (4,3197507742442 * \exp((-1)^{0,223814793279102} * V)))$	
	CO ₂	Nota 1	
	SO ₂	Nota 2	
	CH ₄	0,175	
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((216,443587975171 + (812,927971989443 * \exp((-1)^{0,0678242873099692} * V))) + (156466,268157966 * \exp((-1)^{1,14658015563429} * V)))$	COPERT IV
Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 1 (EURO I) y Buses Rurales Diesel Tipo 1	CO	$(1/(0,0590276769213079 + (0,0123794565168397 * V)))$	COPERT IV
	HC	$((0,344339282281007 + (1,97556227639746 * \exp((-1)^{0,0524563996148317} * V))) + (12,4509232851955 * \exp((-1)^{0,441753379929044} * V)))$	COPERT IV
	NOX	$((31,9073040842316 + (-0,0216485197526044 * V)) + (((-2,13385494968916 + 0,0216485197526044) * (1 - \exp((-1)^{0,0883032877351713} * V))) / 0,0883032877351713))$	COPERT IV
	MP	$(1/(((-0,000145182007348376 * (V^2)) + (0,0707255508462423 * V)) + 0,411713000205326))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,175	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III

	CC	$((189,016313313149+(650,877463193704*\exp(((1)*0,0675316687575619)*V))) + (2948894,4640992*\exp(((1)*1,71276232066011)*V)))$	COPERT IV
Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 2 (EURO II) y Buses Rurales Diesel Tipo 2	CO	$((11,8955256871342+(-0,0159405859257982*V))+((-1,00479006566861+0,0159405859257982)*(1-\exp(((1)*0,100335336466763)*V)))/0,100335336466763))$	COPERT IV
	H C	$((0,235792239598881+(1,39402527860679*\exp(((1)*0,0566473804137163)*V)))+(10,9828352155318*\exp(((1)*0,507803202245263)*V)))$	COPERT IV
	NOX	$(6,53723270740573+(128,918291648142/(1+\exp(((1)*0,749160869317697)+(0,452362447844676*\ln(V)))+(0,0470717668581435*V))))$	COPERT IV
	MP	$(0,114057293662852+(0,517385292936967*\exp(-0,0633308347265525*V)))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,114	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$(189,916479584143+(640,218297661017*\exp(-0,0712640456776551*V)))$	COPERT IV
Buses Licitados Urbanos Diesel Tipo 3 (EURO III) y Buses Rurales Diesel Tipo 3	CO	$\exp((4,49459237978435+(-3,87613016307628/V))+(-1,04287581210089*\ln(V)))$	COPERT IV
	HC	$((0,203552960707172+(1,1801818895166*\exp(((1)*0,0539596546222477)*V)))+(10,3079031432216*\exp(((1)*0,52183677102291)*V)))$	COPERT IV
	NOX	$(3,97204458653341+(93,4011475168263/(1+\exp(((1)*1,1663708654914)+(1,13974993702192*\ln(V)))+(0,0115236421967199*V))))$	COPERT IV
	MP	$((0,0941400678390497+(0,453225667665789*\exp(((1)*0,0555842529466689)*V)))+(1250,73523278467*\exp(((1)*1,74277938177595)*V)))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,103	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((193,610770111167+(617,446606071137*\exp(((1)*0,0659151515019985)*V)))+(52222212,2276168*\exp(((1)*2,21550769693125)*V)))$	COPERT IV
Buses Interurbanos Diesel Convencional (Sin norma de emisión)	CO	$((1,2374142610252+(8,43448089347279*\exp(((1)*0,0470146076535067)*V)))+(0,0470146076535067*\exp(((1)*0,223856493432231)*V)))$	COPERT IV
	HC	$((0,164335084865499+(0,0236742853138661*V))((-1)/0,837803220941278))$	COPERT IV
	NOX	$(1/(((-0,000015972523238885*(V^2)))+(0,00252178534954003*V))+0,015355743505594))$	COPERT IV
	MP	$((0,277394459399096+(1,50797491755461*\exp(((1)*0,0455149911697088)*V)))+(2,67500447628517*\exp(((1)*0,230306720507304)*V)))$	COPERT IV

	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,175	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((191,094101496311+(738,280641648805*\exp((-1)*0,0530257854241657)*V))) + (2369,61308055718*\exp((-1)*0,381587794681817)*V))$	COPERT IV
Buses Interurbanos Diesel Tipo1 (EURO I)	CO	$((1,01974341308004+(6,04164185183975*\exp((-1)*0,0439503981326785)*V)))+(12,8806568134191*\exp((-1)*0,202538170719922)*V))$	COPERT IV
	HC	$((0,332351787247489+(2,17331289615912*\exp((-1)*2,17331289615912)*V)))+(3,41566105651941*\exp((-1)*0,151043954326755)*V))$	COPERT IV
	NOX	$((6,31670636044002+(21,4906993117648*\exp((-1)*0,0583340033221574)*V)))+(85,7766356671849*\exp((-1)*0,382956540968124)*V))$	COPERT IV
	MP	$((0,186272041887835+(1,11854340829562*\exp((-1)*0,0402385038628884)*V)))+(1,43430862113027*\exp((-1)*0,0402385038628884)*V))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,175	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((175,161626205305+(646,643177204604*\exp((-1)*0,0514166524577739)*V)))+(3159,81891806033*\exp((-1)*0,432772373623944)*V))$	COPERT IV
Buses Interurbanos Diesel Tipo 2 (EURO II)	CO	$((1,0008850031912+(5,92534609673967*\exp((-1)*0,0526151095799285)*V)))+(16,031866052335*\exp((-1)*0,244223968035646)*V))$	COPERT IV
	HC	$(1/(0,170452633296351+(0,0409644447872211)*V))$	COPERT IV
	NOX	$((6,83481038799362+(24,2137681687706*\exp((-1)*0,056571921705510900565719217055109)*V)))+(81,2148544422182*\exp((-1)*0,358042508344665)*V))$	COPERT IV
	MP	$((0,109356689160901+(0,424929311536733*\exp((-1)*0,0444988627049973)*V)))+(0,792130437431232*\exp((-1)*0,259271964140274)*V))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,114	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((173,847511007266+(596,162545047804*\exp((-1)*0,048974075282995)*V)))+(3566,31377631362*\exp((-1)*0,459079093021153)*V))$	COPERT IV



Buses Interurbanos Diesel Tipo 3 (EURO III)	CO	$((1,08632604031267+(6,46823166382744*\exp((-1)*0,0457909676088093)*V))) + (15,0010348169023*\exp((-1)*0,221904651804259)*V)))$	COPERT IV
	HC	$(0,227231246172132+(15,6623993601925/(1+\exp((-1)*-0,530825258433305)+(0,64893877880533*\ln(V)))+(0,0270342446309713*V))))$	COPERT IV
	NOX	$((5,30542698745506+(21,8812199241423*\exp((-1)*0,0529967144180243)*V))) + (90,0551365078442*\exp((-1)*0,247649925809256)*V)))$	COPERT IV
	MP	$(0,0824673698756213+(1,06820321325441/(1+\exp((-1)*2,35097203495455) + (1,08187915615308*\ln(V)))+(0,0118433684419714*V))))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,103	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$((191,107562411866+(700,026927912708*\exp((-1)*0,0528349965193726)*V))) + (3813,80268106653*\exp((-1)*0,452232380842497)*V)))$	COPERT IV

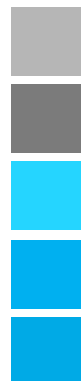
Tabla 183.. Factores de Emisión para Camiones Livianos, Medianos y Pesados

Categoría	Cont.	Factor de Emisión	Fuente
Camiones Livianos Diesel Convencional (Sin norma de emisión)	CO	$(1,33100726733857+(21,8449743141392/(1+\exp((-1)*-0,504971268965296)+(0,312821696485325*\ln(V)))+(0,0475568824975561*V))))$	COPERT IV
	HC	$(1/(((0,0000255844630417443*(V^2))+(0,0158573273281831*V))+0,111912289529115)))$	COPERT IV
	NOX	$((9,46863277232646+(0,0442964678823534*V))+((-0,32701557278449-0,0442964678823534)*(1-\exp((-1)*0,0444311393753228)*V)))/0,0444311393753228))$	COPERT IV
	MP	$((0,246679578562812+(0,984448830087052*\exp((-1)*0,0573885647373114)*V)))+(1,35752845755518*\exp((-1)*0,26749736498926)*V)))$	COPERT IV
	CO ₂	Nota 1	COPERT IV
	SO ₂	Nota 2	COPERT IV
	CH ₄	0,085	COPERT IV
	N ₂ O	0,03	COPERT III
	NH ₃	0,003	COPERT III
	CC	$(1/(((1,91572782364273E-06*(V^2))+(0,00022762309493391*V))+0,00230855727238828)))$	COPERT IV
Camiones Livianos Diesel Tipo 1 (EURO I)	C	$((2,76260822702778+(0,00421889760872896*V))+((-0,138811740772604-0,00421889760872896)*(1-\exp((-1)*0,0554389021391657)*V)))/0,0554389021391657))$	COPERT IV
	H	$((0,130363868426115+(0,655681828989109*\exp((-1)*0,0414084699523944)*V)))+(0,579903628294934*\exp((-1)*0,179881862657029)*V)))$	COPERT IV
	NOx	$((8,13180354133249+(0,0242200749484135*V))+((-0,407155211816616-0,0242200749484135)*(1-\exp((-1)*0,0658736093204939)*V)))/0,0658736093204939))$	COPERT IV
	M	$(0,0964167273833862+(3,43779854251746/(1+\exp((-1)*-$	

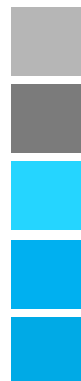
		$1,41939095053924)+(0,249711482093828*\ln(V)))+(0,0548730793732454*V))))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,085	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((0,000300364313299663*(V^{2,68877245308691}))+ (465,2532001309*(V - 0,439861821573344))))$	COPERT IV
Camiones Livianos Diesel Tipo 2 (EURO II)	CO	$(1/(((-0,000401995677832104*(V^2)))+(0,0560938055613096*V))+0,251138399156686))$	COPERT IV
	H C	$((0,0784877042388268+(0,408108802852382*\exp(((-1)*0,0390718963580253)*V)))+(0,415617455652576*\exp(((-1)*0,170177395412051)*V))))$	COPERT IV
	NO x	$((8,95291684317713+(0,0194993193323207*V))+((-0,460742352779971 - 0,0194993193323207)*(1-\exp(((-1)*0,0688710831899242)*V)))/(0,0688710831899242))$	COPERT IV
	MP	$(1/(((-0,00354622656170774*(V^2)))+(0,430120737842256*V))+5,35203029620273))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,054	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((79,2923051995812+(0,691265263701946*EXP(((-1)* -0,0443036616705716)*V)))+(160,749812580608*EXP(((-1)*0,0710898726022404)*V))))$	COPERT IV
	CO	$((0,384175685753069+(1,84804863651226*\exp(((-1)*0,0509619540591832)*V)))+(1,93685793022589*\exp(((-1)*0,269738391999291)*V))))$	COPERT IV
	HC	$\exp((1,61796979092607+(-3,95602439373772/V))+(-0,928626415189699*\ln(V)))$	COPERT IV
	NOX	$((0,00737039242272568*V^{1,21572452124539}))+ (31,1925613553879*(V - 0,770235702682926)))$	COPERT IV
Camiones Livianos Diesel Tipo 3 (EURO III)	MP	$((0,0367880549836508+(0,139633163159989*\exp(((-1)*0,0436830501044176)*V)))+(0,0425857574319341*\exp(((-1)*0,138843359773111)*V))))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,048	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III

Camiones Medianos Diesel Convencion al (Sin norma de emisión)	CC	$((0,000522014929286038*(V^{2,55885160394032}))+ (437,509114853118*(V^{-0,421565701925295})))$	COPERT IV
	CO	$((1,64079704915359+(7,53707525840325*exp(((1-1)*0,0569133419838688)*V)))+(11,8122149716005*exp(((1-1)*0,227682503769612)*V)))$	COPERT IV
	HC	$(0,243760787720553+(7,10826259551006/(1+exp((((1-1)*3,51236829384046)+(1,60927601441032*ln(V)))+(-0,00670056870941961*V))))))$	COPERT IV
	NOX	$((23,9635210324861+(0,0247701168290533*V))+(((1,01040586360789-0,0247701168290533)*(1-exp(((1-1)*0,0586066803848415)*V)))/0,0586066803848415))$	COPERT IV
	MP	$((0,257464183060985+(1,12883195812743*exp(((1-1)*0,0552875878927405)*V)))+(2,07272117719613*exp(((1-1)*0,231507360306843)*V)))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,085	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$(1/(((1,10842815512624E-06*(V^2)))+(0,000150552030374214*V))+0,00101451259677115))$	COPERT IV
	CO	$((0,790317454194181+(3,61193159728498*exp(((1-1)*0,0568986834561566)*V)))+(5,46377659396398*exp(((1-1)*0,273781481461152)*V)))$	COPERT IV
	HC	$(3,61193159728498+(0,0568986834561566/(1+exp((((1-1)*5,46377659396398)+(0,273781481461152*ln(V)))+(0,790317454194181*V))))))$	COPERT IV
Camiones Medianos Diesel Tipo 1 (EURO I)	NOX	$((16,1498049828405+(0,00591776809542959*V))+(((1-1)*0,0711531009304992)*V))/0,0711531009304992))$	COPERT IV
	MP	$((0,156206861399955+(0,750557266305765*exp(((1-1)*0,0595575965448602)*V)))+(0,784750538199954*exp(((1-1)*0,190122668531955)*V)))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,085	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$(1/(((1,0000012904797975722*(V^2)))+(0,000168239652397563*V))+0,00142011865978317))$	COPERT IV
	CO	$(1/(((1,000199057522186124*(V^2)))+(0,0301073374179793*V))+0,133525099498037))$	COPERT IV
	HC	$(0,12496517747328+(1,62340617874031/(1+exp((((1-1)*3,17355884949529)+(1,41626576250196*ln(V)))+(0,00676056156552116*V))))))$	COPERT IV
	NOX	$((5,03805229909189+(12,0162763231528*exp(((1-1)*0,0718688293194455)*V)))+(1472,97429951381*exp(((1-1)*1,22281170978883)*V)))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
Camiones Medianos Diesel Tipo 2 (EURO II)	CH4	0,085	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$(1/(((1,0000012904797975722*(V^2)))+(0,000168239652397563*V))+0,00142011865978317))$	COPERT IV

	MP	$((0,295842247035719+(0,00221346977643438*V))+((-0,009872294267078-0,00221346977643438)*(1-\exp((-$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,054	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$(1/((-1,30079777653565E-06*(V^2)))+(0,000168681125921504*V))+0,00166669123857194))$	COPERT IV
Camiones Medianos Diesel Tipo 3 (EURO III)	CO	$((0,731687393919072+(3,6645785309034*\exp((-1)*0,0563683393170761)*V)))+(5,23028829144801*\exp((-1)*0,22940672493427)*V))$	COPERT IV
	HC	$(0,0837360334457316+(1,32104434472513/(1+\exp((-1)*4,53135180004797)+(1,89348725872261*\ln(V)))+(-0,0103853145584935*V))))$	COPERT IV
	NOX	$((3,75961273247849+(8,83991867276675*\exp((-1)*0,0582095437791065)*V)))+(32,8119093290992*\exp((-1)*0,324655578422129)*V))$	COPERT IV
	MP	$(0,00753000339418102+(0,481778214802105/(1+\exp((-1)*4,57741464608742)+(1,88064486426566*\ln(V)))+(-0,0224165794949045*V))))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,048	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$(1/((-1,25110663618204E-06*(V^2)))+(0,000164240816414678*V))+0,00147486189135326))$	COPERT IV
	CO	$((1,64310174818499+(8,13411883364323*\exp((-1)*0,0542110803060114)*V)))+(15,8643543525583*\exp((-1)*0,275320506271409)*V))$	COPERT IV
Camiones Pesados Diesel Convencional (Sin norma de emisión)	HC	$((0,246337810165474+(1,5316799416869*\exp((-1)*0,0245230975201173)*V)))+(5,36991758512458*\exp((-1)*0,124006848764087)*V))$	COPERT IV
	NOX	$((9,89341403519485+(20,1184520190778*\exp((-1)*0,0461690386329114)*V)))+(94,2835206151738*\exp((-1)*0,537881650750213)*V))$	COPERT IV
	MP	$((0,355389813811357+(1,43156187475234*\exp((-1)*0,0490091286677857)*V)))+(2,5973197096804*\exp((-1)*0,247362040708152)*V))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,175	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III



	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((230,898545662676 + (666,989178610959 * \exp(((1 - 1) * 0,0510509526598625) * V))) + (5141,67058484724 * \exp(((1 - 1) * 0,556974731846176) * V)))$	COPERT IV
Camiones Pesados Diesel Tipo 1 (EURO I)	CO	$((1,3437024869028 + (5,73535271116126 * \exp(((1 - 1) * 0,0514788625003588) * V))) + (13,7292344776583 * \exp(((1 - 1) * 0,277004301618467) * V)))$	COPERT IV
	HC	$((0,321334357738875 + (1,36913341907543 * \exp(((1 - 1) * 0,0300760766329259) * V))) + (4,16528444929436 * \exp(((1 - 1) * 0,130814820111219) * V)))$	COPERT IV
	NOX	$((6,93777830085879 + (14,7649430218224 * \exp(((1 - 1) * 0,0471396701763906) * V))) + (93,369277972383 * \exp(((1 - 1) * 0,550739160678484) * V)))$	COPERT IV
	MP	$((0,246246967566125 + (1,19643219195567 * \exp(((1 - 1) * 0,0496623754799222) * V))) + (2,79763916888652 * \exp(((1 - 1) * 0,0496623754799222) * V)))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,175	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((201,80527029554 + (523,535820661854 * \exp(((1 - 1) * 0,049423050788441) * V))) + (17421,4796042017 * \exp(((1 - 1) * 0,809907162438699) * V)))$	COPERT IV
	CO	$(1 / (((-0,00010960585101578 * (V^2)) + (0,0174064839534468 * V)) + 0,0779217214718428))$	COPERT IV
Camiones Pesados Diesel Tipo 2 (EURO II)	HC	$((0,162905538155383 + (0,828009789857126 * \exp(((1 - 1) * 0,0248119637491787) * V))) + (2,67001448123625 * \exp(((1 - 1) * 0,124882855805357) * V)))$	COPERT IV
	NOX	$((7,20536564798271 + (16,4001356804762 * \exp(((1 - 1) * 0,0478197060782861) * V))) + (55,7002667265637 * \exp(((1 - 1) * 0,444673457893458) * V)))$	COPERT IV
	MP	$((0,522473149719108 + (0,00449065078092204 * V) + (((-0,0162814067750473 - 0,00449065078092204) * (1 - \exp(((1 - 1) * 0,0249231148800991) * V)))) / 0,0249231148800991))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,112	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((195,476155665251 + (464,243926657849 * \exp(((1 - 1) * 0,0471738612383144) * V))) + (22777,7239789702 * \exp(((1 - 1) * 0,88418501143649) * V)))$	COPERT IV
	CO	$(1,24588358438859 + (103,700537481749 / (1 + \exp((((1 - 1) * -1,3906312471446) + (0,543451750078654 * \ln(V))) + (0,0390066425998189 * V))))))$	COPERT IV
	HC	$((0,135938586321894 + (0,71588074810547 * \exp(((1 - 1) * 0,0234666513590177) * V))) + (2,79878282504916 * \exp(((1 - 1) * 0,0234666513590177) * V)))$	
Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (EURO III)			



		$1)*0,123459782380517)*V)))$	COPERT IV
	NOX	$((5,58300975720938+(14,5724996214701*exp(((1)*0,0510403515051286)*V)))+(45,651882800859*exp(((1)*0,309240087785118)*V)))$	COPERT IV
	MP	$((0,100820480611018+(0,424449762706025*exp(((1)*0,0416436785215947)*V)))+(0,864328026775096*exp(((1)*0,0416436785215947)*V)))$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,098	COPERT IV
	N2O	0,03	COPERT III
	NH3	0,003	COPERT III
	CC	$((199,101296810716+(496,037924788222*exp(((1)*0,0466183266185801)*V)))+(3798,31076366067*exp(((1)*0,573715458508514)*V)))$	COPERT IV

Tabla 184. Factores de Emisión para Vehículos livianos particulares y de alquiler

Categoría	Cont.	Factor de Emisión	Fuente
Vehículos Particulares No Catalíticos y Vehículos de Alquiler No Catalíticos (Sin norma de emisión)	CO	$2,81*V -0,630$	COPERT IV
	HC	$30,34*V -0,693$	COPERT IV
	NOX	$1,173+0,0225*V-0,00014*V^2$	COPERT IV
	MP	N/A	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$0,0000331*V^2-0,00573*V+0,268$	COPERT IV
	N2O	0,005	COPERT III
	NH3	0,002	COPERT III
Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 1 y Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 1 (EURO I o superior)	CC	$521V-0,554$	COPERT IV
	CO	$597*V -0,74$	DIMEC
	HC	$45,01*V -0,71$	DIMEC
	NOX	$3,691*V -0,32$	DIMEC
	MP	0,00322	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$1,1176*10^{-5}*V^2-0,00196*V+0,099652$	COPERT III
	N2O	0,053	COPERT III
Vehículos Particulares Catalíticos Tipo 2 y Vehículos de Alquiler Catalíticos Tipo 2 (EURO III)	NH3	0,07	COPERT III
	CC	$(199+0,346*V)/(1+0,0892*V-0,000538*V^2)$	COPERT IV
	CO	$188,3*V -0,64$	DIMEC
	HC	$17,64*V -0,78$	DIMEC
	NOX	$4,07*V -0,41$	DIMEC
	MP	0,00128	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$0,00000156*V^2-0,00027402*V+0,01395128$	COPERT III
	N2O	0,053	COPERT III
	NH3	0,07	COPERT III
	CC	$(217+0,253*V+0,00965*V^2)/(1+0,096*V-0,000421*V^2)$	COPERT IV

Vehículos Particulares Diesel Tipo 1 y Vehículos de Alquiler Diesel Tipo 1 (EURO I)	CO	$(0,996 + -0,0188 * V + 0,000109 * V^2)$	COPERT IV
	HC	$(0,142 + -0,00201 * V + 0,0000115 * V^2) / (1 + 0,0138 * V + -0,000019 * V^2)$	COPERT IV
	NOX	$(3,1 + -0,00618 * V + 0,000422 * V^2) / (1 + 0,141 * V + -0,000503 * V^2)$	COPERT IV
	MP	$(0,114 + -0,00233 * V + 0,0000226 * V^2)$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$0,0000019 * V^2 - 0,0001775 * V + 0,0079936$	COPERT III
	N2O	0,027	COPERT III
	NH3	0,001	COPERT III
	CC	$(145 - 0,188 * V + 0,00947 * V^2) / (1 + 0,0673 * V - 0,000317 * V^2)$	COPERT IV
Vehículos Particulares Diesel Tipo 2 y Vehículos de Alquiler Diesel Tipo 2 (EURO III)	CO	$(0,169 + -0,00292 * V + 0,0000125 * V^2) / (1 + 1,1 * V)$	COPERT IV
	HC	$(0,0965 + -0,000238 * V + 0,00000193 * V^2) / (1 + 0,103 * V + -0,0000724 * V^2)$	COPERT IV
	NOX	$(2,82 + 0,0669 * V + -0,000463 * V^2) / (1 + 0,198 * V + -0,00143 * V^2)$	COPERT IV
	MP	$(0,0515 + -0,00088 * V + 0,00000812 * V^2)$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$0,000001615 * V^2 - 0,00015088 * V + 0,00679456$	COPERT III
	N2O	0,027	COPERT III
	NH3	0,001	COPERT III
	CC	$(162 + 2,18 * V - 0,0128 * V^2) / (1 + 0,123 * V - 0,000776 * V^2)$	COPERT IV

Tabla 185. Factores de Emisión para Vehículos livianos Comerciales

Categoría	Contaminante	Factor de Emisión	Fuente
Vehículos Comerciales No Catalíticos (Sin norma de emisión)	CO	$0,01104 * V^2 - 1,5132 * V + 57,789$	COPERT IV
	HC	$0,000677 * V^2 - 0,117 * V + 5,4734$	COPERT IV
	NOX	$0,0179 * V + 1,9547$	COPERT IV
	MP	N/A	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,15	COPERT III
	N2O	0,006	COPERT III
	NH3	0,002	COPERT III
	CC	$0,0167 * V^2 - 2,649 * V + 161,51$	COPERT IV
Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 1 (EURO I)	CO	$0,0037 * V^2 - 0,5215 * V + 19,127$	COPERT IV
	HC	$0,0000577 * V^2 - 0,01047 * V + 0,5462$	COPERT IV
	NOX	$0,0000755 * V^2 - 0,009 * V + 0,666$	COPERT IV
	MP	0,00322	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$1,2969 * 10^{-5} * V^2 - 0,0021098 * V + 0,101995$	COPERT III
	N2O	0,053	COPERT III
	NH3	0,07	COPERT III
	CC	$0,0195 * V^2 - 3,09 * V + 188,85$	COPERT IV
Vehículos Comerciales Catalíticos Tipo 2 (EURO III)	CO	$0,52 * (0,0037 * V^2 - 0,5215 * V + 19,127)$	COPERT IV
	HC	$0,14 * (0,0000577 * V^2 - 0,01047 * V + 0,5462)$	COPERT IV
	NOX	$0,21 * (0,0000755 * V^2 - 0,009 * V + 0,666)$	COPERT IV
	MP	0,00128	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	$1,2969 * 10^{-5} * V^2 - 0,0021098 * V + 0,101995$	COPERT III
	N2O	0,053	COPERT III
	NH3	0,07	COPERT III
	CC	$0,0195 * V^2 - 3,09 * V + 188,85$	COPERT IV
	CO	$0,000223 * V^2 - 0,026 * V + 1,076$	COPERT IV
	HC	$0,0000175 * V^2 - 0,00284 * V + 0,2162$	COPERT IV

Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1 (EURO I)	NOX	$0,000241 \cdot V^2 - 0,03181 \cdot V + 2,0247$	COPERT IV
	MP	$0,000045 \cdot V^2 - 0,004885 \cdot V + 0,1932$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,005	COPERT III
	N2O	0,017	COPERT III
	NH3	0,001	COPERT III
	CC	$0,0198 \cdot V^2 - 2,506 \cdot V + 137,42$	COPERT IV
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2 (EURO III)	CO	$0,82 \cdot (0,000223 \cdot V^2 - 0,026 \cdot V + 1,076)$	COPERT IV
	HC	$0,62 \cdot (0,0000175 \cdot V^2 - 0,00284 \cdot V + 0,2162)$	COPERT IV
	NOX	$0,84 \cdot (0,000241 \cdot V^2 - 0,03181 \cdot V + 2,0247)$	COPERT IV
	MP	$0,67 \cdot (0,000045 \cdot V^2 - 0,004885 \cdot V + 0,1932)$	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,005	COPERT III
	N2O	0,017	COPERT III
	NH3	0,001	COPERT III
	CC	$0,0198 \cdot V^2 - 2,506 \cdot V + 137,42$	COPERT IV

Tabla 186. Factores de Emisión para Motocicletas

Categoría	Cont.	Factor de Emisión	Fuente
Motocicletas 2 Tiempos Convencional	CO	$(-0,001) \cdot V^2 + 0,172 \cdot V + 18,1$ (V < 60 km/h) y $0,0001 \cdot V^2 - 0,05 \cdot V + 21,5$	COPERT IV
	HC	$0,0035 \cdot V^2 - 0,409 \cdot V + 20,1$ (V < 60 km/h) y $0,0003 \cdot V^2 - 0,0524 \cdot V + 10,6$	COPERT IV
	NOX	$0,00003 \cdot V^2 - 0,002 \cdot V + 0,064$ (V < 60 km/h) y $-0,00002 \cdot V^2 - 0,0049 \cdot V - 0,157$	COPERT IV
	MP	N/A	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,150	COPERT IV
	N2O	0,002	COPERT III
	NH3	0,002	COPERT III
	CC	$0,006300 \cdot V^2 - 0,6028 \cdot V + 44,40$ (V < 60 km/h) y $-0,0005 \cdot V^2 + 0,2375 \cdot V + 18,2$	COPERT IV
Motocicletas 2 Tiempos Tipo 1	CO	$(-0,0063) \cdot V^2 + 0,715 \cdot V - 6,9$ (V < 60 km/h) y $0,0007 \cdot V^2 + 0,157 \cdot V + 6,0$	COPERT IV
	HC	$(-0,00100) \cdot V^2 + 0,0970 \cdot V + 3,90$ (V < 60 km/h) y $-0,0003 \cdot V^2 + 0,0325 \cdot V + 5,2$	COPERT IV
	NOX	$0,00002 \cdot V^2 - 0,0010 \cdot V + 0,032$ (V < 60 km/h) y $-0,00002 \cdot V^2 + 0,0041 \cdot V - 0,152$	COPERT IV
	MP	N/A	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,099	COPERT IV
	N2O	0,002	COPERT III
	NH3	0,002	COPERT III
	CC	$(-0,0011) \cdot V^2 + 0,2008 \cdot V + 17,8$ (V < 60 km/h) y $-0,001 \cdot V^2 + 0,2425 \cdot V + 14,6$	COPERT IV
Motocicletas 4 Tiempos Convencional	CO	$0,0139 \cdot V^2 - 1,42 \cdot V + 55,0$ (V < 60 km/h) y $0,0009 \cdot V^2 - 0,0099 \cdot V + 17,8$	COPERT IV
	HC	$0,0015 \cdot V^2 - 0,164 \cdot V + 5,51$ (V < 60 km/h) y $0,00001 \cdot V^2 + 0,0005 \cdot V + 0,86$	COPERT IV
	NOX	$0,00005 \cdot V^2 - 0,0009 \cdot V + 0,092$ (V < 60 km/h) y $0,00002 \cdot V^2 + 0,0007 \cdot V + 0,104$	COPERT IV
	MP	N/A	COPERT IV
	CO2	Nota 1	COPERT IV
	SO2	Nota 2	COPERT IV
	CH4	0,200	COPERT IV
	N2O	0,002	COPERT III
	NH3	0,002	COPERT III

CC 0,02730*V2-2,8490*V+98,90 (V<60 km/h) y 0,00210*V2 -0,1550*V + 29,20 COPERT IV

Nota 1, nota 2: Nota1 y Nota2: Las emisiones de CO2 y SO2 están directamente relacionadas con los consumos de combustible, asumiéndose para el cálculo de CO2, que todo el carbono contenido en el combustible es oxidado.

Es por esto que el CO2 se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$ECO_2 = 44,011 \times \left(\frac{CC}{12,011} + 1,008 \times rH:C \right) - \left(\frac{ECO}{28,011} \right) - \left(\frac{EHCT}{12,85} \right) - \left(\frac{EMP}{12,011} \right)$$

Donde:

- CC : Consumo de Combustible
- ECO : Emisiones de CO
- EHCT : Emisiones de HCT
- EMP : Emisiones de material particulado
- r H:C : Relación entre el hidrógeno y carbono existente en el combustible. 1,8 para gasolina y 2,0 para diesel

Las emisiones de SO2 se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$ESO_2 = 2 \times CC \times Scomb$$

Donde:

- CC : Consumo de Combustible
- Scomb : contenido de azufre en el combustible (en peso m/m)

12.4 ANEXO 4: Factores de Emisión Según Potencia y Tecnología para las Fuentes Móviles Fuera de Ruta

Table A4. Zero-Hour, Steady-State Emission Factors for Nonroad CI Engines^a

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
>0 to 11	Base	0.408 ^b	1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 0		1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 1		0.7628	4.1127	5.2298	0.4474
	Tier 2		0.5508	4.1127	4.3	0.50
	Tier 4A		0.5508	4.1127	4.3	0.28
	Tier 4B		0.5508	4.1127	4.3	0.28
>11 to 16	Base	0.408	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>16 to 25	Base	0.408	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>25 to 50	Base	0.408	1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 0		1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 1		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 2		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 4A		0.2789	1.5323	4.7279	0.20
	Tier 4		0.1314	0.153	3.0000	0.0184
>50 to 75	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 4A		0.1836	2.3655	3.0	0.20
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0184

Table A4. Zero-Hour, Steady-State Emission Factors for Nonroad CI Engines (cont.)^a

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
>75 to 100	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 3B		0.1836	2.3655	3.0	0.20
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.237	0.276	0.0092
>100 to 175	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3384	0.8667	5.6523	0.2799
	Tier 2		0.3384	0.8667	4.1	0.18
	Tier 3		0.1836	0.8667	2.5	0.22
	Tier 4		0.1314	0.087	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.087	0.2760.402	0.0092
>175 to 300	Base	0.367	Vary by application, see NE0.2799VES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3085	0.7475	5.5772	0.2521
	Tier 2		0.3085	0.7475	4.0	0.1316
	Tier 3		0.1836	0.7475	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.075	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.075	0.276	0.0092
>300 to 600	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2025	1.3060	6.0153	0.2008
	Tier 2		0.1669	0.8425	4.3351	0.1316
	Tier 3		0.1669	0.8425	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.084	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.084	0.276	0.0092
>600 to 750	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.1473	1.3272	5.8215	0.2201

Table A4. Zero-Hour, Steady-State Emission Factors for Nonroad CI Engines (cont.)^a

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
	Tier 2		0.1669	1.3272	4.1	0.1316
	Tier 3		0.1669	1.3272	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.133	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.133	0.276	0.0092
>750 except generator sets	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.7642	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	2.392	0.0276
Gen sets >750 to 1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.7642	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184
Gen sets >1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.7642	0.460	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184

^aPrior to listing in NONROAD input files, these ISO-CI emission factors are adjusted for in-use operation as explained in Appendix F. The emission factors in the input files are rounded to two decimal places. The emission factors for recreational marine CI engines are provided in Table 10. Underground mining equipment inputs are just the Base (NEVES) and Tier 2 values from this table.

^bBSFC for engines <50 hp is assumed to be the same as 50-100 hp engines

12.5 ANEXO 5: Factores de Ajuste Transciente – Fuentes Móviles

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF Assignment	HC	CO	NO _x		PM		BSFC
				Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270001000	Recreational Vehicles All	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270001020	Recreational Vehicles Snowmobiles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001030	Recreational Vehicles All Terrain Vehicles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001040	Recreational Vehicles Minibikes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001050	Recreational Vehicles Golf Carts	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001060	Recreational Vehicles Speciality Vehicle Carts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002003	Construction Equipment Pavers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002006	Construction Equipment Tampers/Rammers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002009	Construction Equipment Plate Compactors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002015	Construction Equipment Rollers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002018	Construction Equipment Scrapers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002021	Construction Equipment Paving Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002024	Construction Equipment Surfacing Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002027	Construction Equipment Signal Boards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002030	Construction Equipment Trenchers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002033	Construction Equipment Bore/Drill Rigs	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002036	Construction Equipment Excavators	Excavator	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002039	Construction Equipment Concrete/Industrial Saws	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002042	Construction Equipment Cement & Mortar Mixers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002045	Construction Equipment Cranes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002048	Construction Equipment Graders	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002051	Construction Equipment Off-highway Trucks	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002054	Construction Equipment Crushing/Proc. Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002057	Construction Equipment Rough Terrain Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002060	Construction Equipment Rubber Tire Loaders	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002063	Construction Equipment Rubber Tire Dozers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002066	Construction Equipment Tractors/Loaders/Backhoes	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002069	Construction Equipment Crawler Dozer	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002072	Construction Equipment Skid Steer Loaders	SSLoader	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002075	Construction Equipment Off-Highway Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002078	Construction Equipment Dumpers/Tenders	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002081	Construction Equipment Other Construction	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF Assignment	HC	CO	NO _x		PM		BSFC
				Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
	Equipment									
2270003010	Industrial Equipment Aerial Lifts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003020	Industrial Equipment Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270003030	Industrial Equipment Sweepers/Scrubbers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003040	Industrial Equipment Other General Industrial Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003050	Industrial Equipment Other Material Handling Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003060	Industrial Equipment ACRefrigeration	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003070	Terminal Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270004000	Lawn & Garden Equipment ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004010	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers (Residential)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004011	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004015	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004016	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004020	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004021	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004025	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004026	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004030	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004031	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004035	Lawn & Garden Equipment Snowblowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004036	Lawn & Garden Equipment Snowblowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004040	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004041	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004045	Lawn & Garden Equipment Front Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF Assignment	HC	CO	NO _x		PM		BSFC
				Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270004046	Lawn & Garden Equipment Front Mowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004050	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004051	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004055	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004056	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004060	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004061	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004065	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004066	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004071	Lawn & Garden Equipment Commercial Turf Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004075	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004076	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005010	Farm Equipment 2-Wheel Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005015	Farm Equipment Agricultural Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005020	Farm Equipment Combines	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005025	Farm Equipment Balers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005030	Farm Equipment Agricultural Mowers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005035	Farm Equipment Sprayers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005040	Farm Equipment Tillers > 6 HP	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005045	Farm Equipment Swathers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005050	Farm Equipment Hydro Power Units	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005055	Farm Equipment Other Agricultural Equipment	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005060	Farm Equipment Irrigation Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006000	Light Commercial ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006005	Light Commercial Generator Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF Assignment	HC	CO	NO _x		PM		BSFC
				Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270006010	Light Commercial Pumps	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006015	Light Commercial Air Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006020	Light Commercial Gas Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006025	Light Commercial Welders	ArcWelder	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270006030	Light Commercial Pressure Washers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270007005	Logging Equipment Chain Saws > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007010	Logging Equipment Shredders > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007015	Logging Equipment Forest Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270008005	Airport Service Equipment Airport Support Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270009010	Other Underground Mining Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270010010	Other Oil Field Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020005	Recreational Pleasure Craft, Inboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020010	Recreational Pleasure Craft, Outboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020015	Recreational Pleasure Craft, Personal Water Craft	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020025	Recreational Pleasure Craft, Sailboat Aux. Outboard	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2285002015	Railway Maintenance	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18

are not applied to the emission factors for Tier 4 engines (i.e., the model applies a TAF of 1.0). "Base-T3" in this table refers to Tier 3 and prior engines.

12.6 ANEXO 6: Factores de Deterioro – Fuentes Móviles

Table A6. Deterioration Factors for Nonroad Diesel Engines

Pollutant	Relative Deterioration Factor (A) (% increase/%useful life)			
	Base/Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3+
HC	0.047	0.036	0.034	0.027
CO	0.185	0.101	0.101	0.151
NO _x	0.024	0.024	0.009	0.008
PM	0.473	0.473	0.473	0.473

DF = 1 + A * (fraction of useful life expended)^B

B = 1 for diesel nonroad engines

12.7 ANEXO 7: Informe de Resultados Encuesta de Caracterización Residencial en Relación al Uso de Leña y sus Artefactos de Combustión.