

**ESTUDIO DE ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD
AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE (MP_{2,5})**

ANEXOS Informe Final

Licitación ID: 608897-106-LP22

Centro Mario Molina Chile Spa

**Centro
Mario
Molina**

Investigación
& desarrollo

 www.cmmolina.cl

 cmmolina@cmmolina.cl

 (+56) 2 247 9650

 Antonio Bellet 292 int. 602
Providencia, Santiago

Índice de contenidos

1	ANEXO I: ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AIRE	12
1.1	Información de estaciones de calidad del aire analizadas	12
1.2	Perfiles diario, semanal, mensual de MP_{2,5}.	18
1.2.1	Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	18
1.2.2	Atacama	23
1.2.3	Coquimbo	26
1.2.4	Valparaíso	28
1.2.5	Región Metropolitana	32
1.2.6	Libertador Bernardo O'Higgins	34
1.2.7	Maule	36
1.2.8	Ñuble	37
1.2.9	Biobío	38
1.2.10	La Araucanía	42
1.2.11	Los Ríos	44
1.2.12	Los Lagos	46
1.2.13	Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	48
1.2.14	Región de Magallanes	50
1.3	Ajuste de concentraciones de monitoreo continuo de MP_{2,5} en la RM.	52
1.4	Descripción de metodología de análisis de Tendencias en base al uso de Factores de Impacto por Concentración (FIC)	56
1.4.1	Complejidad de información RM	59
1.4.2	Complejidad de información RED SIVICA	69
1.5	Tendencias de Promedios de Concentración	75
1.5.1	Zona Sur	75
1.6	Análisis estación Los Ángeles Oriente.	78
1.7	Listado de equipamiento USEPA para medición de MP_{2,5} para propósitos regulatorios	84
2	ANEXO II: ANÁLISIS EFECTOS EN SALUD	89
2.1	Guía de calidad del aire de la organización mundial de la salud	89
2.1.1	Niveles de la guía de calidad del aire recomendada para MP _{2,5} (largo plazo, anual)	93
2.1.2	Niveles de la guía de calidad del aire recomendada para MP _{2,5} (corto plazo, 24h)	99
2.2	Evaluación Integral de la Ciencia para el Material Particulado (PM ISA, US. EPA.)	102
2.2.1	Efectos Respiratorios	104
2.2.2	Efectos Cardiovasculares	105
2.2.3	Efectos al Sistema Nervioso	107
2.2.4	Cáncer	107
2.2.5	Mortalidad	108
2.3	Condiciones / enfermedades preexistentes	110
2.3.1	Enfermedades cardiovasculares: evidencia sugestiva	111
2.3.2	Diabetes y síndrome metabólico preexistente: evidencia inadecuada	112

2.3.3	Obesidad: evidencia sugestiva	112
2.3.4	Colesterol elevado: evidencia inadecuada	113
2.3.5	Enfermedades respiratorias preexistentes: evidencia sugestiva	114
2.3.6	Factores genéticos: evidencia sugestiva	114
2.4	Factores sociodemográficos:	115
2.4.1	Etapa de vida:	115
2.4.2	Sexo: evidencia inadecuada	116
2.4.3	Estatus socioeconómico (ESE): evidencia sugestiva	117
2.4.4	Raza/etnia: evidencia adecuada	118
2.4.5	Lugar de residencia: evidencia inadecuada	119
2.5	Factores conductuales y otros	120
2.5.1	Tabaquismo (Fumar): evidencia sugestiva	120
2.5.2	Dieta: evidencia inadecuada	121
2.6	Coeficientes de riesgo para efectos de la contaminación atmosférica en la salud	123
3	ANEXO III: INVENTARIO DE EMISIONES A NIVEL NACIONAL	125
3.1	Estructura del inventario de emisiones	125
3.2	Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión	130
3.2.1	Metodología Fuentes Estacionarias Puntuales	131
3.2.2	Metodología Combustión Residencial de Leña	131
3.2.3	Metodología Combustión Residencial de Gas licuado, Gas natural y kerosene	132
3.2.4	Metodología Incendios Forestales y Quemadas Agrícolas	132
3.2.5	Metodología Fuentes Móviles en Ruta	132
3.2.6	Metodología Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Maquinarias)	133
3.2.7	Metodología Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Puertos y Aeropuertos)	133
3.2.8	Metodología Polvo Resuspendido desde Calles	133
3.2.9	Metodología Construcción de Caminos y Edificios	133
3.2.10	Metodología Fuentes Fugitivas de Mineras	133
3.3	Niveles de actividad, año base 2021	134
3.3.1	Niveles de actividad de Fuentes Estacionarias Puntuales	134
3.3.2	Niveles de actividad de Combustión Residencial de Leña	137
3.3.3	Niveles de actividad de Combustión Residencial de Gas Licuado, Gas Natural y Kerosene	147
3.3.4	Niveles de actividad de Incendios Forestales	148
3.3.5	Niveles de actividad de Quemadas Agrícolas	152
3.3.6	Niveles de actividad de Fuentes Móviles en Ruta	155
3.3.7	Niveles de actividad de Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Maquinarias)	183
3.3.8	Niveles de actividad de Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Puertos y Aeropuertos)	185
3.3.9	Niveles de actividad Polvo Resuspendido desde Calles	187
3.3.10	Niveles de actividad de Construcción de Caminos y Edificios	188
3.3.11	Niveles de actividad de Fuentes Fugitivas de Mineras	189
3.4	Emisiones, año base 2021	192
3.4.1	Resumen de emisiones	192
3.4.2	Emisiones Regionales	197
3.4.3	Emisiones Fuentes Fijas	212

3.4.4	Emisiones Fuentes Areales	216
3.4.5	Emisiones Fuentes Móviles	218
3.4.6	Emisiones Polvo Fugitivo	221
4	ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (ANEXO DIGITAL)	224
5	ANEXO V: PROPUESTA DE ESCENARIOS NORMATIVOS PARA LA TEMPORALIDAD DIARIA Y ANUAL	225
5.1	Estándar en la UE	230
5.2	Estándar en EEUU	231
5.3	América Latina y Caribe	232
6	ANEXO VII: ANÁLISIS DE LA PERTINENCIA DE INCORPORAR LAS CONCENTRACIONES BACKGROUND EN LA PRESENTE REVISIÓN NORMATIVA Y DE SER PERTINENTE, REALIZAR UNA RECOMENDACIÓN PARA CUANTIFICARLO.	234
7	ANEXO VIII: CRITERIOS UTILIZADOS A NIVEL INTERNACIONAL Y LOS RECOMENDADOS POR ORGANIZACIONES DE RENOMBRE PARA ESTABLECER LOS VALORES DE EXCEDENCIA.	238
8	ANEXO VIII: PROPUESTA DE NUEVOS ESCENARIOS NORMATIVOS PARA EL PERÍODO ANUAL Y DIARIO.	242
8.1	Principales Referencias	242
8.1.1	Valores Guía de la OMS	242
8.1.2	Norma USA EPA	243
8.1.3	Unión Europea (UE)	244
8.2	Escenarios Propuestos	244
8.2.1	Escenarios de norma propuestos comparados con los actuales niveles de MP _{2,5}	246
9	ANEXO IX: MEDIDAS DE CONTROL DE EMISIONES	252

Índice de figuras

<i>Figura 1: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Arica, Tarapacá y Antofagasta en zonas costeras. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	19
<i>Figura 2: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Antofagasta al interior. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	20
<i>Figura 3: Estaciones de la Región de Arica y Parinacota.</i>	20
<i>Figura 4: Estaciones de la Región de Antofagasta.</i>	21
<i>Figura 5: Estaciones de la Región de Tarapacá.</i>	22
<i>Figura 6: Mapa de ubicación de las estaciones de calidad del aire de la Red Tocopilla.</i>	23
<i>Figura 7: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Copiapó al interior. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	24
<i>Figura 8: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Copiapó en la costa. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	25
<i>Figura 9: Estaciones de la Región de Atacama.</i>	25
<i>Figura 10: Mapa de ubicación de estaciones de calidad del aire Red Huasco.</i>	26
<i>Figura 11: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Coquimbo. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	27
<i>Figura 12: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Cuncumén (Región de Coquimbo.). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	27
<i>Figura 13: Estaciones de la Región de Coquimbo.</i>	28
<i>Figura 14: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Viña del Mar, Quilpué y Valparaíso. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	29
<i>Figura 15: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Puchuncaví, La Greda, Los Maitenes y Ventanas. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	30
<i>Figura 16: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Quintero Centro, Quintero y Loncura. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	30
<i>Figura 17: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Concón y San Pedro. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	31
<i>Figura 18: Estaciones de la Región de Valparaíso.</i>	31
<i>Figura 19: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de La Florida, Cerrillos y El Bosque (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.</i>	32

Figura 20: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Las Condes, Puente Alto, Talagante y Quilicura (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	33
Figura 21: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Santiago, Pudahuel, Independencia y Cerro Navia (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	33
Figura 22: Estaciones de la RM.....	34
Figura 23: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de O'Higgins. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	35
Figura 24: Estaciones de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	35
Figura 25: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Maule. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	36
Figura 26: Estaciones de la Región del Maule.	37
Figura 27: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Ñuble. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	38
Figura 28: Mapa con ubicación de estaciones del Concepción Metropolitano y de Los Ángeles	39
Figura 29: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Hualqui y Punteras). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	40
Figura 30: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Consultorio, Inpesca y Nueva Libertad). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	40
Figura 31: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Polivalente, ENAP, Junji, Indura). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	41
Figura 32: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Balneario Curanilahue). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	41
Figura 33: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (21 de Mayo y Los Ángeles Oriente). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	42
Figura 34: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de La Araucanía. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	43
Figura 35: Estaciones de la Región de la Araucanía.....	43
Figura 36: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Los Ríos. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	44
Figura 37: Estaciones de la Región de los Ríos	45
Figura 38: Mapa con ubicación de las estaciones de Valdivia I y Valdivia (Región de Los Ríos).	46

Figura 39: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Los Lagos. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	47
Figura 40: Estaciones de la región de Los Lagos.	48
Figura 41: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Aysén. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	49
Figura 42: Estaciones de la región de Aysén.	50
Figura 43: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de Cuncumén y Punta Arenas. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.	51
Figura 44: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2,5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM.	53
Figura 45: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2,5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM.	53
Figura 46: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2,5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM.	54
Figura 47: Cálculo de norma diaria $MP_{2,5}$ con datos sin justar (izquierda) y ajustados (derecha).	54
Figura 48: Cálculo de norma anual $MP_{2,5}$ con datos sin justar (izquierda) y ajustados (derecha).	55
Figura 49: Serie de tiempo concentración de $MP_{2,5}$ Red MACHoras.	62
Figura 50: Serie de tiempo Velocidad del viento.	63
Figura 51; Variación estacional velocidad del viento.	64
Figura 52: Serie de tiempo temperatura.	65
Figura 53 : Variación estacional temperatura.	66
Figura 54: Serie de tiempo de HR.	67
Figura 55: Variación estacional temperatura.	68
Figura 56: Tendencias de concentración zona sur.	77
Figura 57: Identificación de período anómalo en serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente.	78
Figura 58: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2015.	79
Figura 59: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2016.	79
Figura 60: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2017.	80
Figura 61: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2018.	80
Figura 62: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2020.	81
Figura 63: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2020.	81
Figura 64: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2021.	82
Figura 65: Análisis estacional estación Los Ángeles Oriente y 21 de Mayo periodo 2015-2017.	82
Figura 66: Análisis estacional estación Los Ángeles Oriente y 21 de Mayo periodo 2018-2021.	83
Figura 67: Función concentración - respuesta para el $PM_{2,5}$ (exposición de largo plazo) y la mortalidad por todas las causas. Obtenido desde Di et al. 2017. Hazard ratio: cociente de riesgo, Exposure to $PM_{2,5}$: Exposición a $PM_{2,5}$.	94
Figura 68 Relación entre la concentración de $MP_{2,5}$ (exposición de corto plazo) y la diferencia en el porcentaje de mortalidad. Obtenido desde Liu et al. 2019. Percentage Difference in Mortality: Diferencia en el porcentaje de mortalidad donde cero se refiere al nivel promedio reportado en el estudio.	101
Figura 69: Red Vial Gran Concepción. Fuente: SECTRA año 2021 (Archivos shapes de redes viales)	163

<i>Figura 70: Extracto Archivo Prepara Emisiones Horario Punta (horas) Gran Concepción</i>	<i>163</i>
<i>Figura 71: Distribución Porcentual de Emisiones por Grupo, Año 2021</i>	<i>194</i>
<i>Figura 72: Estándares de calidad del aire en el mundo. a) estándar anual, b) estándar 24 horas. Obtenido desde Nazarenko Y, Pal D, Ariya PA. Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. Bull World Health Organ. 2021 Feb 1;99(2):125-137D. doi: 10.2471/BLT.19.245704. Epub 2020 Dec 15. PMID: 33551506; PMCID: PMC7856362.</i>	<i>229</i>
<i>Figura 73: Reducción de niveles diario y anual respecto de la norma vigente</i>	<i>246</i>
<i>Figura 74: Comparación de los niveles anuales de MP_{2,5} en provincias de Chile con escenarios propuestos.</i>	<i>250</i>
<i>Figura 75: Comparación de los niveles Diarios de MP_{2,5} en provincias de Chile con escenarios propuestos ..</i>	<i>251</i>

Índice de Tablas

Tabla 1: Estaciones de calidad del aire analizadas.....	12
Tabla 2: Resumen de Estaciones de calidad del aire analizadas	13
Tabla 3: Completitud de información de MP _{2,5} (% de días válidos).....	15
Tabla 4: Fecha MP ₁₀ Oficial c/principio de medición atenuación Beta.....	52
Tabla 5. Detalles de la categorización y variables de referencia del modelo FIC.	56
Tabla 6: Completitud de información para la RM	60
Tabla 7: Completitud de información estaciones SINCA.....	70
Tabla 8: material particulado y efectos en la salud propuestos para la revisión sistemática en el proceso de desarrollo de las guías de la Organización mundial de la salud. Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).	91
Tabla 9: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad por todas las causas y la concentración de PM _{2.5} (efecto a largo plazo) en diferentes regiones del mundo. Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).	95
Tabla 10: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad circulatoria y la concentración de PM _{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).....	96
Tabla 11: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad respiratoria y la concentración de PM _{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).....	97
Tabla 12: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad por cáncer pulmonar y la concentración de PM _{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).....	98
Tabla 13: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre diversos efectos a la salud y la concentración de PM _{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).....	98
Tabla 14: Niveles anuales recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para PM _{2.5} . Tabla adaptada y traducida desde (World Health Organization, 2021)	99
Tabla 15: Estudios y riesgos relativos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad respiratoria y la concentración de PM _{2.5} (efecto a corto plazo). Tabla adaptada y traducida desde (Orellano et al., 2020). El PI o intervalo de predicción es un parámetro usado para estimar el intervalo en el cual el RR real yace al analizar diversos estudios epidemiológicos y representa la heterogeneidad entre dichos estudios.	101
Tabla 16: niveles (24h) recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para PM _{2.5} . Tabla adaptada y traducida desde (World Health Organization, 2021).	101
Tabla 17: Determinaciones de causalidad para diversos efectos de distintas fracciones de material particulado. Tabla adaptada y traducida desde (U.S. EPA., 2019).....	103
Tabla 18: Caracterización de la evidencia para factores que potencialmente aumentan el riesgo de los efectos en la salud del material particulado. Tabla adaptada y traducida desde (U.S. EPA., 2019).	110
Tabla 19: Tabla resumen incluyendo la evidencia para las distintas poblaciones y etapas de vida que potencialmente producen un aumento de riesgo a los efectos en la salud del material particulado	123
Tabla 20: Coeficientes de riesgo obtenida de informe: “Actualización de coeficientes de riesgo para efectos de la contaminación atmosférica en la salud”. Dictuc, 2022.	124

Tabla 21: Fuentes Fijas	125
Tabla 22: Fuentes Areales.....	127
Tabla 23: Fuentes Móviles	127
Tabla 24: Polvo Fugitivo	128
Tabla 25: Número de Establecimientos por Región, año 2021.....	134
Tabla 26: Número de Fuentes Estacionarias Puntuales por Región, año 2021	135
Tabla 27: Número de Equipos de Control de Emisiones por Región, año 2021	135
Tabla 28: Niveles de actividad por Región (fuentes del tipo combustión), año 2021.....	136
Tabla 29: Consumos de leña urbano – rural por región, Año 2021 (m3 sólidos/año).	137
Tabla 30: Densidad de la leña según Norma Chilena Oficial N°2907/2005.....	138
Tabla 31: Distribución de Artefactos por región (%).	138
Tabla 32: Tasa de quemado por Tipo de artefacto.....	139
Tabla 33: Distribución regional de consumo de leña por tipo de artefacto (%).	139
Tabla 34: Consumo de leña por región, Año 2015 (m3/año).	140
Tabla 35: Consumo de leña por región y tipo de artefacto, Año 2015 (m3/año).	140
Tabla 36: Número de artefactos por tipo, Año 2015.	141
Tabla 37: Tasa de consumo promedio por región y tipo de artefacto, Año 2015 (m3/artefacto).	141
Tabla 38: Consumo de leña por región y tipo de artefacto, Año 2021 (m3/año).	142
Tabla 39: Número de artefactos por tipo, Año 2021.	143
Tabla 40: Numero de artefactos Año 2021 por Región antes de Recambio.	144
Tabla 41: N° de artefactos recambiados Programa de Recambios (2015 a 2021).	144
Tabla 42: Numero de artefactos Año 2021 por Región después de Recambio.....	146
Tabla 43: Porcentajes de distribución de Humedad de la leña.....	146
Tabla 44: Consumos Residenciales de Gas Licuado, Gas Natural y Kerosene por región, Año 2021.	147
Tabla 45: Superficies (ha) afectadas por incendios forestales por región, Año 2021	149
Tabla 46: Masas quemadas (ton) incendios forestales por región, Año 2021.....	150
Tabla 47: Comparación del nivel de actividad de incendios forestales, años 2018-2021 (ha/año).	151
Tabla 48: Superficies (ha) sometidas a quemas agrícolas por región, Año 2021.	153
Tabla 49: Masas quemadas (ton) quemas agrícolas por región, Año 2021.	154
Tabla 50: Ciudades con Modelo de Transporte	156
Tabla 51: Flujos horas y FP, Año 2021 en Ciudades con Modelo de Transporte.....	158
Tabla 52: Composición Vehicular Gran Concepción Horario Punta (horas).....	164
Tabla 53: Composición Tecnológica de Vehículos Particulares Gran Concepción	165
Tabla 54: Perfil Mensual Gran Concepción.....	167
Tabla 55: Extracto de Perfil Semanal Gran Concepción.....	168
Tabla 56: Fuentes de información de Perfil Semanal	169
Tabla 57: Parque INE correspondiente a las comunas con modelo de transporte consideradas en la zona en estudio, año 2021	170
Tabla 58: Matriz EOD Gran Concepción	173
Tabla 59: Listado de parámetros MODEM	174
Tabla 60: Parque INE correspondiente a las comunas sin modelo de transporte consideradas en la zona en estudio, año 2021	174
Tabla 61: Kilómetros recorridos anuales por tipo de vehículo [km/veh]	182
Tabla 62: Velocidad promedio por tipo de vehículo [km/h]	182
Tabla 63: Cantidad de maquinarias por región, Año 2021	183

<i>Tabla 64: Horas de funcionamiento anual (hrs) por región, Año 2021</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 65: Consumo de combustible (m3) por región, Año 2021.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 66: Carga marítima movilizada por región, Año 2021.....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 67: Operaciones o ciclos de aterrizaje-despegue por región, Año 2021</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 68: Peso promedio por categoría vehicular</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 69: Contenido de finos en Calles Pavimentadas</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 70: Contenido de finos en Calles No Pavimentadas.....</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 71: Superficies construidas en caminos por región, año 2021.....</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 72: Superficies construidas en edificios por región, año 2021.</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 73: Producción minera por región (TM), año 2021.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 74: Emisiones totales por Grupo, año 2021 en miles de t/año.</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 75: Emisiones totales por Grupo y Sub-Grupo, año 2021 en t/año.</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 76: Emisiones Totales por Región, año 2021 en t/año</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 77: Emisiones Totales por comuna para cada región, año 2021 en t/año</i>	<i>198</i>
<i>Tabla 78: Emisiones Totales Fuentes Fijas por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año..</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 79: Emisiones Totales Fuentes Aerales por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 80: Emisiones Totales Fuentes Móviles por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 81: Emisiones Totales Polvo Fugitivo por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 82: Estándares y normas de MP_{2,5} recopilados por Nazarenko et al., 2021</i>	<i>226</i>
<i>Tabla 83: Estándares y normas de MP_{2,5} recopilados por Nazarenko et al., 2021.</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 84: Niveles de excedencia para MP_{2,5} en EEUU</i>	<i>240</i>
<i>Tabla 85: Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire y metas intermedias (Guías OMS 2005-2021)</i>	<i>243</i>
<i>Tabla 86: Estándar vigente de MP_{2,5} y revisión en curso EEUU - EPA</i>	<i>244</i>
<i>Tabla 87 Estándar vigente de MP_{2,5} y revisión en curso UE</i>	<i>244</i>
<i>Tabla 88: Resumen de los escenarios propuestos para evaluar</i>	<i>246</i>
<i>Tabla 89: Porcentaje de las concentraciones diaria y anual año 2021 en relación con los escenarios de norma propuestos.....</i>	<i>248</i>

1 ANEXO I: ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AIRE

1.1 Información de estaciones de calidad del aire analizadas

Tabla 1: Estaciones de calidad del aire analizadas.

N°	Tipo	Región	Estación	Latitud	Longitud	EMRP MP _{2,5}
1	Pública	Arica y Parinacota	Arica	-18.483527	-70.290549	
2	Pública	Tarapacá	Alto Hospicio	-20.290499	-70.100224	
3	Pública	Antofagasta	Antofagasta	-23.613543	-70.383376	
4	Privada	Antofagasta	Club deportivo 23 de marzo	-22.46012413	-68.93780408	EMRP
5	Privada	Antofagasta	Colegio Pedro Vergara Keller	-22.44218056	-68.9330112	EMRP
6	Privada	Antofagasta	Estación centro (Calama)	-22.46181853	-68.92818078	EMRP
7	Privada	Antofagasta	Hospital del Cobre	-22.45400411	-68.91020428	EMRP
8	Privada	Antofagasta	Sierra Gorda SCM	-22.89023251	-69.31884302	
9	Privada	Antofagasta	Bomberos	-22.10784521	-70.20875665	
10	Privada	Antofagasta	Tres marías	-22.06023523	-70.18736178	
11	Pública	Atacama	Copiapó	-27.370017	-70.323373	EMRP
12	Pública	Atacama	Huasco	-28.470211	-71.219571	EMRP
13	Privada	Atacama	Huasco- 21 de mayo	-28.46793876	-71.22721177	
14	Privada	Atacama	SM10 -EME F	-28.46635259	-71.22158303	
15	Privada	Atacama	SM9 -EME M	-28.47031339	-71.21883745	
16	Pública	Coquimbo	La Serena	-29.920341	-71.25602	
17	Pública	Coquimbo	Coquimbo	-29.970756	-71.335976	
18	Pública	Coquimbo	Cuncumén	-31.889271	-70.629332	
19	Pública	Valparaíso	Viña del Mar	-33.020344	-71.550098	
20	Pública	Valparaíso	Valparaíso	-33.049615	-71.614355	
21	Pública	Valparaíso	Concón	-33.020344	-71.550098	EMRP
22	Privada	Valparaíso	Puchuncaví	-32.71873112	-71.407326	EMRP
23	Privada	Valparaíso	La Greda	-32.74827638	-71.47421427	EMRP
24	Privada	Valparaíso	Los Maitenes	-32.7643451	-71.4545094	EMRP
25	Privada	Valparaíso	Ventanas	-31.84054252	-71.45640453	
26	Privada	Valparaíso	Cuerpo de Bomberos	-32.88550856	-71.24742375	
27	Privada	Valparaíso	San Pedro	-32.93728848	-71.27429138	
28	Privada	Valparaíso	Centro Quintero	-32.78772077	-71.53222588	
29	Privada	Valparaíso	Loncura	-32.79491426	-71.49642006	
30	Privada	Valparaíso	Quintero	-33.96135255	-65.13371994	EMRP
31	Pública	Valparaíso	Quilpué	-33.04744123	-71.43450008	
32	Pública	Metropolitana	Independencia	-33.42224244	-70.65119205	EMRP
33	Pública	Metropolitana	la Florida	-33.51663192	-70.58807333	EMRP
34	Pública	Metropolitana	Las Condes	-33.37678493	-70.52326705	EMRP
35	Pública	Metropolitana	Santiago	-33.4641297	-70.66083052	
36	Pública	Metropolitana	Pudahuel	-33.43785733	-70.75015629	EMRP
37	Pública	Metropolitana	Cerrillos	-33.49287432	-70.71939304	EMRP
38	Pública	Metropolitana	El Bosque	-33.54710618	-70.66616459	EMRP
39	Pública	Metropolitana	Cerro Navia	-33.43313306	-70.73208861	EMRP
40	Pública	Metropolitana	Puente Alto	-33.59136983	-70.59477575	EMRP
41	Pública	Metropolitana	Talagante	-33.67381914	-70.95300694	
42	Pública	Metropolitana	Quilicura	-33.34978591	-70.7237521	EMRP
43	Pública	O'Higgins	Rancagua I	-34.162311	-70.713878	EMRP
44	Pública	O'Higgins	Rancagua II	-34.143913	-70.73717	EMRP
45	Pública	O'Higgins	Rengo	-34.39451	-70.852954	EMRP
46	Pública	O'Higgins	San Fernando	-34.579855	-70.989648	EMRP
47	Pública	Maule	Curicó	-34.974943	-71.233965	EMRP
48	Pública	Maule	U. Talca	-35.406609	-71.633298	EMRP
49	Pública	Maule	UC Maule	-35.435763	-71.619457	EMRP

N°	Tipo	Región	Estación	Latitud	Longitud	EMRP MP _{2,5}
50	Pública	Maule	Talca La Florida	-35.435177	-71.678183	EMRP
51	Pública	Maule	Linares	-35.836969	-71.592874	EMRP
52	Pública	Ñuble	INIA	-36.59484	-72.08931	EMRP
53	Pública	Ñuble	Purén	-36.616218	-72.09309	
54	Pública	Biobío	Consultorio	-36.72369	-73.123695	
55	Pública	Bio-Bio	Kingston College	-36.78465	-73.052062	EMRP
56	Pública	Bio-Bio	Punteras	-36.923316	-73.036123	EMRP
57	Pública	Bio-Bio	Cerro Merquín	-37.021191	-73.149561	EMRP
58	Pública	Bio-Bio	Polivalente	-36.601716	-72.958522	
59	Pública	Bio-Bio	Hualqui	-36.97749	-72.931943	
60	Pública	Bio-Bio	Balneario	-37.485123	-73.331608	EMRP
61	Pública	Bio-Bio	Los Ángeles Oriente	-37.463088	-72.324552	EMRP
62	Pública	Bio-Bio	21 de Mayo	-37.471191	-72.361471	EMRP
63	Privada	Bio-Bio	Coronel Norte	-37.00937623	-73.14961183	
64	Privada	Bio-Bio	ENAP Price	-36.79136267	-73.11910929	
65	Privada	Bio-Bio	Junji	-36.78074368	-73.11561516	
66	Privada	Bio-Bio	Lautaro	-37.50914649	-72.65611476	
67	Privada	Bio-Bio	Indura	-36.76999809	-73.11380559	
68	Privada	Bio-Bio	Laja	-37.26779134	-72.71089043	
69	Privada	Bio-Bio	Inpesca	-36.73729189	-73.10438185	
70	Privada	Bio-Bio	Nueva Libertad	-36.73619665	-73.11885505	
71	Pública	Araucanía	Ñielol	-38.72693	-72.579895	EMRP
72	Pública	Araucanía	Las Encinas	-38.748655	-72.620777	EMRP
73	Pública	Araucanía	Padre las Casas	-38.76473	-72.598792	EMRP
74	Pública	Araucanía	M. Ferroviario	-38.72525317	-72.57114097	
75	Pública	Los Ríos	Valdivia	-39.831347	-73.22847	EMRP
76	Pública	Los Ríos	Valdivia	-39.805473	-73.258875	
77	Pública	Los Ríos	La Unión	-40.286595	-73.077206	
78	Pública	Los Lagos	Osorno	-40.584507	-73.118653	EMRP
79	Pública	Los Lagos	Alerce	-41.399151	-72.899563	EMRP
80	Pública	Los Lagos	Mirasol	-41.479529	-72.968828	EMRP
81	Pública	Los Lagos	Puerto varas	-41.32980981	-72.97100207	EMRP
82	Pública	Aysén	Coyhaique I	-45.579927	-72.061085	EMRP
83	Pública	Aysén	Coyhaique II	-45.578997	-72.050136	EMRP
84	Pública	Aysén	Vialidad / Puerto Aysén	-45.4068	-72.696259	EMRP
85	Pública	Magallanes	Punta Arenas	-53.158348	-70.921522	

Tabla 2: Resumen de Estaciones de calidad del aire analizadas

Región	Total	Pública	Privada	EMRP MP _{2,5}
Arica y Parinacota	1	1	0	0
Tarapacá	1	1	0	0
Antofagasta	8	1	7	0
Atacama	5	2	3	0
Coquimbo	3	3	0	0
Valparaíso	13	4	9	5
Metropolitana	11	11	0	9
O'Higgins	4	4	0	4
Maule	5	5	0	5
Ñuble	2	2	0	1

Región	Total	Pública	Privada	EMRP MP _{2,5}
Bio-Bio	17	9	8	6
Araucanía	4	4	0	3
Los Ríos	3	3	0	1
Los Lagos	4	4	0	4
Aysén	3	3	0	3
Magallanes	1	1	0	0
Total	85	58	27	41

Tabla 3: Completitud de información de MP_{2,5} (% de días válidos).

Región	Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Arica y Parinacota	Arica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	96	99	96	100	82	94	100	100
Tarapacá	Alto Hospicio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	96	99	98	99	80
Antofagasta	Club deportivo 23 de marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	97	96	58	98	96	88	96	97	95
Antofagasta	Colegio pedro vergara keller	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93	89	85	89	86	96	84	93	97
Antofagasta	Estación centro (calama)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	87	93	96	98	96	82	84	82	92
Antofagasta	Hospital del Cobre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	99
Antofagasta	Sierra Gorda SCM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	99	99	97	96	69	100	99	96	81
Antofagasta	Bomberos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	58	81	99	97	98	93	90	98	95
Antofagasta	Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	100	100	99	99	98	100	99	99
Antofagasta	Tres marías	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	95	70	93	80	89	99	83	67	99	97
Atacama	Huasco- Poblacion 21 de mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	99	93	98
Atacama	SM10 -EME F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	76	84	97
Atacama	SM9 -EME M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	83	84	96
Atacama	Copiapó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	98	93	99	100	100	99	99	100
Atacama	Huasco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	100	99	99	99	98	99	99
Coquimbo	La Serena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	90	71	100	98	99	99	99	99
Coquimbo	Coquimbo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	100	83	99	81	100	99	100	99
Coquimbo	Cuncumén	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	100
Valparaíso	Viña del Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	44	98	32	5	42	27	61	53	92	99	100	98	98	99
Valparaíso	Valparaíso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	100	100	96	99	99	100	99	99
Valparaíso	Concón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	98	99	99
Valparaíso	Quilpué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	93	100	66	-	-	-	-	-
Valparaíso	Puchuncaví	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	99	98	99	99	97
Valparaíso	La Greda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	98	97	97	97	97	94	96	97	96
Valparaíso	Los Maitenes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	97	98	93	95	98	95	95	96	93
Valparaíso	Ventanas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	95	96	99	98	98	98	99	98
Valparaíso	Cuerpo de Bomberos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valparaíso	San Pedro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	97
Valparaíso	Centro Quintero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	100	100
Valparaíso	Loncura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	100	99	91	23	98	96

Región	Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Valparaíso	Quintero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	98	93	97	96	97
RM	Independencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	96	98	98	98	90	99	95	96	96	97	99	54
RM	la Florida	99	66	99	99	100	100	100	100	99	100	98	98	98	97	99	97	95	95	92	94	96	97
RM	Las Condes	99	67	99	100	100	99	99	100	98	99	99	99	97	100	98	97	90	95	93	97	97	97
RM	Santiago	99	66	97	98	97	94	99	99	98	99	97	96	98	98	98	98	97	96	95	98	97	97
RM	Pudahuel	99	67	98	99	99	99	99	99	99	99	96	98	99	100	96	97	94	76	91	95	99	96
RM	Cerrillos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97	94	96	100	99	84	86	97	3	-	97	83	-
RM	El Bosque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	98	99	98	99	97	96	95	96	96	94	99	97
RM	Cerro Navia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	99	100	100	100	98	92	96	94	96	98	99	98
RM	Puente Alto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	97	100	100	99	97	98	97	96	93	98	99	98
RM	Talagante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98	97	98	98	99	19	87	94	87	91	93	5	55
RM	Quilicura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	97	99	99	99	96	98	96	92	92	97	98	98
O'Higgins	Rancagua I	-	-	-	-	-	-	-	-	48	70	30	93	95	82	100	100	99	99	99	99	99	99
O'Higgins	Rancagua II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	73	99	86	98	99	99	98	99	99
O'Higgins	Rengo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	99	99	99	99
O'Higgins	San Fernando	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	99	98	99	98	99
Maule	Curicó	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	99	96	97	99	99	99	99	99
Maule	U. Talca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78	94	100	99	98	99	99	99	99
Maule	UC Maule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	95	98	99	99	99	99	98	99
Maule	Talca La Florida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	95	100	82	99	100	99	99	99
Maule	Linares	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	99	99	99	99	99
Ñuble	INIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	94	96	73	64	98	99	99	99
Ñuble	Purén	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78	98	100	100	99	99	99	99	99	99
Bio-Bio	Consultorio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	95	96	99	99	99
Bio-Bio	Kingston College	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	100	99	100	99	99
Bio-Bio	Punteras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	99	97	99	99	99
Bio-Bio	Cerro Merquín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	99	96	99	99	99
Bio-Bio	Polivalente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	99	98	99	92	98
Bio-Bio	Hualqui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	98	99	99	99
Bio-Bio	Balneario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	98	99	99	99	99
Bio-Bio	Los Ángeles Oriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	84	81	74	63	87	99	99	99
Bio-Bio	21 de Mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	99	99	100	100	99	99	99	99	99
Bio-Bío	Coronel Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	90	95
Bio-Bío	ENAP Price	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	82	43	70	58	82	100	99	100	98

Región	Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Bio-Bío	Junji	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6	-	-	-	62	99	96	99	99	99
Bio-Bío	Lautaro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	94	98
Bio-Bío	Indura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	98	97	99	99
Bio-Bío	Laja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	41	-
Bio-Bío	Inpesca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	30	25	5	65	100	99	97	100	97
Bio-Bío	Nueva Libertad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94	100	100	99	98	97	99	99	98	96	98	100
Araucanía	Ñielol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	99	96	99
Araucanía	Las Encinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	85	98	76	83	100	100	99	99	99	99	99	99
Araucanía	Padre las Casas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	82	100	88	99	99	99	98	99	99
Araucanía	M. Ferroviario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	66	75	100	84	100	100	99	66	-	-	-	-
Los Ríos	Valdivia	-	-	-	-	-	-	-	-	40	99	65	81	98	83	100	98	97	99	99	99	99	99
Los Ríos	Valdivial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	99	99	99
Los Ríos	La Unión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	97	99	99
Los Lagos	Osorno	-	-	-	-	-	-	-	-	39	98	75	67	98	83	100	96	99	98	99	99	99	99
Los Lagos	Alerce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	97	99	99	99
Los Lagos	Mirasol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	100	99	96	99	99
Los Lagos	Puerto varas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	98
Aysén	Coyhaique I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84	100	99	99	99	99	99	99	99
Aysén	Coyhaique II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	98	86	100	97	99	97	99	99
Aysén	Vialidad / Puerto Aysén	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	98	99	99
Magallanes	Punta Arenas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	100	93	82	98	98	99	100	98

En rojo se indica años con menos del 75% de completitud.

1.2 Perfiles diario, semanal, mensual de MP_{2,5}.

Comprender el comportamiento de la contaminación a nivel diario, semanal y mensual, permite interpretar de mejor forma las variaciones en los niveles de MP_{2,5}. Para tener una mejor representación de los ciclos diarios, semanal y mensual, se elaboraron las gráficas siguientes utilizando toda la información disponible de las estaciones, salvo en algunos casos en donde se indique lo contrario. Todas las gráficas de esta sección fueron desarrolladas utilizando el paquete estadístico en el software R de nombre “Open Air”¹.

Cabe recordar que este análisis incluye estaciones públicas y privadas, independiente si tienen clasificación EMRP o no.

En general se pueden diferenciar diferentes tipos de perfil temporal en la concentración de MP_{2,5} que se pueden resumir como sigue:

- Estaciones del sector norte de país ubicadas al interior. Se caracterizan por tener bajas concentraciones de MP_{2,5} con incrementos en invierno con un pronunciado efecto de las emisiones del tráfico vehicular y de los factores meteorológicos en el perfil diario.
- Estaciones del sector centro-Sur del País ubicados en el valle central: estas estaciones se caracterizan por tener un incremento sustantivo de concentración en los meses de invierno con respecto a los meses de verano, ocasionados por un incremento en las emisiones de quema de leña para calefacción y empeoramiento de las condiciones de ventilación. El perfil diario está modulado principalmente por incrementos sustantivos durante horas de la noche donde sinergia ambos factores (mayor calefacción y menor dispersión atmosférica).
- Estaciones del sector zonas emplazadas en el sector de costa de Chile, destacándose Tocopilla, Antofagasta, Valparaíso y Concepción Metropolitano. Estas estaciones presentan concentraciones más bajas que las del valle central, con perfiles promedios diarios significativamente diferentes a las otras estaciones, que están modulados preferentemente por fuentes emisoras industriales y el perfil de comportamiento de los vientos influenciados por el mar.

1.2.1 Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta

En la Figura 1 se entregan los perfiles promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Arica, Tarapacá y Antofagasta que se ubican en la zona costera y en la Figura 2 hacia el interior de la región de Antofagasta (Red Calama y Sierra Gorda). Se han agrupado en este sentido ya que tienden a presentar ciclos y perfiles diferenciados.

¹ David Carslaw and Karl Ropkins (2020). openair: Tools for the Analysis of Air Pollution Data. R package version 2.7.4. <https://CRAN.R-project.org/package=openair>

Las estaciones en la zona costera presentan un comportamiento similar entre sí, con excepción de la estación de Bomberos (Comuna de Tocopilla) y con menor extensión estación Tres Marías, ambas sin EMRP, las que muestran aumentos de las concentraciones desde la noche hasta las 7 horas. Las otras estaciones tienden a mostrar concentraciones más bajas durante la noche con un incremento a las 6-7 horas asociado a impacto de las emisiones de tráfico vehicular. Estación Bomberos y Tres Marías se encuentran en la comuna de Tocopilla, la primera se ubica al sur de la zona urbana de mayor tamaño de la comuna, mientras que Tres Marías está ubicada hacia el norte en una zona urbana de menor tamaño poblacional, lo que podría explicar el menor nivel de concentración de $MP_{2,5}$ que presenta en comparación con la estación de Bomberos (Figura 6). El perfil promedio anual indica incrementos de concentración en los meses de junio-julio en las tres estaciones, a excepción de estación Bomberos que frecuentemente muestra incrementos en el mes febrero y marzo.

El perfil de las estaciones ubicadas en el interior de Antofagasta se entrega en la Figura 2, encontrándose un comportamiento relativamente similar diario entre todas las estaciones. Estación Hospital del Cobre tiende a mostrar los mayores incrementos de concentración alrededor de las 10 horas, en tanto que las otras no se identifican incrementos significativos. Sin embargo, casi todas las estaciones presentan un segundo máximo de concentración durante alrededor de las 19 horas asociado principalmente al tráfico vehicular.

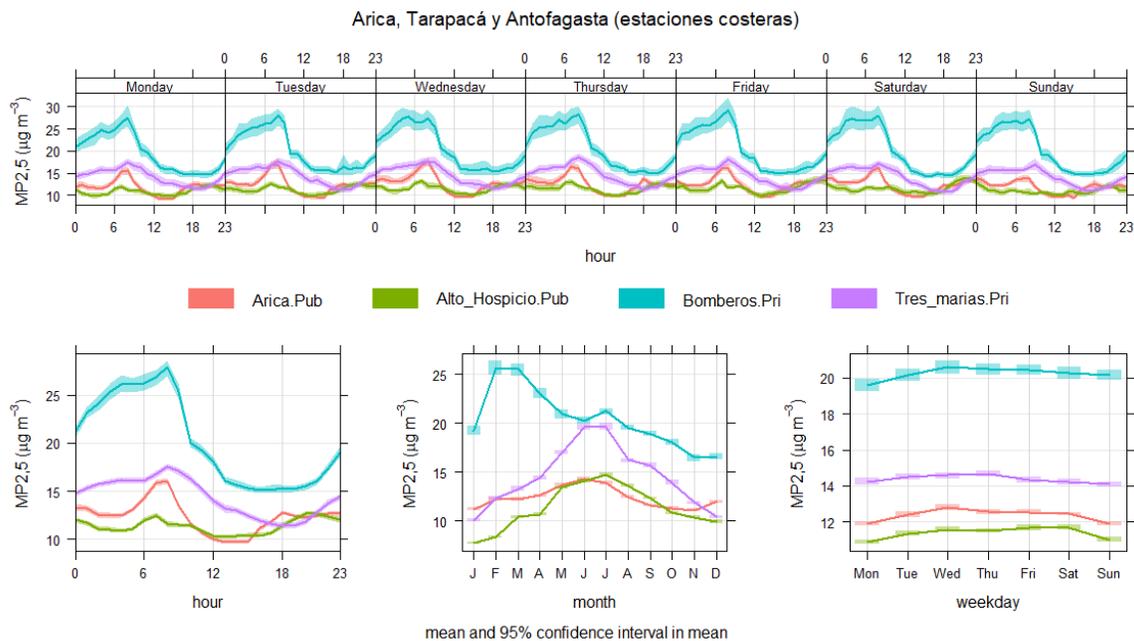


Figura 1: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Arica, Tarapacá y Antofagasta en zonas costeras. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

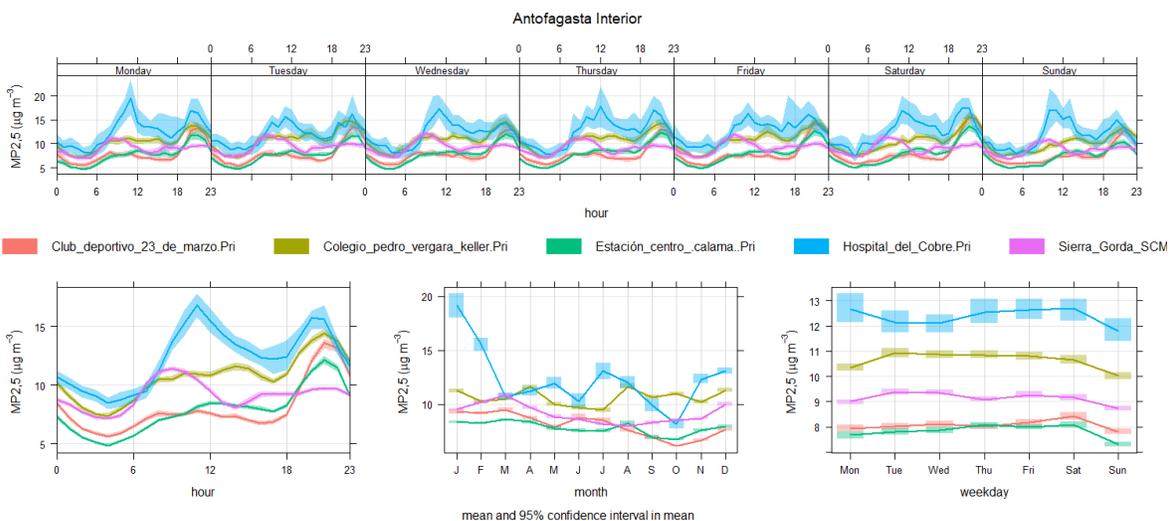


Figura 2: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Antofagasta al interior. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.



Figura 3: Estaciones de la Región de Arica y Parinacota.

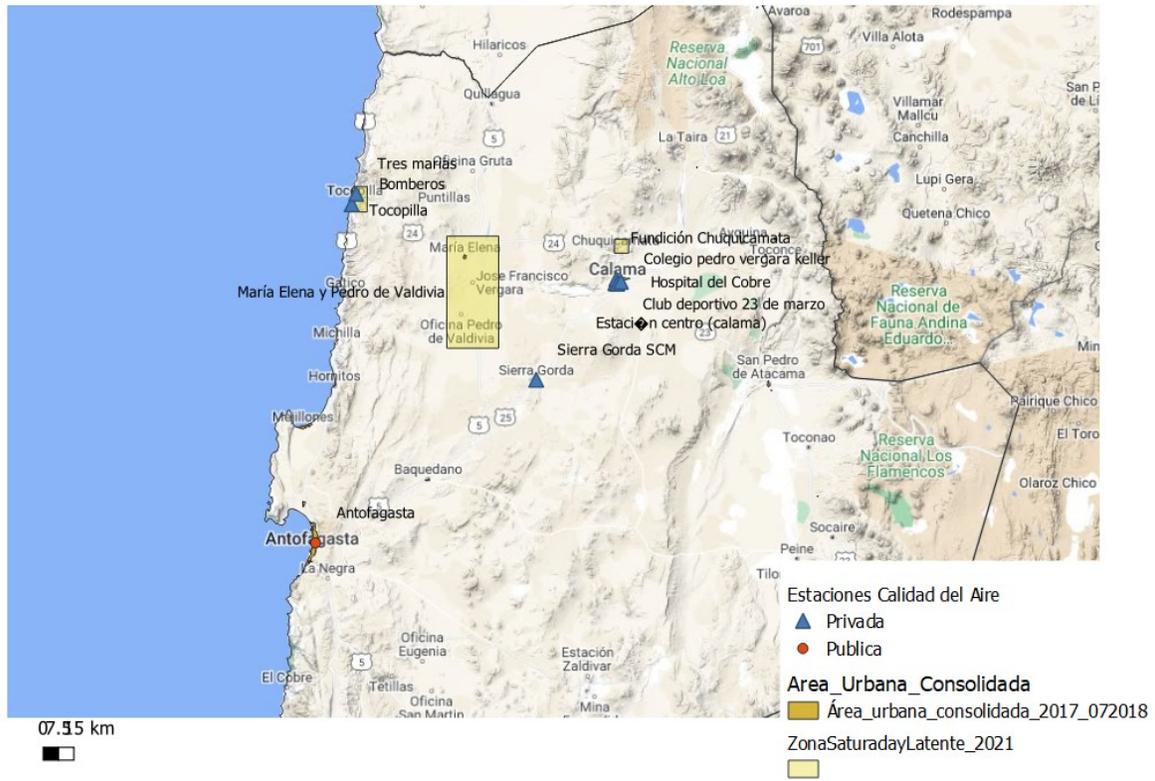


Figura 4: Estaciones de la Región de Antofagasta.



Figura 5: Estaciones de la Región de Tarapacá.

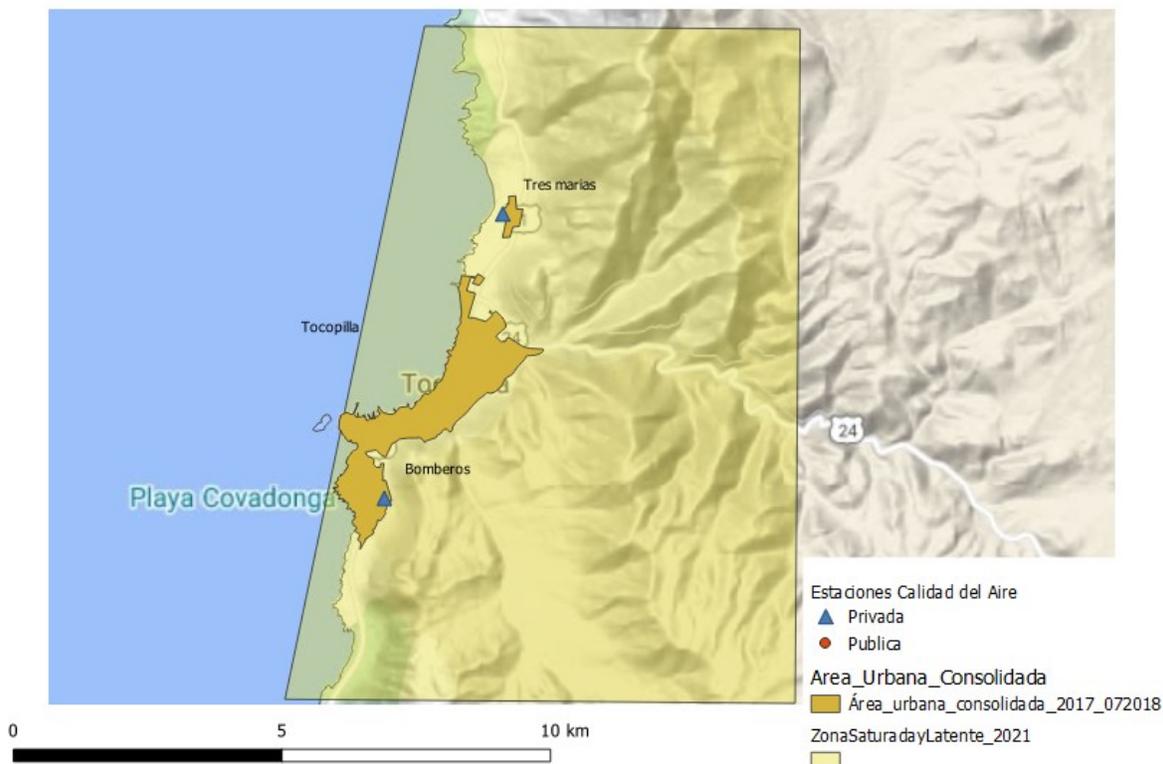


Figura 6: Mapa de ubicación de las estaciones de calidad del aire de la Red Tocopilla.

1.2.2 Atacama

En la Figura 7 y Figura 8 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la región de Atacama, separado por aquellas que se ubican en la costa (Figura 10) de las otras que están en el valle (al interior de la región, solo estación Copiapó).

Los perfiles en la estación de Copiapó (ubicadas al interior, Figura 17) muestra un incremento significativo de concentración entre las 6 y las 11 horas y un segundo máximo en torno a las 19 horas. El hecho que estos máximos disminuyan durante los fines de semana hace suponer impactos asociados al tráfico vehicular. El perfil anual indica incrementos de concentración significativos durante los meses de invierno, característico de estaciones ubicadas en el valle central.

Las estaciones ubicadas en la costa muestran ciclos diarios y anuales diferentes a los que se encuentran en estación Copiapó (al interior de la región. Estación SM10 (Huasco) la que presenta los mayores incrementos durante la mañana y la tarde, con un perfil diario similar al que presenta la estación SME9, pero esta última con concentraciones menores. Los perfiles diarios en estación 21 de mayo y Huasco son más bien planos; con variaciones pequeñas durante el día. Todas las

estaciones tienden a mostrar incrementos en los meses de invierno, pero con menor magnitud que la mostrada por la estación Copiapó (hacia el interior).

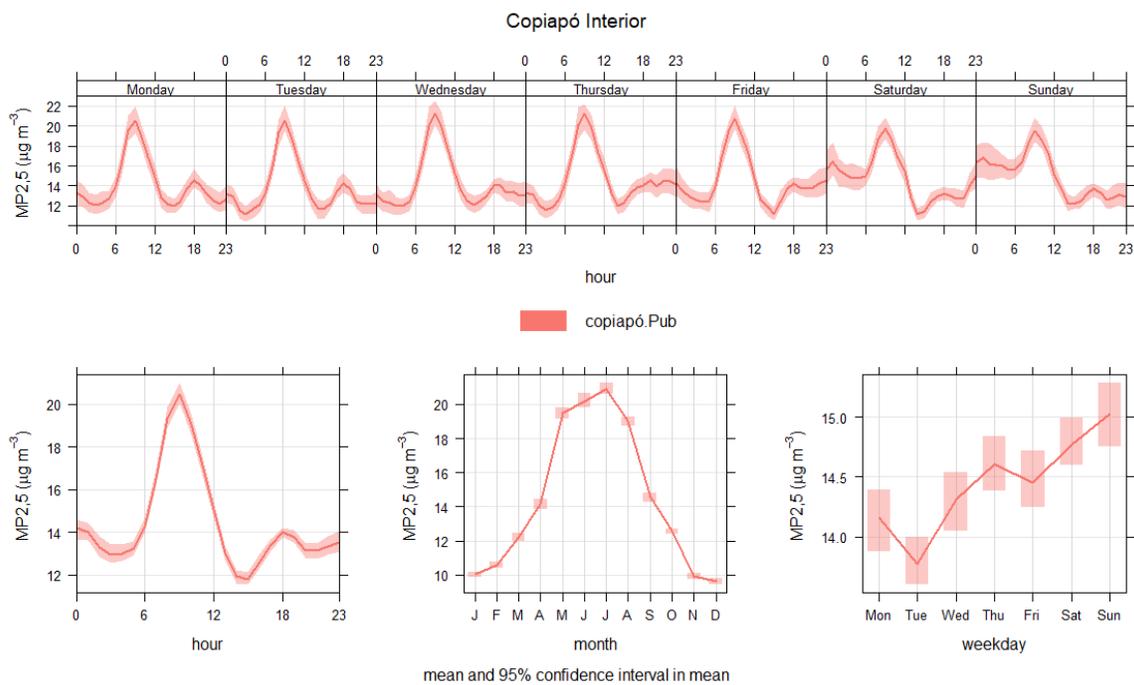


Figura 7: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Copiapó al interior. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

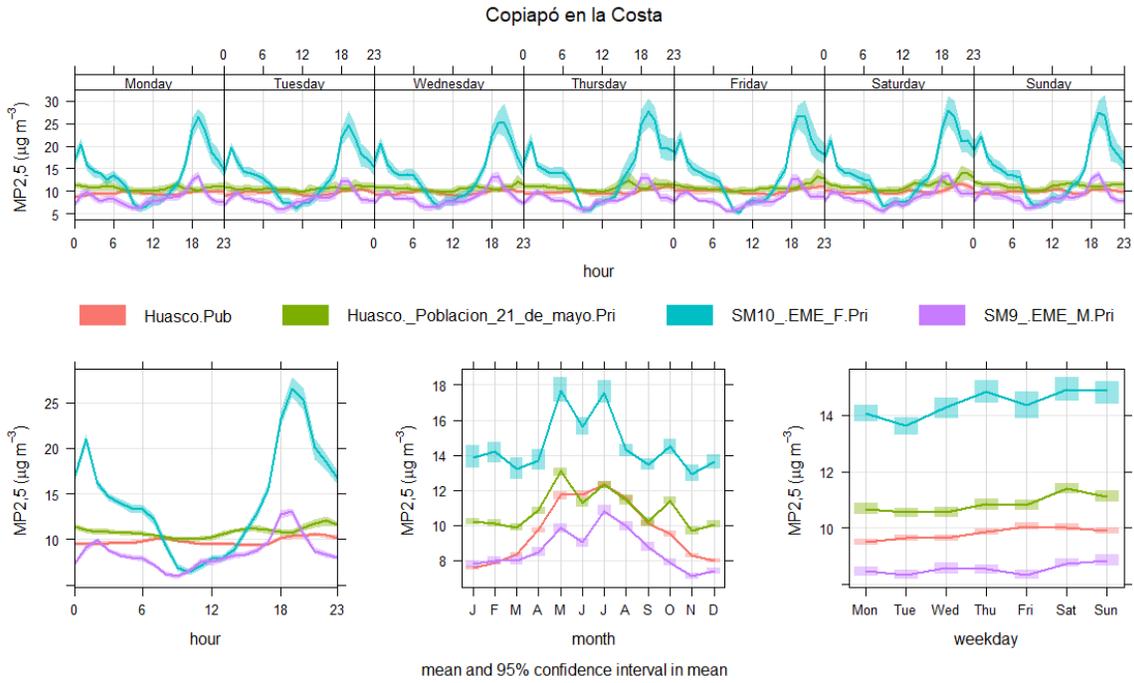


Figura 8: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Copiapó en la costa. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

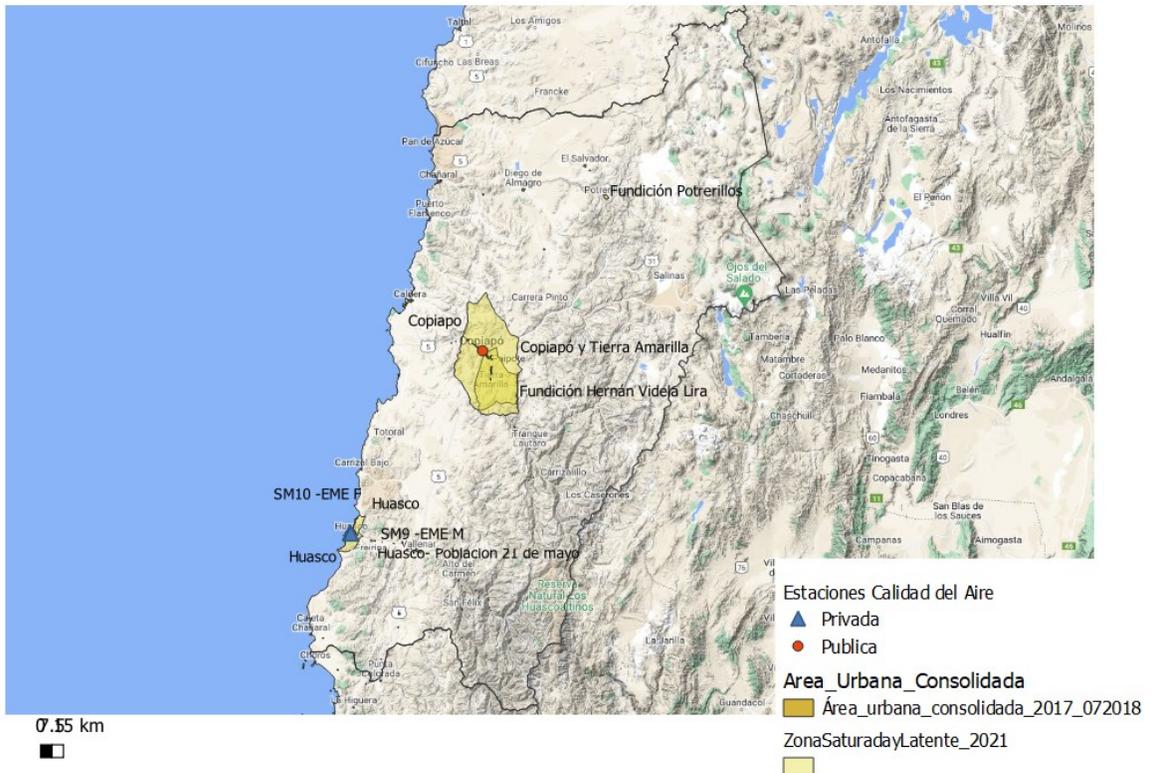


Figura 9: Estaciones de la Región de Atacama.

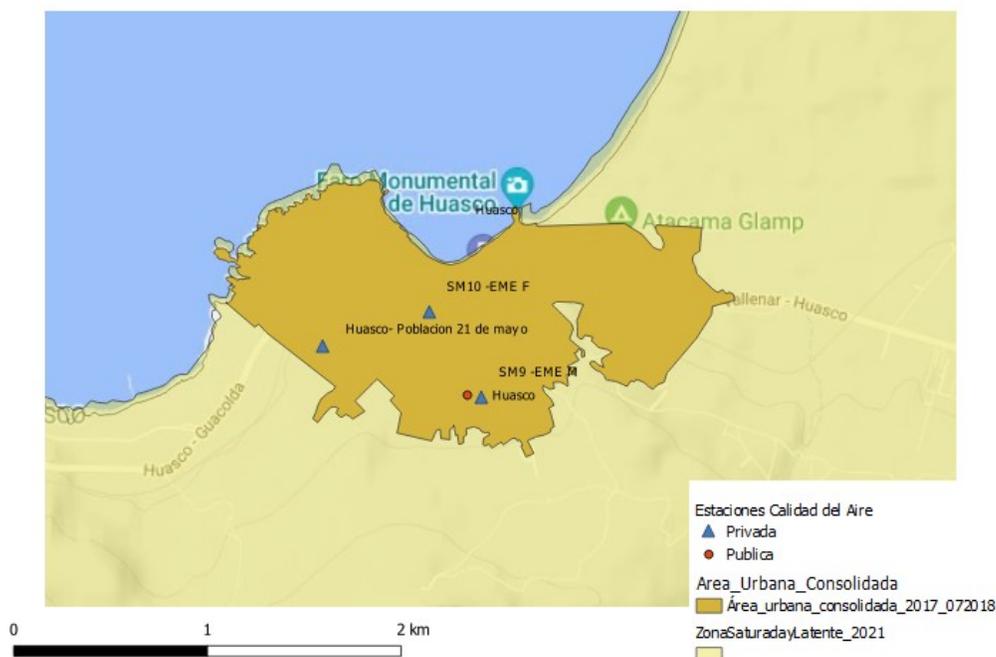


Figura 10: Mapa de ubicación de estaciones de calidad del aire Red Huasco.

1.2.3 Coquimbo

En la Figura 11 y Figura 12 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para las estaciones de la región de Coquimbo, separado por aquellas que se ubican en la costa (Coquimbo y La Serena) o bien en el valle (Cuncumén, al interior de la región). Los perfiles en las estaciones de Coquimbo y La Serena son equivalentes en términos del comportamiento temporal, y significativamente diferente de la estación Cuncumén que muestra las concentraciones más bajas de todas las analizadas en Chile. Los perfiles en estaciones de Coquimbo y La Serena muestran incrementos nocturnos significativos y alrededor de las 7 horas asociado a impacto de emisiones de tráfico vehicular. El perfil anual indica aumentos significativos en los meses de invierno. Por el contrario, la estación Cuncumén además de mostrar bajas concentraciones, tiende a mostrar perfiles más bien planos, inclusive con disminución durante los meses de invierno.

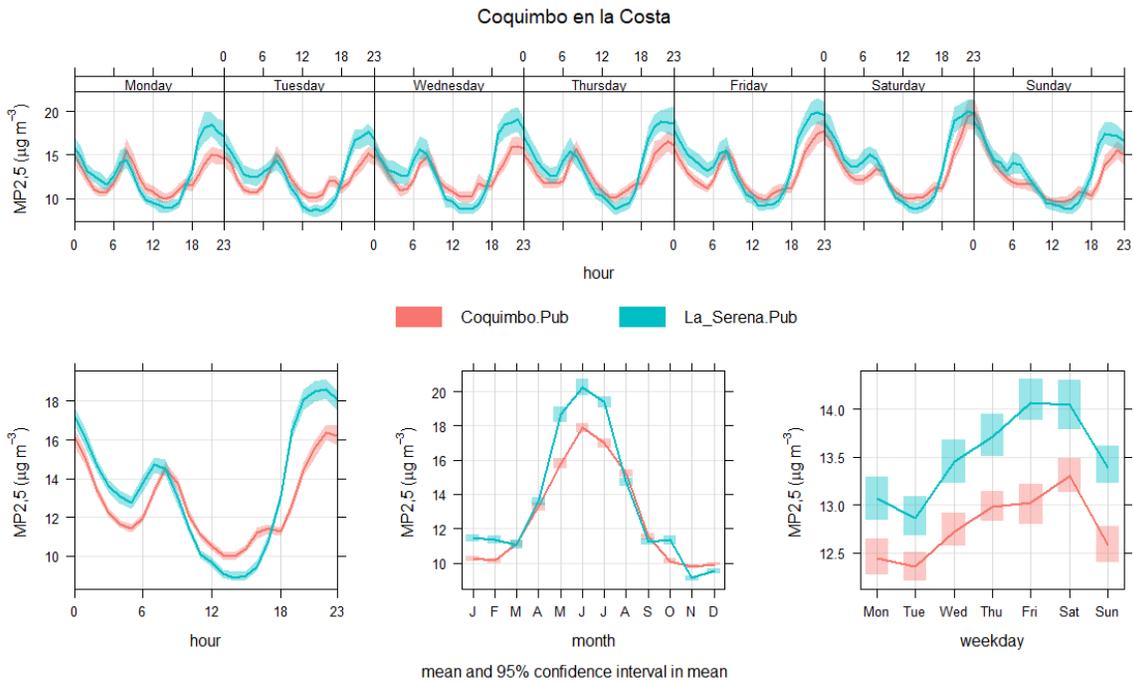


Figura 11: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Coquimbo. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

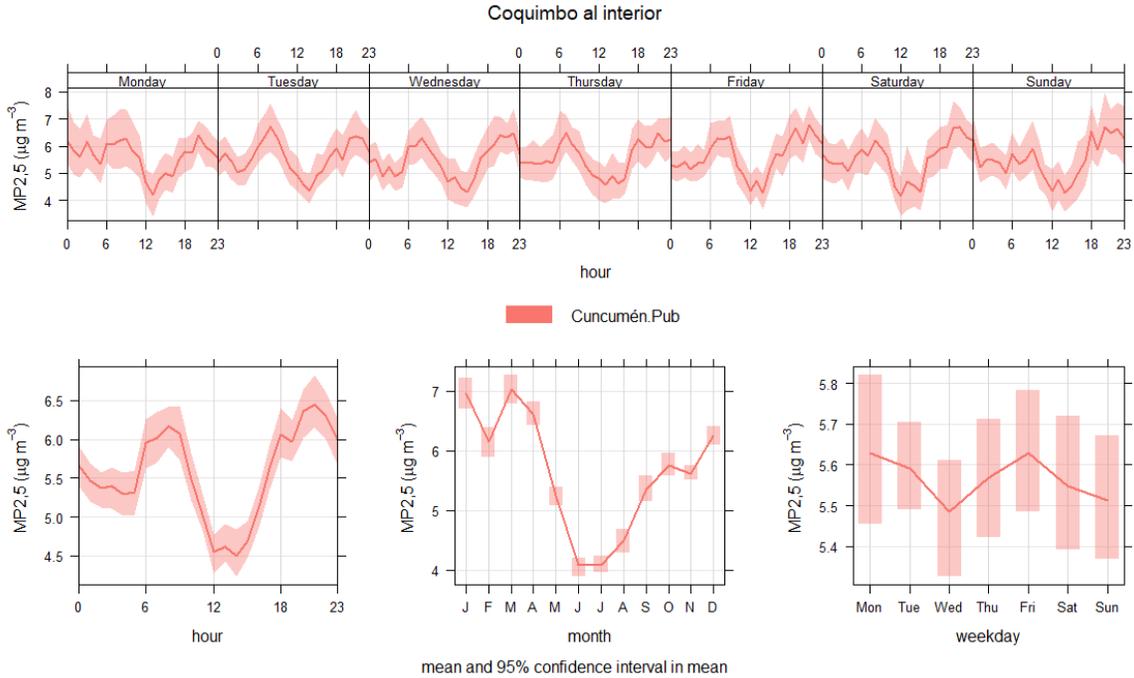


Figura 12: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Cuncumén (Región de Coquimbo.). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

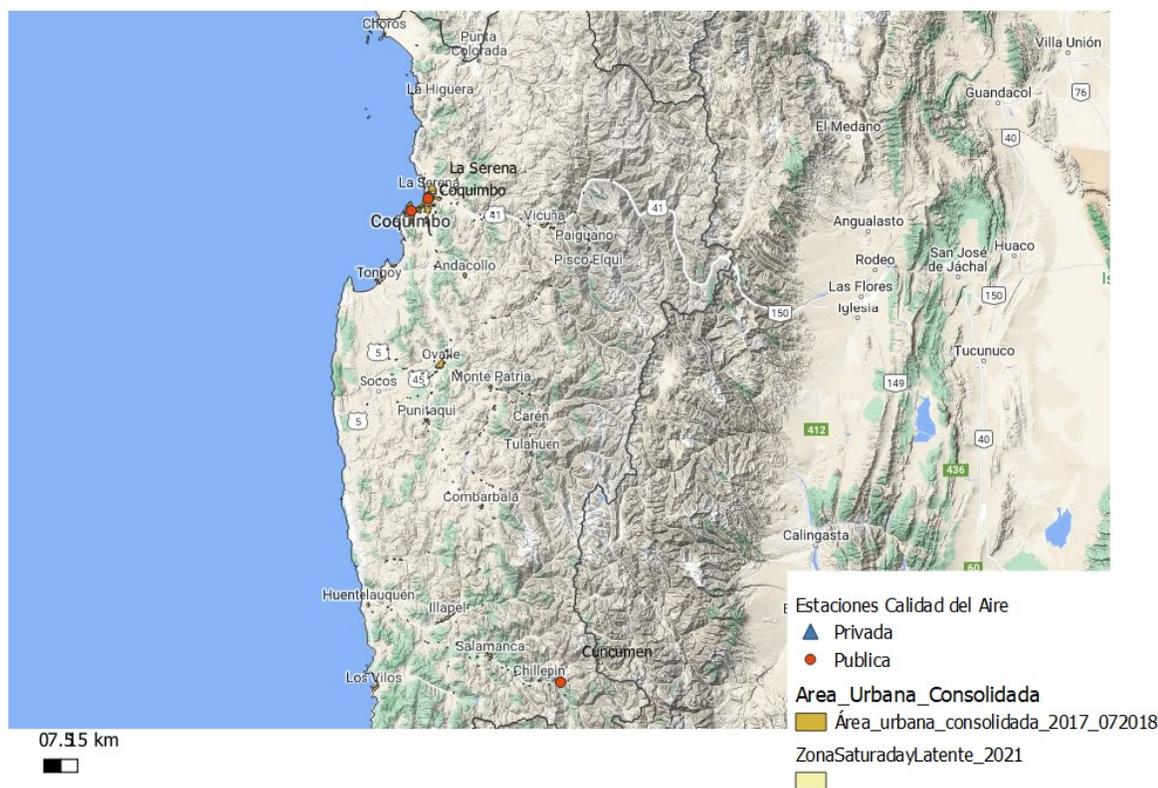


Figura 13: Estaciones de la Región de Coquimbo.

1.2.4 Valparaíso

En la Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 24 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la región de Valparaíso. Cabe mencionar que la estación de Quilpué tiene información solo entre los años 2013 y 2016, período en donde presentó niveles por sobre la norma, pero que sin embargo no ha seguido monitoreando. Estación Bomberos tampoco sigue monitoreando por lo cual se excluyeron de este análisis. Esta región tiene un número de estaciones importante, de manera tal que las gráficas están agrupadas según proximidad entre ellas.

Sobre la base de los perfiles diario y anual se pueden clasificar las siguientes estaciones:

- Viña del Mar, Valparaíso (Figura 14), La Greda, Las Ventanas (Figura 15), Loncura (Figura 16), Concón y San Pedro (Figura 17). En todas estas estaciones se distingue el máximo en torno a las 7 horas (atribuible al tráfico vehicular) y el incremento durante las horas de la noche claramente separados uno del otro.
- Puchuncaví (Figura 15), que, en adición a los otros máximos de concentración señalados en las estaciones del grupo anterior, se distingue un período de crecimiento de concentración

entre las 12 y 18 horas probablemente atribuible a un transporte vehicular y acumulación de concentración desde otras zonas de la región (probablemente desde la costa).

- Quintero y Quintero Centro (Figura 16), en donde el incremento nocturno no se logra distinguir del incremento atribuible al tráfico vehicular (en torno a las 7 horas), y por lo tanto tiene mayor período de tiempo con concentraciones nocturnas altas.
- Los Maitenes (Figura 15), no se distinguen incrementos de concentración durante las horas nocturnas, como el resto de las otras estaciones, ni tampoco el incremento atribuible al tráfico vehicular (7 horas), sino que un incremento suave que se desarrolla entre las 8 horas y las 20 horas. Por lo tanto, de todas las estaciones, esta es la única que parece no tener impacto directo de fuentes locales (en los alrededores inmediatos), sino que recibe de otras zonas.

En esta región comienza a observarse de mejor manera el impacto de a quema de leña residencial, especialmente en las estaciones emplazadas en centros urbanos. En efecto, estación Los Maitenes es la única que está en un área más bien rural y es en donde no se logran observar incrementos de concentración nocturnos ni tampoco incrementos significativos en los meses de invierno como en el caso de las otras estaciones.

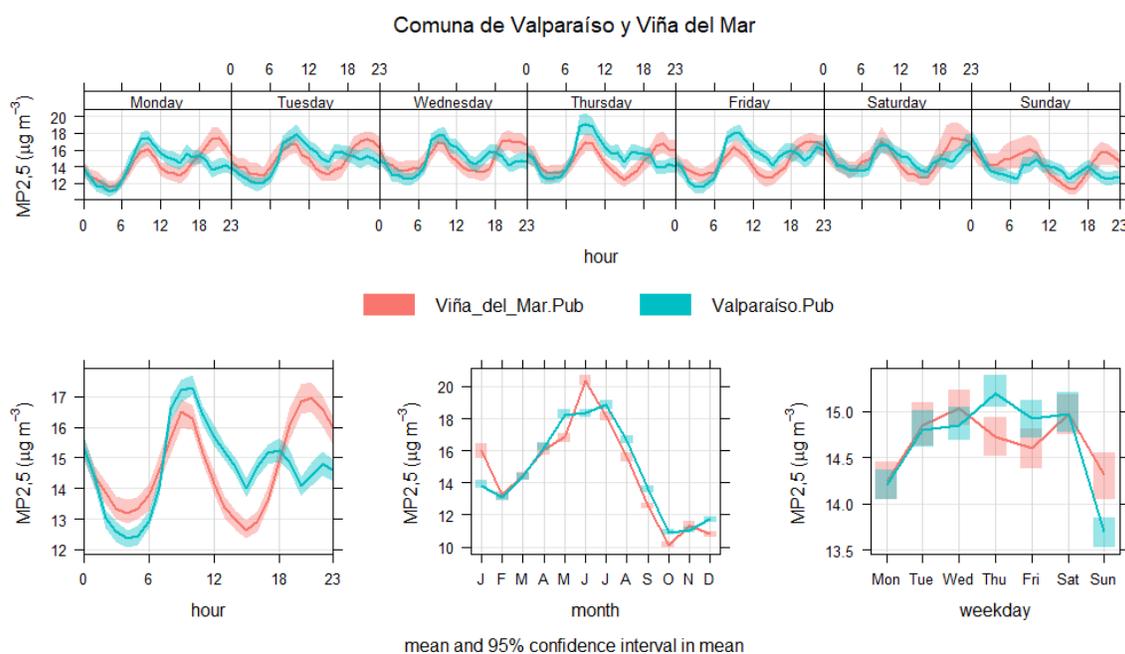


Figura 14: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Viña del Mar, Quilpué y Valparaíso. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

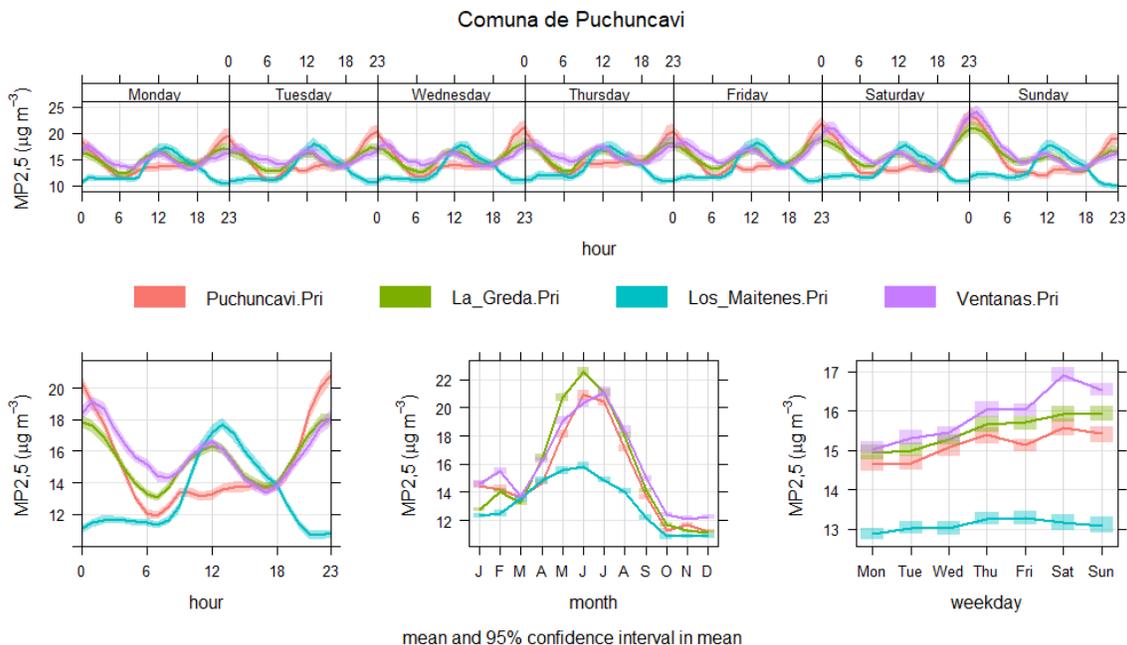


Figura 15: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Puchuncavi, La Greda, Los Maitenes y Ventanas. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

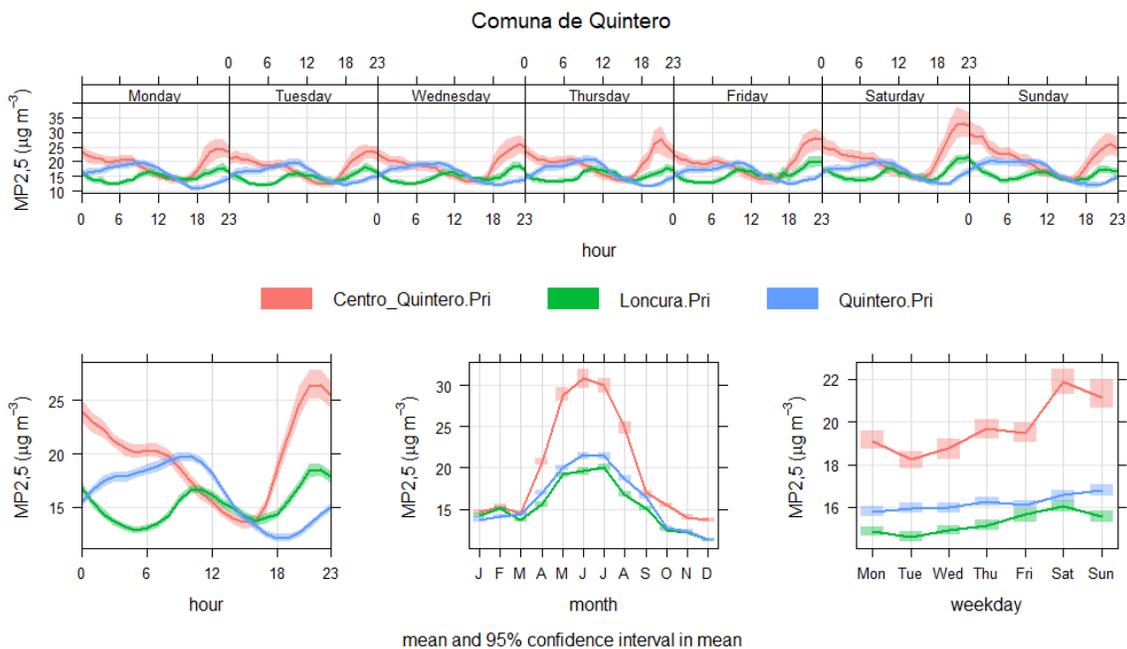


Figura 16: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Quintero Centro, Quintero y Loncura. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

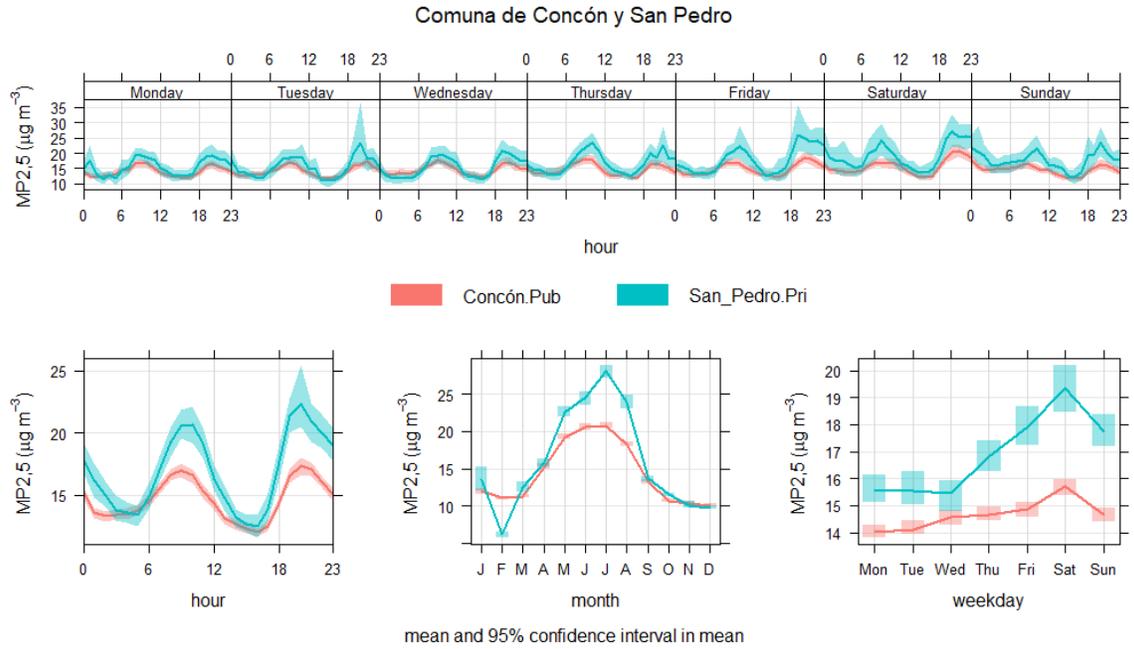


Figura 17: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Concón y San Pedro. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

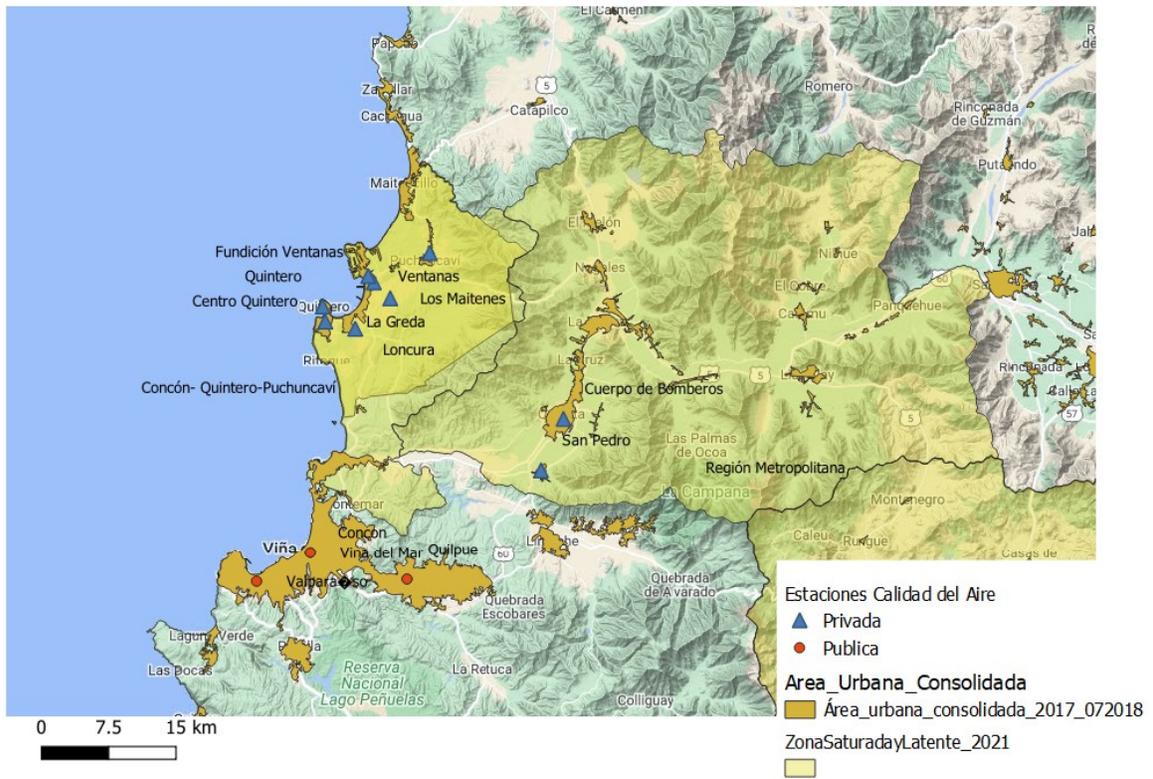


Figura 18: Estaciones de la Región de Valparaíso.

1.2.5 Región Metropolitana

En la Figura 19, Figura 20 y Figura 21 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la Región Metropolitana. Dado que son muchas las estaciones, estas se agruparon por estaciones en la zona sur poniente (Figura 19), estaciones más bien periféricas (Figura 20) y estaciones del sector Norte-centro de a RM (Figura 21). En general todas las estaciones tienen el mismo comportamiento diario y anual, esto es incrementos nocturnos significativos de concentración, algunas veces acoplado por el incremento 7 horas del tráfico vehicular, e incrementos de concentración durante los meses de invierno. Estos incrementos se deben principalmente a un aumento en la frecuencia de condiciones de ventilación desfavorables (bajas velocidades de viento y alta estabilidad atmosférica) que facilita la acumulación de contaminantes y refuerza el impacto de fuentes emisoras locales. La única estación que tiende a mostrar diferente comportamiento diario es la estación Las Condes, que responde a la acumulación de contaminantes durante la tarde en la zona alta de la ciudad.

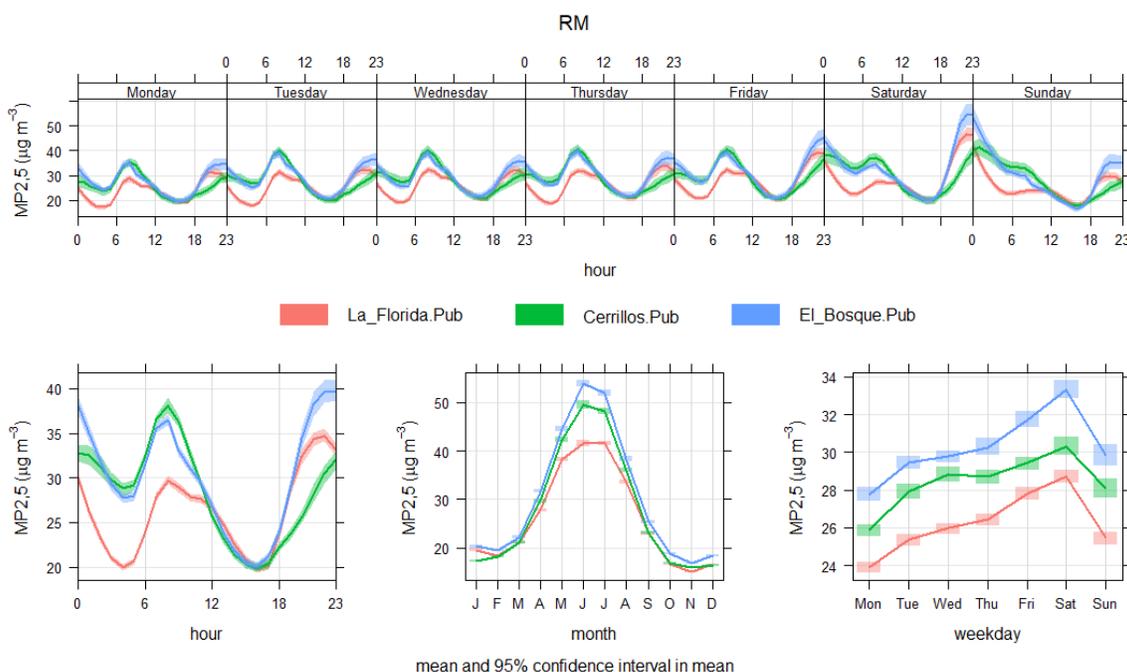


Figura 19: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de La Florida, Cerrillos y El Bosque (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

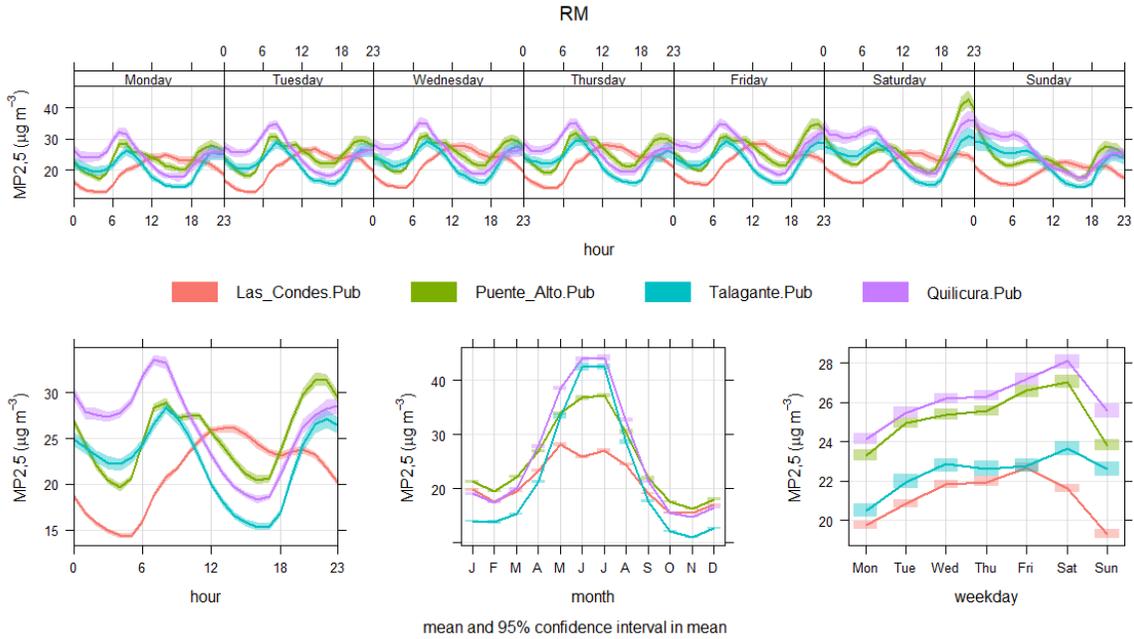


Figura 20: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Las Condes, Puente Alto, Talagante y Quilicura (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

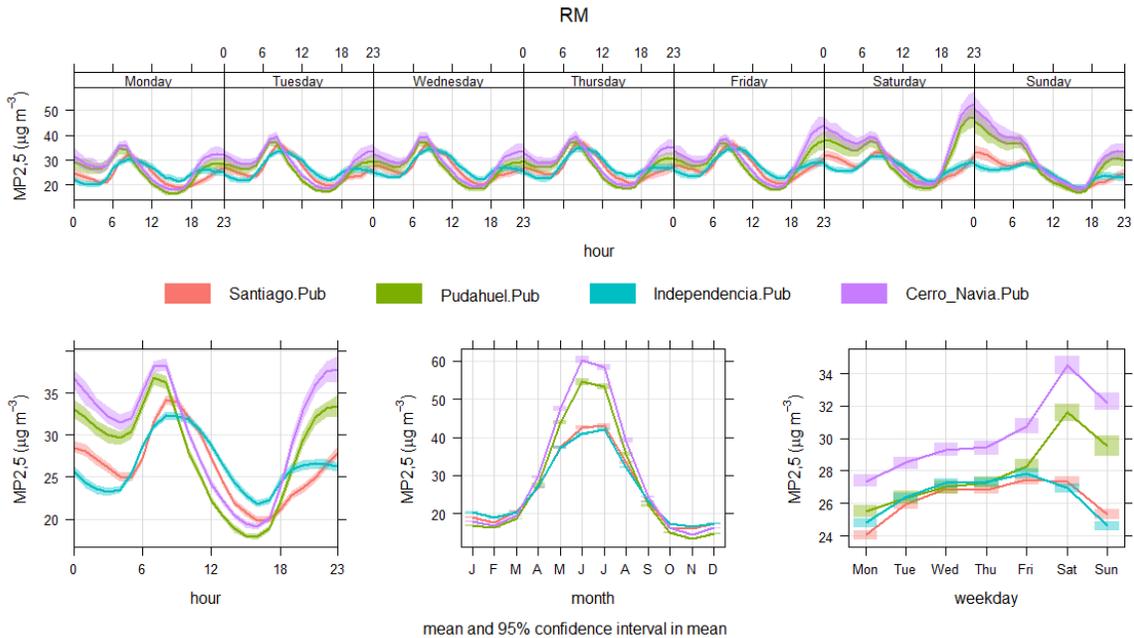


Figura 21: Perfil promedio anual, semanal y horario para estación de Santiago, Pudahuel, Independencia y Cerro Navia (RM). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

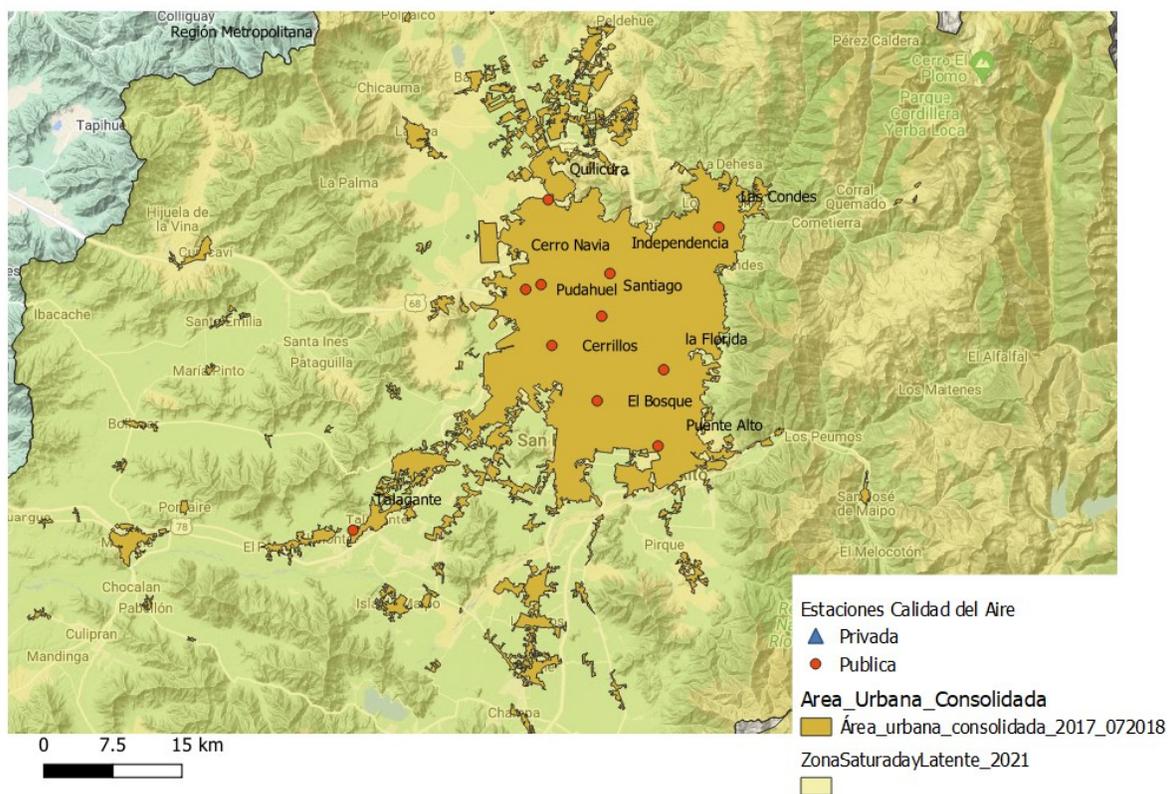


Figura 22: Estaciones de la RM

1.2.6 Libertador Bernardo O'Higgins

En la Figura 23 se entregan los perfiles promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de O'Higgins. En general, en el Valle Central de O'Higgins todas las estaciones tienen el mismo comportamiento, incrementos nocturnos e incrementos a las 7 horas asociados al tráfico vehicular. Las concentraciones de las estaciones de Rancagua I y Rancagua II son mayores en relación a San Fernando y Rengo, ciudades de menor tamaño. El perfil anual de concentración señala incrementos en invierno asociados a las menores condiciones de ventilación y al incremento del impacto de la quema de leña.

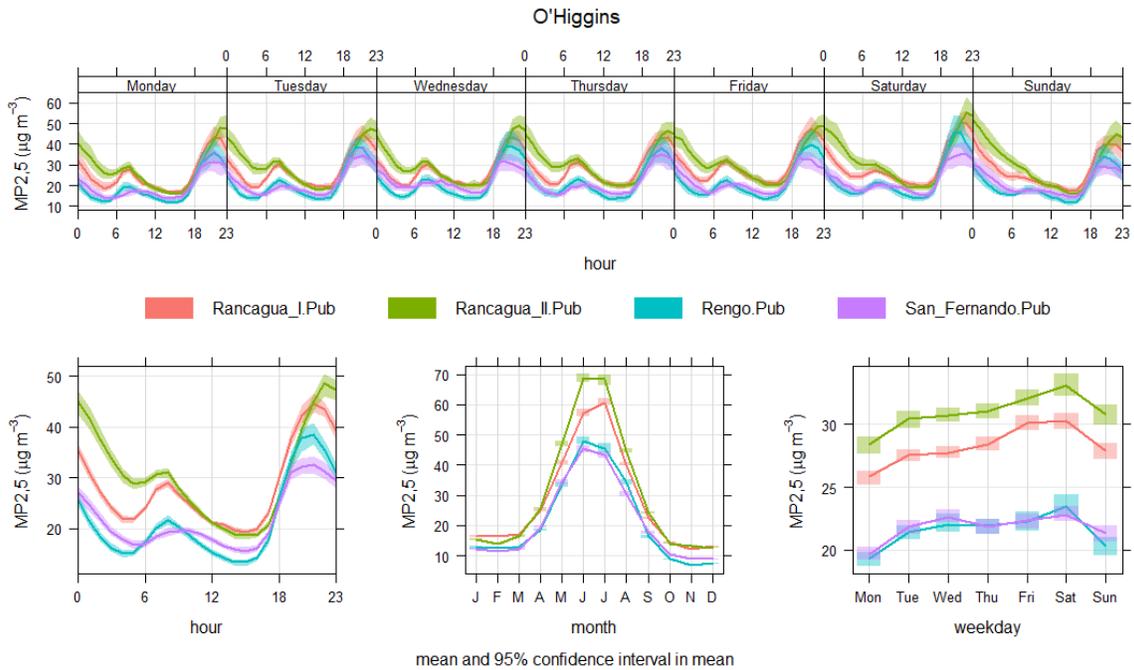


Figura 23: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de O'Higgins. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

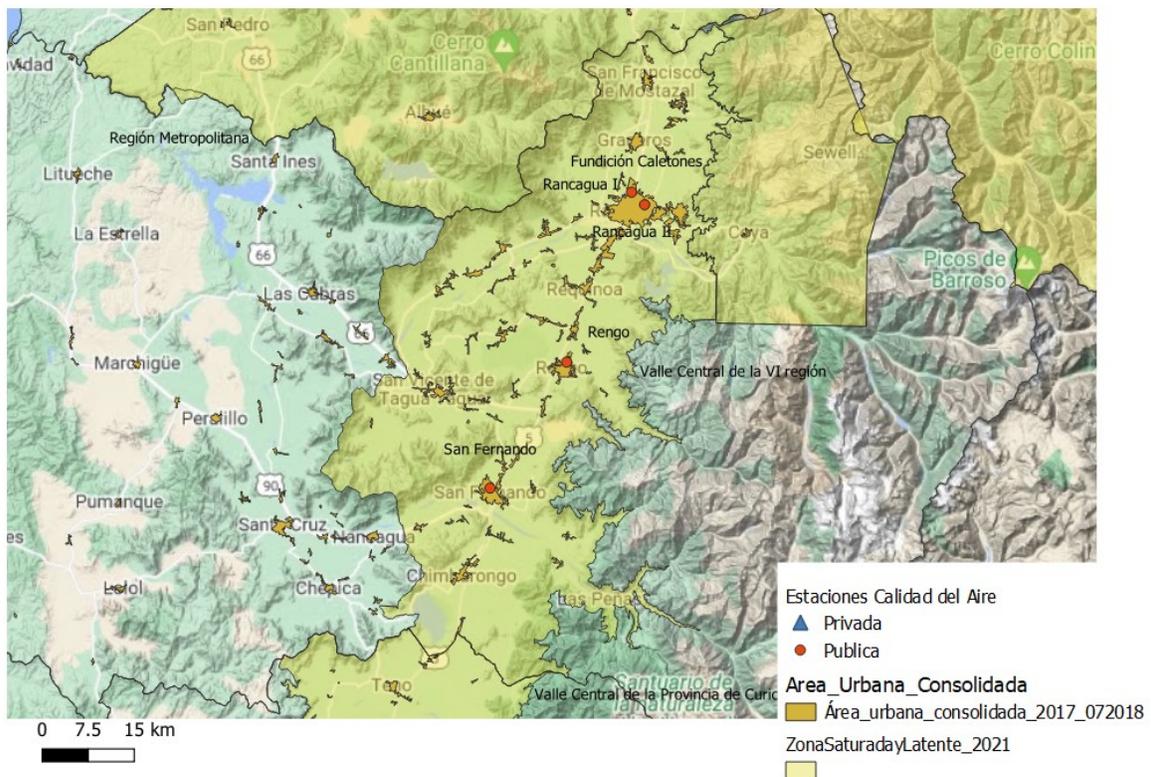


Figura 24: Estaciones de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

1.2.7 Maule

En la Figura 25 se entregan los perfiles promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Maule. Al igual que en el caso de la Región de O'Higgins, en general, todas las estaciones tienen el mismo comportamiento de estaciones del valle central del Maule; esto es incrementos nocturnos e incrementos a las 7 horas asociados al tráfico vehicular. Cabe mencionar que el incremento de las concentraciones durante la noche es significativamente mayor que los observados en la región de O'Higgins, lo que evidencia un mayor impacto del uso de leña para calefacción.

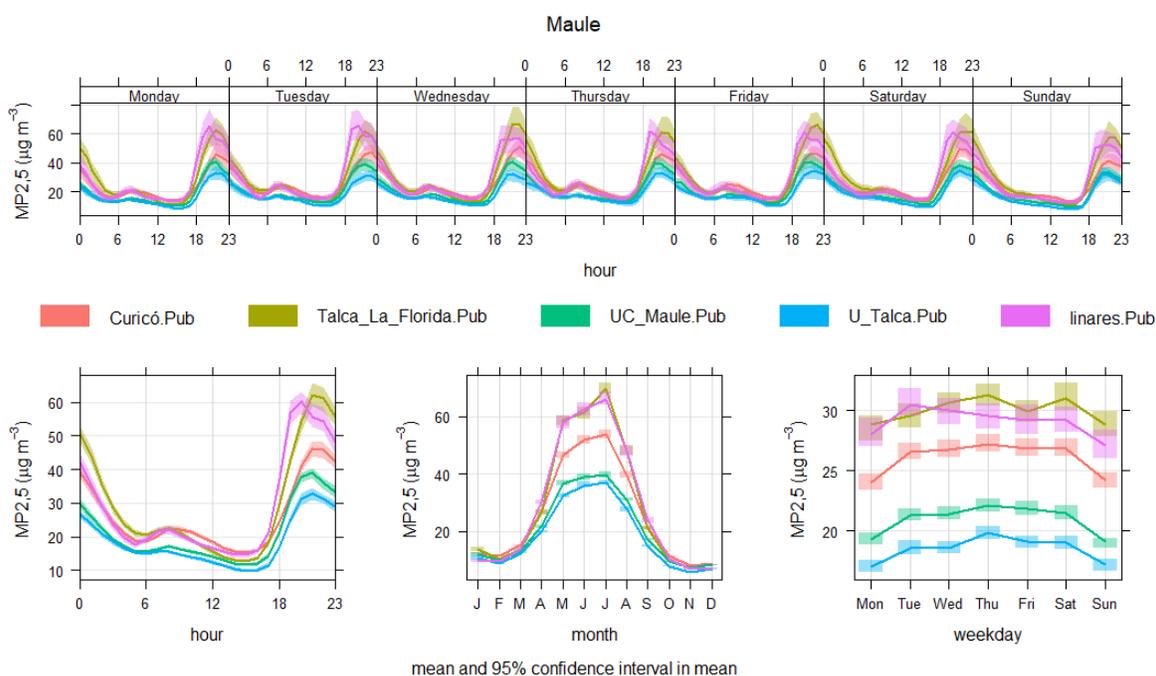


Figura 25: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Maule. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

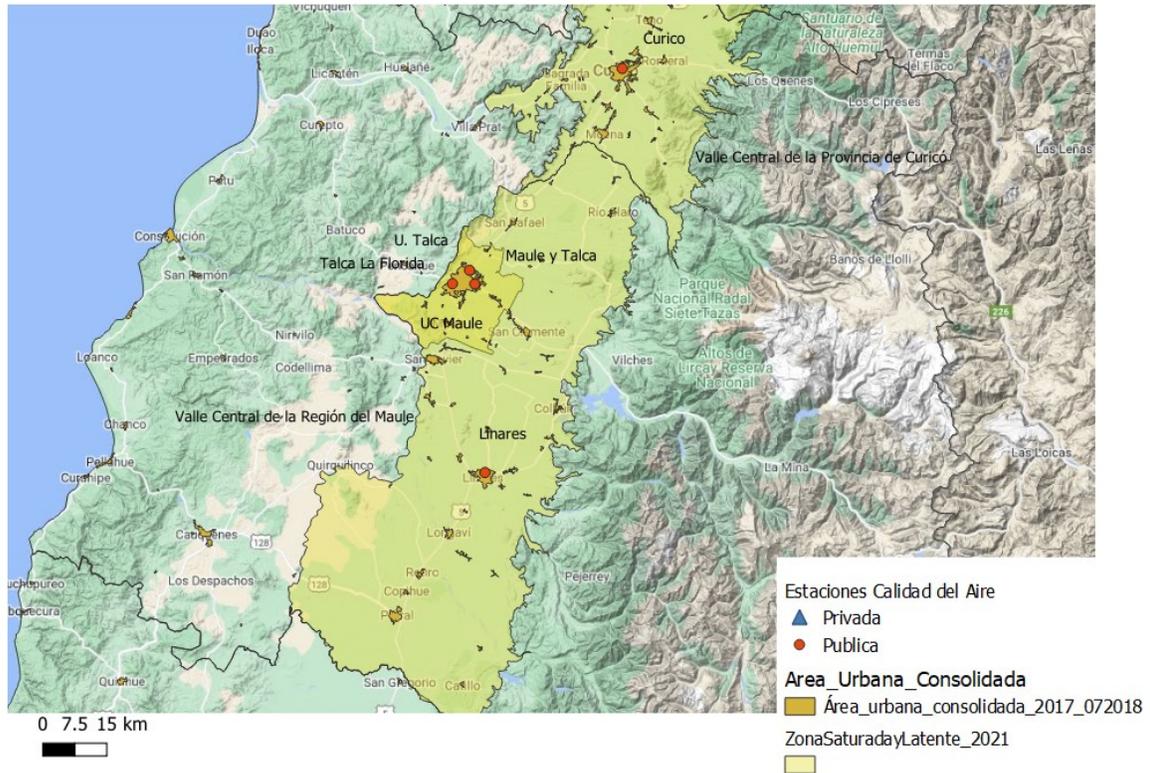


Figura 26: Estaciones de la Región del Maule.

1.2.8 Ñuble

En la Figura 27 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Ñuble. En general, todas las estaciones tienen el mismo comportamiento, incrementos nocturnos e incrementos asociados al tráfico vehicular. El incremento de las concentraciones durante la noche es significativamente más alto en la estación de Purén con relación a INIA. La estación de Purén se encuentra más al centro de la ciudad, y está rodeada de un área residencial que hace recibir impactos de emisiones locales, preferentemente de quema de leña. Por otro lado, la estación INIA que está emplazada a un área más periférica, más alejada de emisiones locales directas.

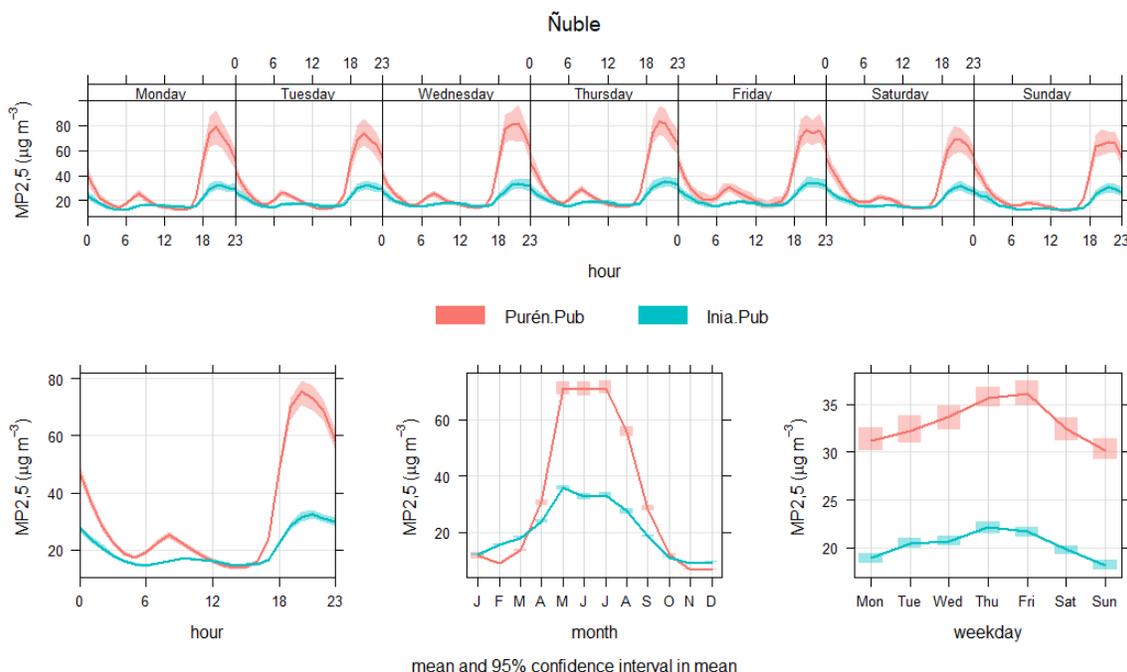


Figura 27: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Ñuble. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

1.2.9 Biobío

Cabe mencionar que en la región existen dos zonas con Plan, la zona del Concepción Metropolitano y la zona de Los Ángeles (Figura 28). Es por esto que en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31 se entregan los perfiles promedios de las estaciones del Concepción Metropolitano, separados por similitud en sus ciclos. En la Figura 32 se entregan los perfiles promedios de las estaciones que no están dentro de una zona con plan (Curanilahue), y finalmente en la Figura 33 las estaciones asociadas al Plan de Los Ángeles.

La mayor parte de las estaciones presentan un comportamiento similar al de las estaciones del Valle Central, esto es, incrementos durante la noche y durante la mañana, con excepción de la estación Nueva Libertad, que presenta altas concentraciones durante horas de la tarde.

La estación de Curanilahue está ubicada fuera de las zonas saturadas del Concepción Metropolitano y de Los Ángeles, sin embargo, muestran concentraciones altas en invierno, asociadas al impacto de la quema de leña preferentemente. Se espera que pronto esta área sea declarada como zona saturada.

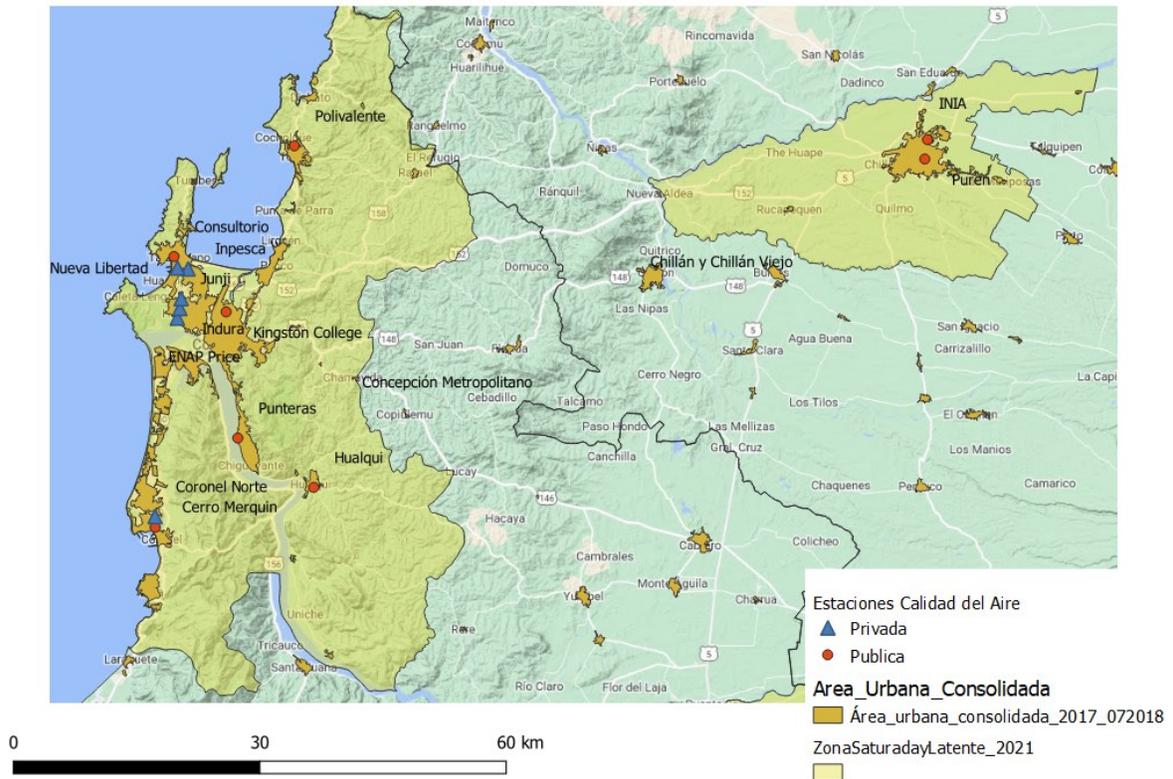


Figura 28: Mapa con ubicación de estaciones del Concepción Metropolitana y de Los Ángeles

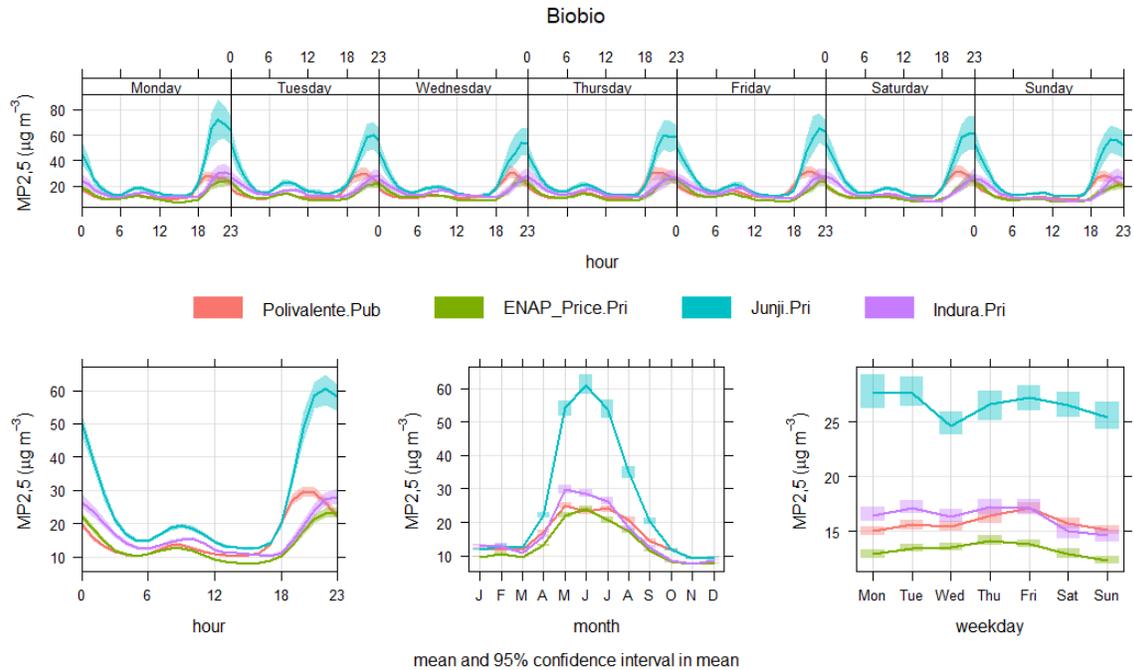


Figura 31: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Polivalente, ENAP, Junji, Indura). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

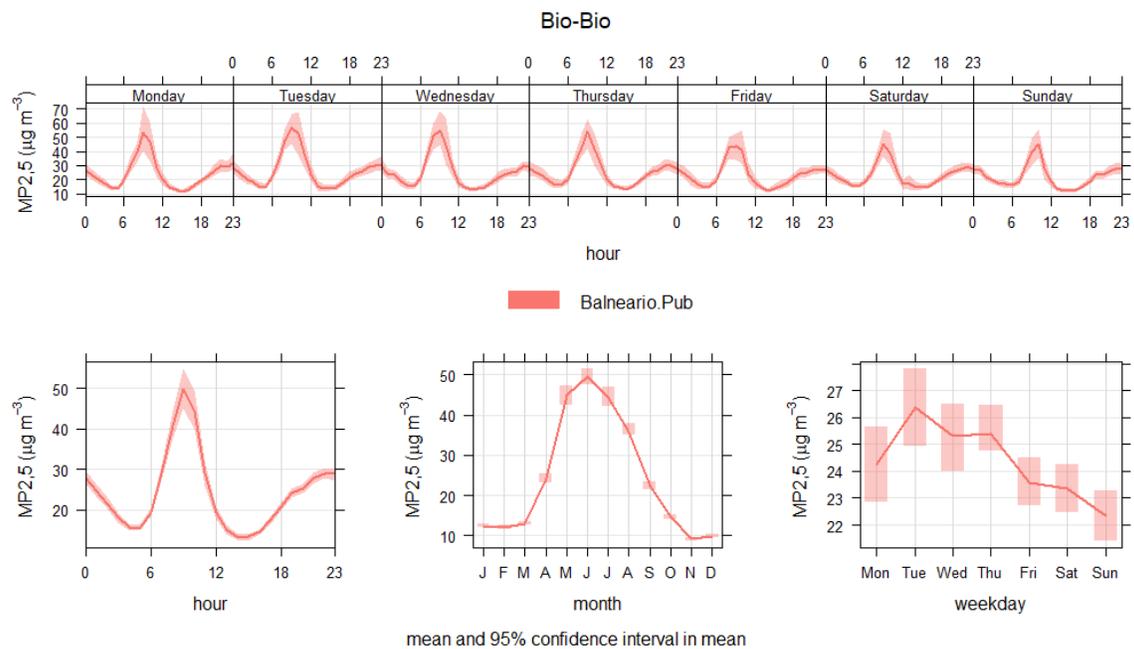


Figura 32: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (Balneario Curanilahue). Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

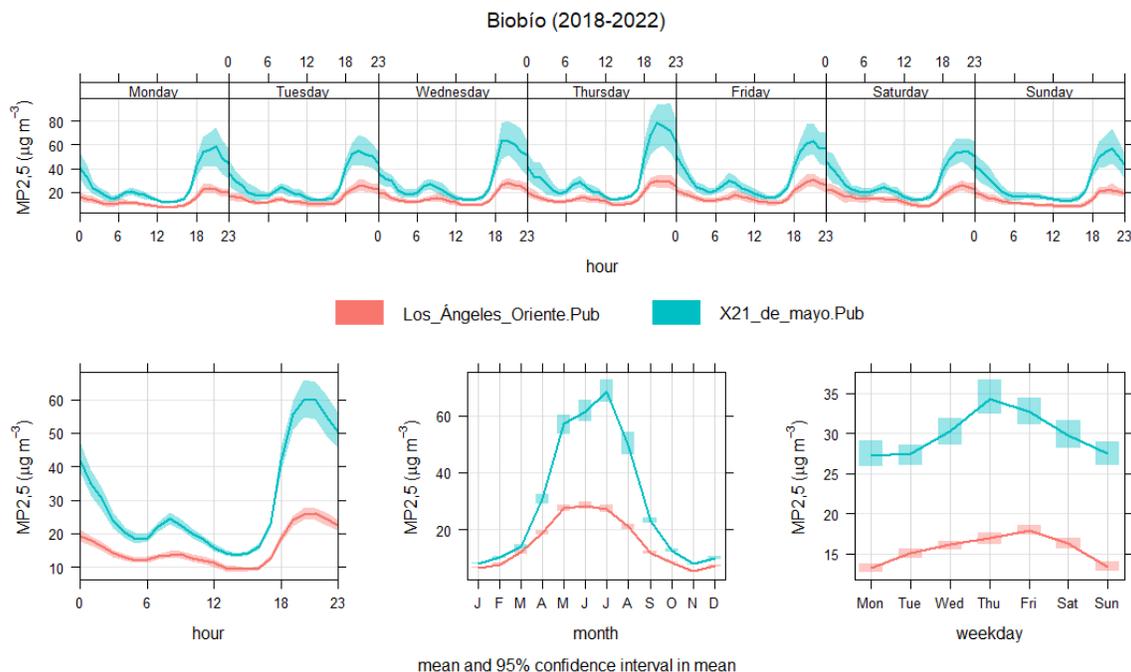


Figura 33: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región del Biobío (21 de Mayo y Los Ángeles Oriente)². Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

1.2.10 La Araucanía

En la Figura 34 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la Región de la Araucanía. Por lo general todas las estaciones tienen el mismo comportamiento de estaciones del valle central, considerando incrementos nocturnos, incrementos asociados al tráfico vehicular en torno a las 7 horas, e incrementos durante los meses de invierno asociados principalmente a condiciones meteorológicas de ventilación desfavorables y quema de leña para calefacción. La Estación Ñielol suele presentar menores concentraciones que Las Encinas, Padre Las Casas.

² Para la estación Los Ángeles Oriente se descartaron datos del previos al año 2018, debido a un comportamiento anómalo como se muestra en el Análisis estación Los Ángeles Oriente.

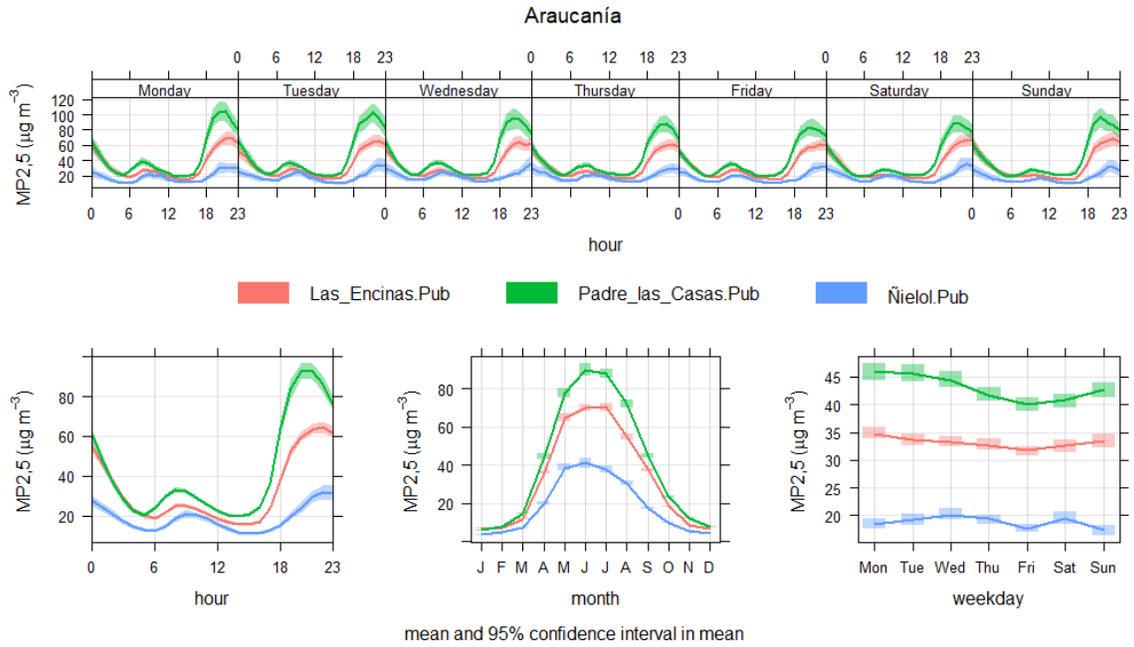


Figura 34: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de La Araucanía. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

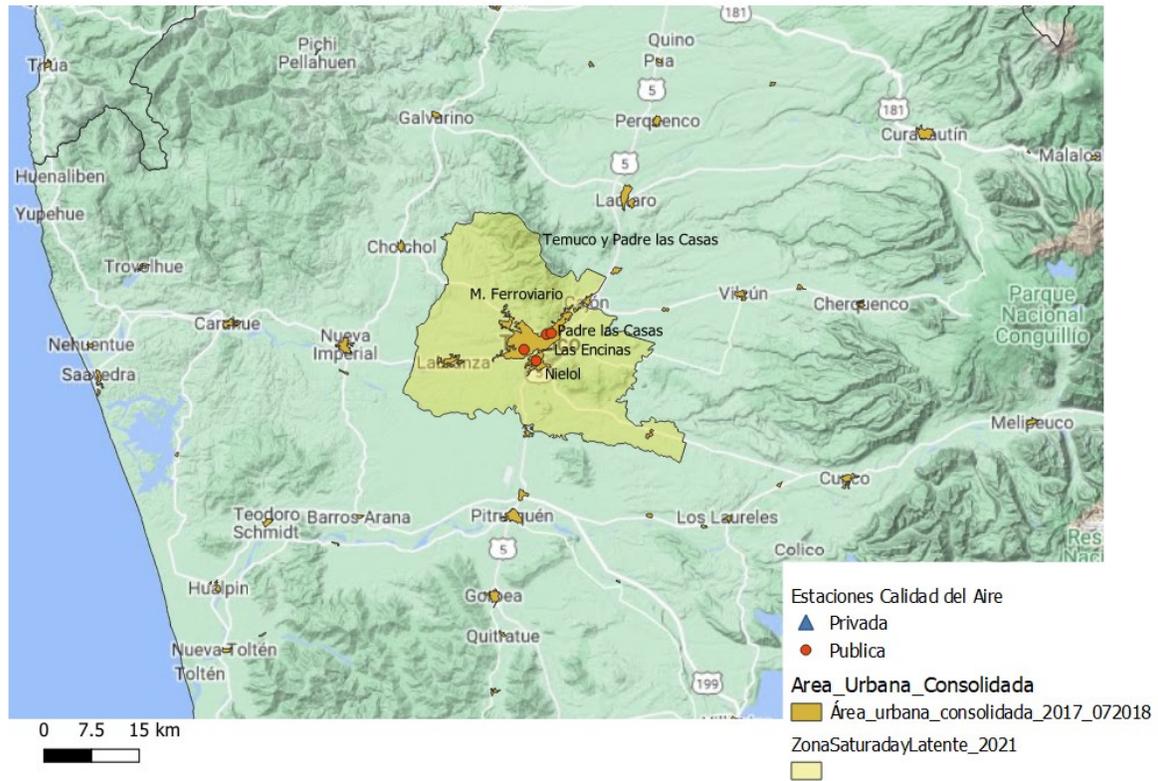


Figura 35: Estaciones de la Región de la Araucanía.

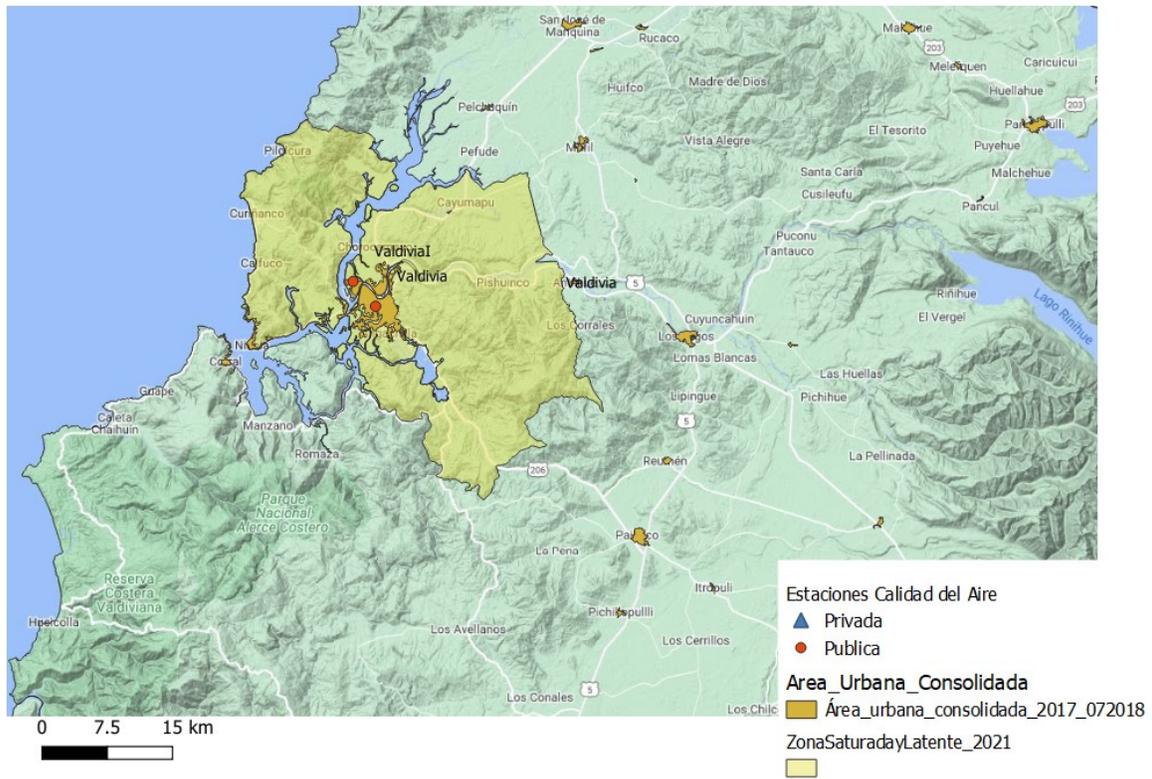


Figura 37: Estaciones de la Región de los Ríos

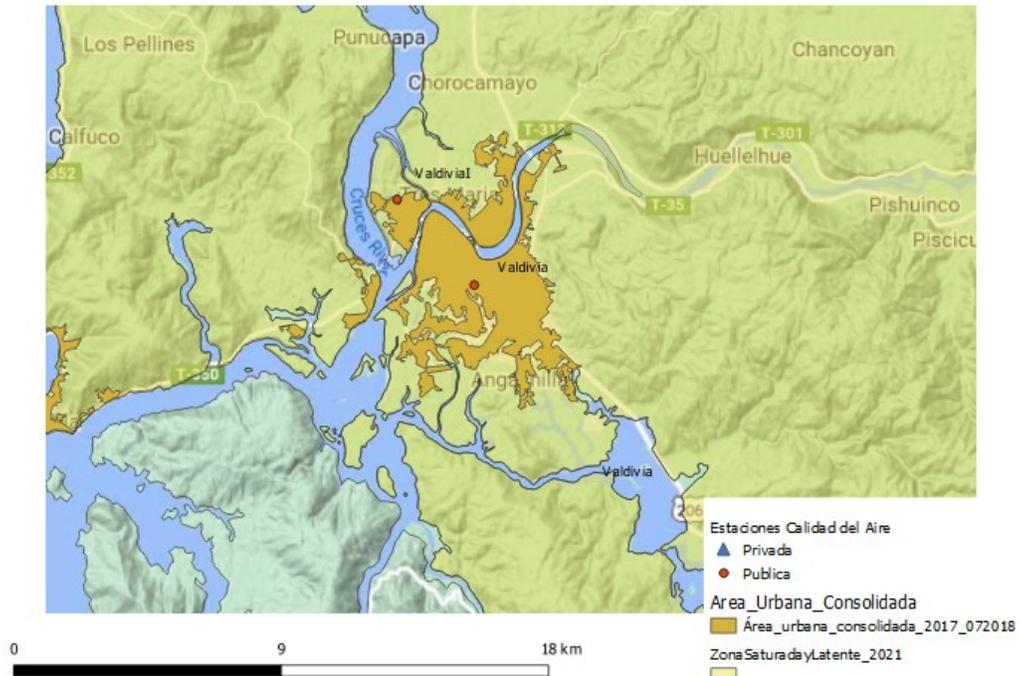


Figura 38: Mapa con ubicación de las estaciones de Valdivia I y Valdivia (Región de Los Ríos).

1.2.12 Los Lagos

En la Figura 39 se entregan los perfiles promedios anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Los Lagos. En general registran incrementos nocturnos e incrementos asociados al tráfico vehicular e incrementos durante los meses de invierno asociados principalmente a condiciones meteorológicas de ventilación desfavorables y quema de leña para calefacción.

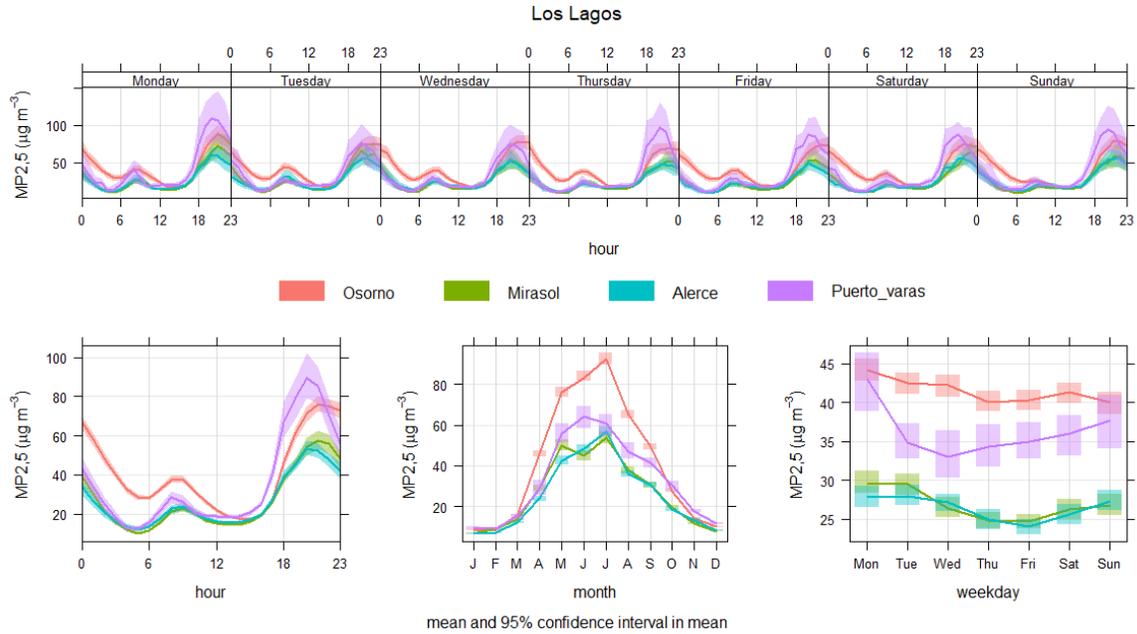


Figura 39: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Los Lagos. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

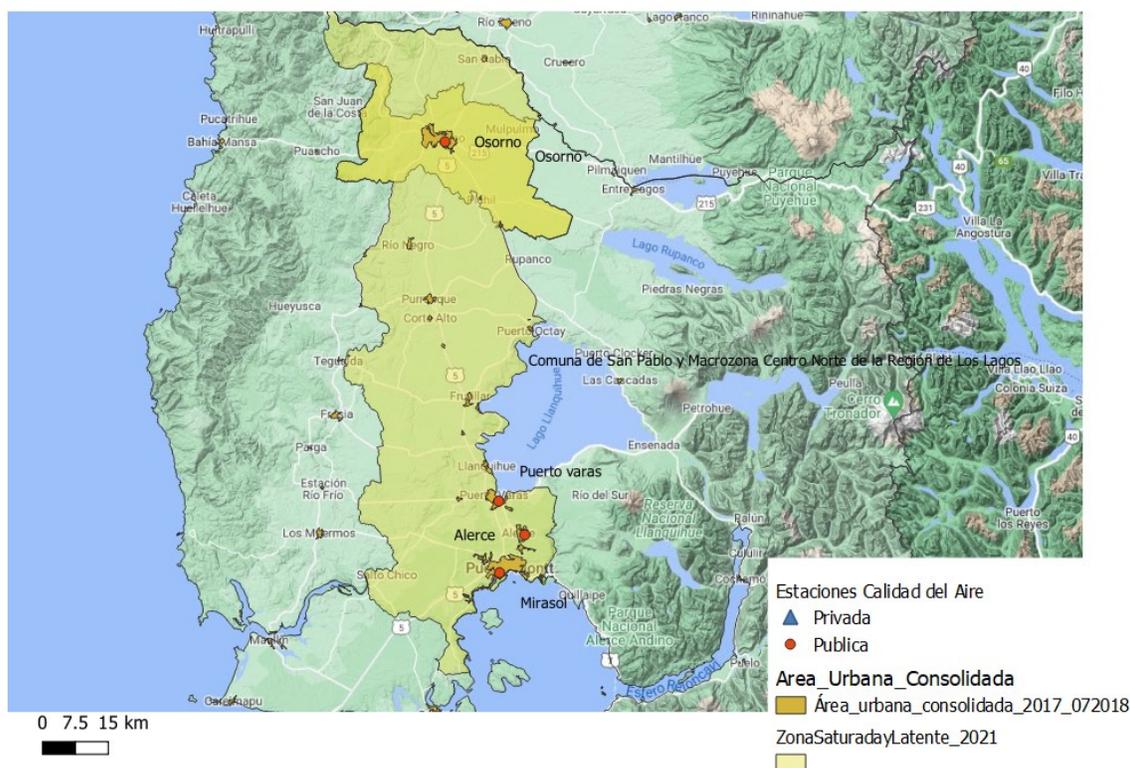


Figura 40: Estaciones de la región de Los Lagos

1.2.13 Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo

En la Figura 41 se entregan los perfiles promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Aysén. Todas las estaciones tienen comportamiento similar a las estaciones del valle central, con dos máximos característicos: uno nocturno y otro diurno (~7 horas, tráfico vehicular). Coyhaique I y II tienen concentraciones más bien equivalentes, casi iguales en niveles, y significativamente más altas que las de la estación Vialidad.

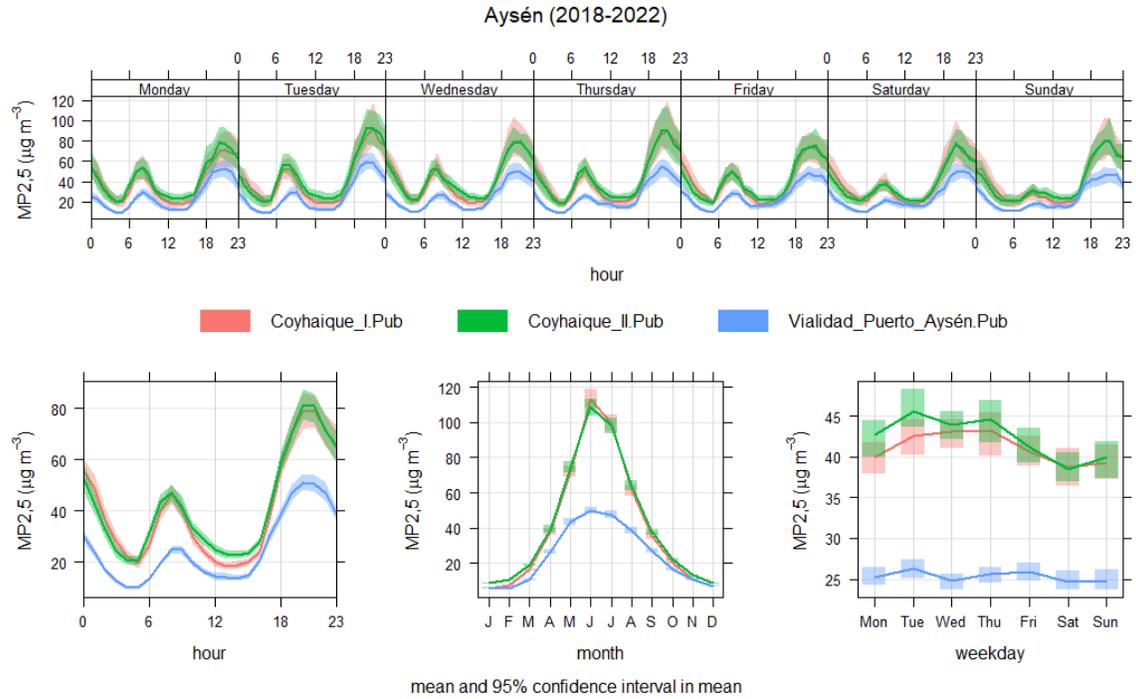


Figura 41: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de la Región de Aysén. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

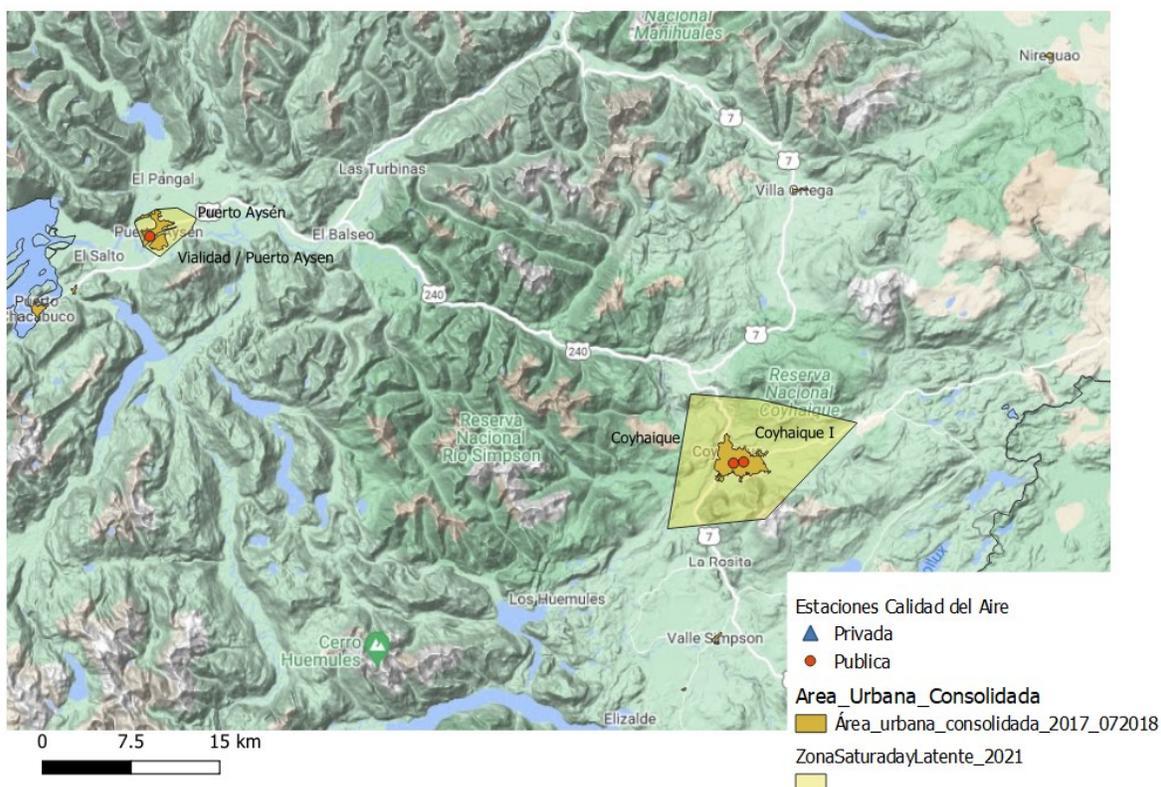


Figura 42: Estaciones de la región de Aysén.

1.2.14 Región de Magallanes

La estación de Punta Arenas presenta concentraciones tan bajas que no se distingue algún ciclo en la escala de las concentraciones de Coyhaique, sus niveles se encuentran dentro del orden de magnitud que presentan las concentraciones de estación Cuncumén. A modo de comparación entre una estación con impacto de emisiones residenciales de calefacción y otra con casi nula presencia de emisiones, se entrega en la Figura 43 el perfil temporal de Cuncumén y Punta Arenas. Como es de esperar, los perfiles diarios y anuales son significativamente diferentes: Cuncumén no presenta incrementos significativos en invierno, sin embargo, Punta Arenas sí lo hace, evidenciando el impacto de las emisiones de calefacción.

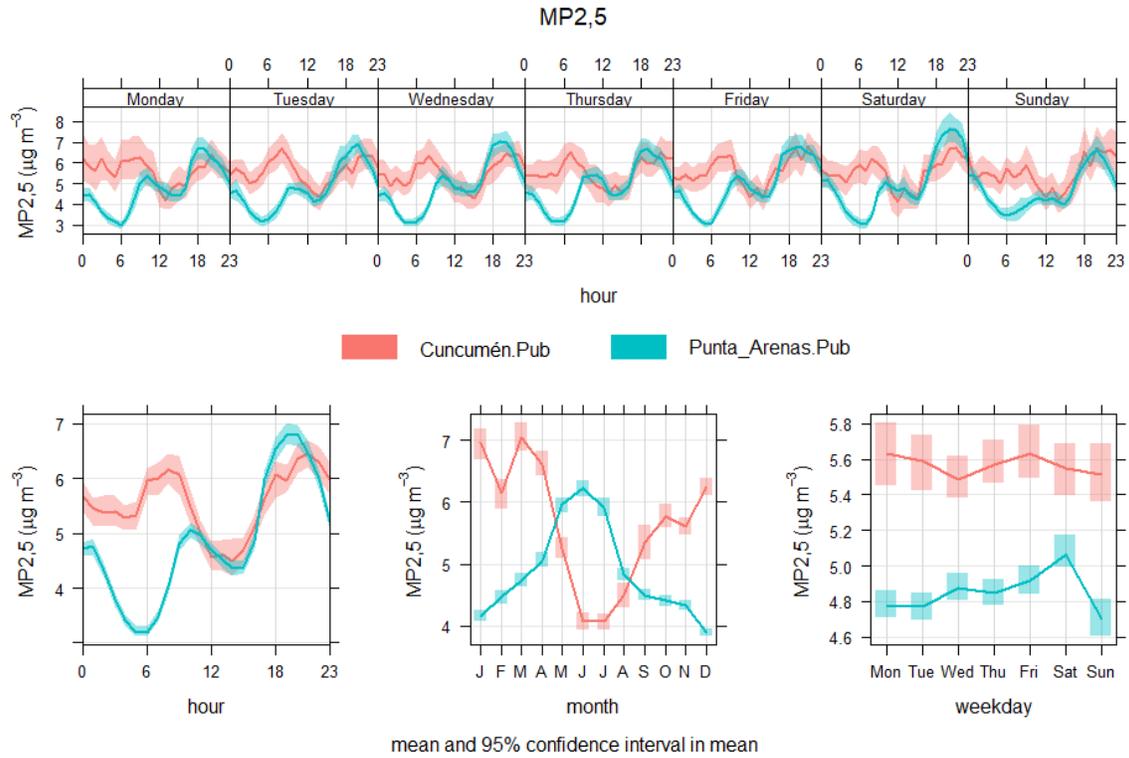


Figura 43: Perfil promedio anual, semanal y horario para estaciones de Cuncumén y Punta Arenas. Línea representa el promedio y área sombreada el intervalo de confianza del promedio a una significancia estadística del 95%.

1.3 Ajuste de concentraciones de monitoreo continuo de MP_{2,5} en la RM.

De acuerdo con información del estudio “CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO FINO Y GRUESO EN LA REGIÓN METROPOLITANA” (Licitación ID: 608897-186-LQ15), se encuentran los siguientes antecedentes, respecto del monitoreo MP_{2,5}.

- En período 2000-2008 se monitoreo en 4 estaciones de la Red R.M.: **EML- EMM-EMN-EMO**, con equipos TEOM sin protocolo EPA.
- En periodo 2009-2013, se monitorea en todas las estaciones de la Red R.M. con equipos TEOM sin protocolo EPA. **EMF - EML - EMM - EMN-EMO- EMP- EMQ- EMR- EMS- EMT- EMV**
- En periodo 2012-2014, se realizaron pruebas en algunas estaciones en paralelo con equipos Beta Met One 1020 (MP₁₀) con incorporación de ciclón MP_{2,5} y con Teom -FDMS (Teom más Filter Dynamic Measurement System).
- Desde octubre de 2013 se comenzó el reemplazo de todo el equipamiento por equipos Beta Met One 1020 con protocolo EPA para MP_{2,5} actualmente en funcionamiento.

Respecto del monitoreo MP₁₀ encuentran los siguientes antecedentes.

Tabla 4: Fecha MP₁₀ Oficial c/principio de medición atenuación Beta

Estación	Fecha MP ₁₀ Oficial c/principio de medición atenuación Beta
EMF	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EML	21-marzo 2019 Beta BAM 5014
EMM	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMN	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMO	04-febrero- 2019 Beta BAM 1020
EMPII	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMQ	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMR	14-marzo-2019 Beta BAM 1020
EMS	21-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMT	24-marzo 2019 Beta BAM 1020
EMVII	22 abril 2016 Beta BAM 1020

Dado que estos cambios tecnológicos implicaron variaciones en las concentraciones de MP_{2,5}, estos efectos tienen que ser considerados en estudios de Tendencias. Por lo anterior los datos históricos TEOM fueron corregidos siguiendo la “Metodología 1” detallada en el informe final del estudio “CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO FINO Y GRUESO EN LA REGIÓN METROPOLITANA” del año 2017. Las series de tiempo de MP_{2,5} corregidas fueron complementadas con las nuevas series de los equipos actuales certificados (BAM). Las series corregidas se entregan a continuación.

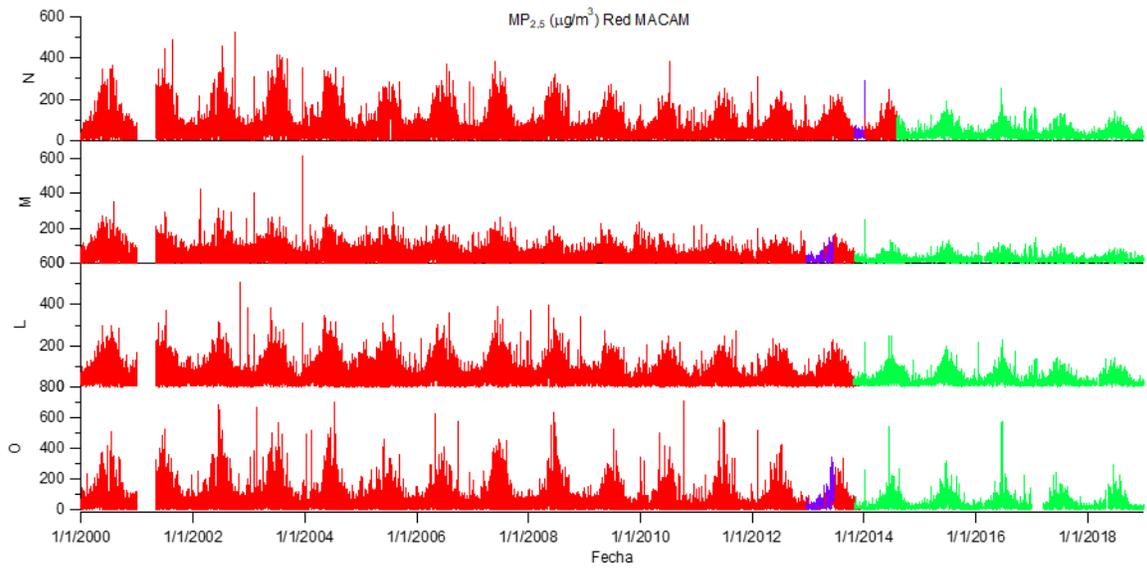


Figura 44: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2.5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM.

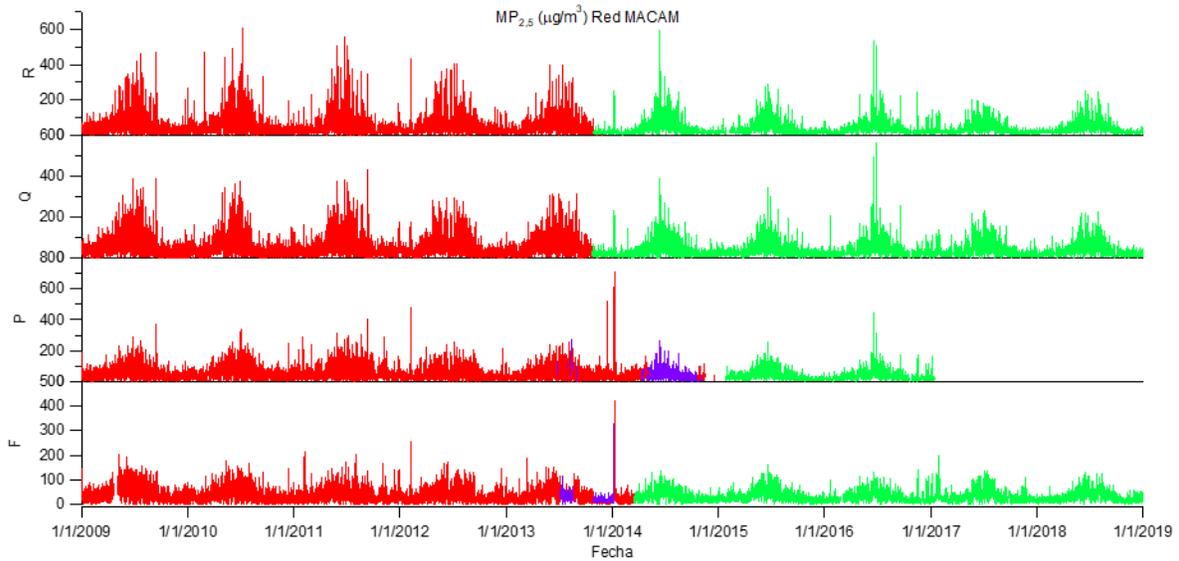


Figura 45: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2.5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM.

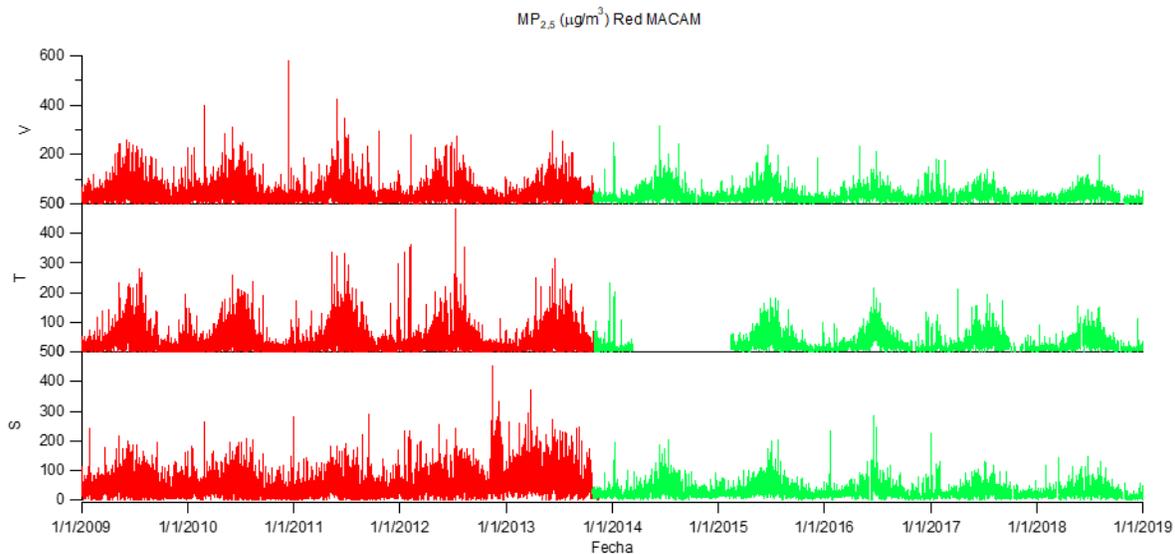


Figura 46: Serie de tiempo horaria de concentración $MP_{2.5}$. Rojo indica tecnología TEOM corregidos. Morado indica tecnología TEOM +FDMS. Verde indica tecnología BAM

Una comparación ilustrativa del cálculo de norma anual y diaria de $MP_{2.5}$ en base a series de concentración sin corregir y corregidas, se entrega en las figuras siguientes.

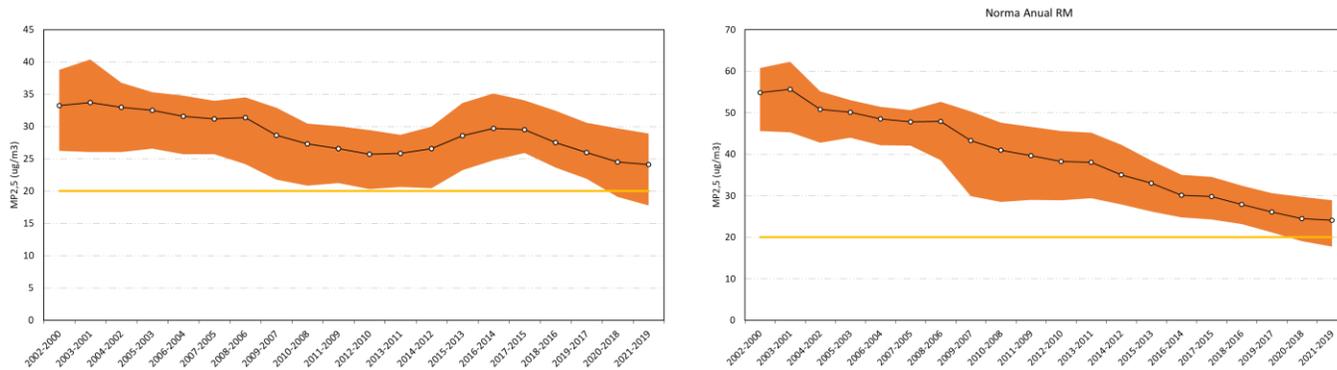


Figura 47: Cálculo de norma diaria $MP_{2.5}$ con datos sin justar (izquierda) y ajustados (deracha).

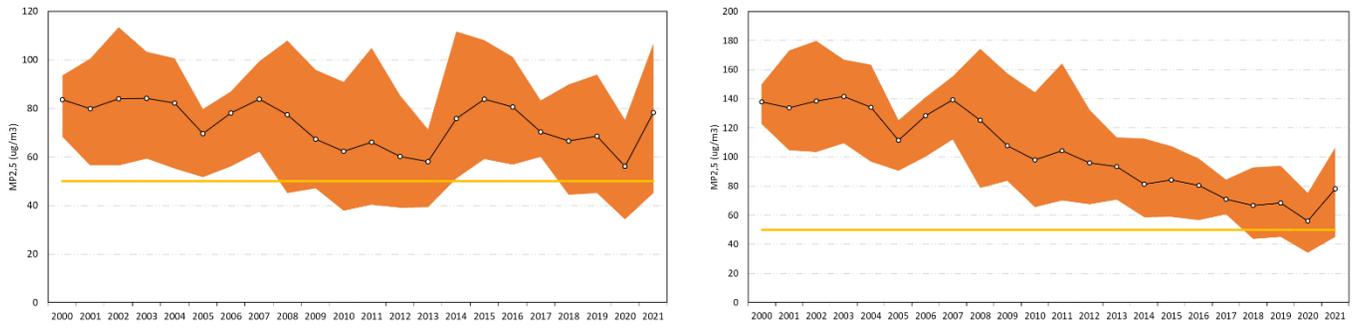


Figura 48: Cálculo de norma anual MP_{2,5} con datos sin justar (izquierda) y ajustados (derecha).

1.4 Descripción de metodología de análisis de Tendencias en base al uso de Factores de Impacto por Concentración (FIC)

A partir de los antecedentes de completitud de las estaciones de monitoreo se construyó una base de datos de concentración de $MP_{2,5}$ y parámetros meteorológicos, a la que se le aplicó un análisis estadístico de regresión lineal multivariada. Este análisis se usa para describir la relación entre una variable de respuesta “Y” con una o más variables predictoras $X_1, X_2... X_n$. Cuando $n > 1$ entonces se habla de regresión multivariada. El modelo multivariado utilizado permite explicar la variabilidad de la concentración del material particulado en función del efecto de diferentes variables categóricas predictoras.

Para este estudio se aplicaron regresiones multivariadas usando los datos continuos de $MP_{2,5}$ en función de las variables meteorológicas (humedad, temperatura y magnitud de velocidad del viento), para cada una de las estaciones de monitoreo que tenían información. Se incluyó en el análisis multivariado las variables discretas: Día de la semana (Lunes-Domingo), mes del año (Enero – Diciembre) y año de medición (2014 – 2018) con el fin de observar tendencias en la concentración. Esta es la metodología histórica implementada.

La finalidad de aplicar este modelo de regresión es poder encontrar el impacto relativo de las variables predictoras (X_n) en la concentración de MP_{10} o $MP_{2,5}$, utilizando el índice **Factor de Impacto por Concentración (FIC)**, el cual se detalla más adelante.

Cabe mencionar que los valores FICs son índices relativos, no absolutos. Es decir, los valores de FIC que entrega el modelo son valores relativos a niveles de referencia definidos a priori durante el análisis de regresión. Por lo tanto, los FIC se interpretan como aumentos o disminuciones de la concentración atribuido a la variación de una variable explicativa, respecto del nivel de referencia definido.

Las regiones y estaciones incluidas en el análisis de tendencias se entregan en la Tabla 5. Las estaciones de Arica, Antofagasta, Cerro Merquín, y Punta Arenas no tenían información meteorológica, por lo que no fue posible aplicar los modelos. Los períodos de información utilizados en las regresiones estuvieron dados por el nivel de completitud de información que tenían los datos. Solo se consideraron validos los registros con al menos 75% de completitud.

Tabla 5. Detalles de la categorización y variables de referencia del modelo FIC.

Región	Estación_CA	Estacion Met	Período
Arica y Parinacota	Arica	Sin información	-
Tarapacá	Alto Hospicio	Alto_Hospicio	2016-2021
Antofagasta	Antofagasta	Sin información	-
Atacama	Copiapó	Copiapo_SIV	2013-2021
Atacama	Huasco	Huasco_SIV	2014-2021
Coquimbo	La Serena	La_Serena_SIV	2013-2021

Región	Estación_CA	Estacion Met	Período
Coquimbo	Coquimbo	Coquimbo_SIVICA	2013-2021
Coquimbo	Cuncumén	Cuncumen_SIVICA	2020-2021
Valparaíso	Viña del Mar	Vina_del_mar	2010-2021
Valparaíso	Valparaíso	Vina_del_mar	2013-2021
Valparaíso	Concón	Concon_MMA	2018-2021
O'Higgins	Rancagua I	Rancagua_1_SIVICA	2010-2021
O'Higgins	Rancagua II	Rancagua_2_SIVICA	2012-2021
O'Higgins	Rengo	Rengo_SIVICA	2017-2021
O'Higgins	San Fernando	San_Fernando_SIVICA	2016-2021
Maule	Curicó	Curico_SIVICA	2013-2021
Maule	U. Talca	U_Talca_SIVICA	2013-2021
Maule	UC Maule	UC_del_Maule_SIVICA	2013-2021
Maule	Talca La Florida	Talca_La_Florida_SIVICA	2013-2021
Maule	Linares	Linares_SIVICA	2016-2021
Ñuble	INIA	Inia Chillan	2013-2021
Ñuble	Purén	Puren	2012-2021
Bio-Bio	Consultorio	San Vicente Consultorio	2016-2021
Bio-Bio	Kingston College	Kingston College	2016-2021
Bio-Bio	Punteras	Punteras	2016-2021
Bio-Bio	Cerro Merquín	Sin información	-
Bio-Bio	Polivalente	Liceo Polivalente	2016-2021
Bio-Bio	Hualqui	Hualqui	2017-2021
Bio-Bio	Balneario	Balneario Curanilahue	2016-2021
Bio-Bio	Los Ángeles Oriente	Los Angeles Oriente	2013-2021
Bio-Bio	21 de Mayo	21 de Mayo	2012-2021
Araucanía	Ñielol	Nielol	2018-2021
Araucanía	Las Encinas	Las_Encinas_SIVICA	2010-2021
Araucanía	Padre las Casas	Padre_Las_Casas_II_SIVICA	2012-2021
Los Ríos	Valdivia	Valdivia_SIVICA	2010-2021
Los Ríos	Valdivial	Valdivia_2_SIVICA	2018-2021
Los Ríos	La Unión	La_Union	2018-2021
Los Lagos	Osorno	Osorno_SIVICA	2010-2021
Los Lagos	Alerce	Alerce	2017-2021
Los Lagos	Mirasol	MIRASOL_sivica	2016-2021
Aysén	Coyhaique I	Coyhaique_1_SIVICA	2013-2021
Aysén	Coyhaique II	Coyhaique_2_SIVICA	2013-2021
Aysén	Vialidad / Puerto Aysén	Puerto_Aysen	2018-2021
Magallanes	Punta Arenas	Sin información	-
RM	Independencia	Independencia	2013-2021

Región	Estación_CA	Estacion Met	Período
RM	La Florida	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Las Condes	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Parque O'Higgins	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Pudahuel	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Cerrillos	Parque O'Higgins	2013-2020
RM	El Bosque	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Cerro Navia	Cerro Navia	2013-2021
RM	Puente Alto	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Talagante	Parque O'Higgins	2013-2021
RM	Quilicura	Cerro Navia	2013-2016

Conforme con la metodología histórica, se ha utilizado como supuesto que la concentración de $MP_{2,5}$ se asemeja a una distribución log-normal, por lo que se ha decidido utilizar el logaritmo natural de la concentración del contaminante en lugar de la concentración directamente.

Así, el logaritmo de la concentración de $MP_{2,5}$ se modeló como una regresión lineal de las variables categóricas **Año, Mes, Día de la semana y Variables meteorológicas como Humedad Relativa, Temperatura y Magnitud de la Velocidad del Viento**. El modelo estadístico se expresa en base a la siguiente ecuación:

$$\ln(MP) = \alpha + \Sigma\beta_{Aj} * Aj + \Sigma\beta_{Mj} * Mj + \Sigma\beta_{DSj} * DSj + \Sigma\beta_{Tj} * Tj + \Sigma\beta_{HRj} * HRj + \Sigma\beta_{VVj} * VVj \quad (ec. 1)$$

Donde α es el intercepto, que indica la concentración del nivel de referencia, β es el coeficiente de regresión para el parámetro indicado, Aj indica el año, Mj indica el mes, DSj indica el día de semana, Tj indica la Temperatura ambiente, HRj indica la Humedad Relativa del ambiente y VVj indica la velocidad del viento.

Aplicando el operador Exponencial a la ec. 1 y utilizando las propiedades de éste, la expresión se puede simplificar en términos del factor de impacto como lo indica la ecuación 4:

$$(MP) = I * f_{Aj} * f_{DSj} * f_{Mj} * f_{Tj} * f_{HRj} * f_{VVj} \quad (ec. 4)$$

Donde se define a $f_{ij} = \exp[\Sigma\beta_{ij} * ij]$ como **Factor de Impacto por Concentración (FIC)** de la variable i de una categoría j .

Se definieron las siguientes variables categóricas de referencia: Año 2021 (o el último año disponible), día lunes, Mes de Enero. Las variables meteorológicas continuas fueron

dicotomizadas (Humedad y Temperatura) o tricotomizadas (velocidad del viento), definiendo los siguientes rangos como niveles de referencia: Magnitud del viento ≥ 1.6 [m/s], Humedad Relativa $\geq 70\%$ y Temperatura ≤ 20 [°C]. Las designaciones anteriores se realizaron siguiendo la metodología de (Koutrakis et al., 2005).

1.4.1 Completitud de información RM

Tabla 6: Completitud de información para la RM

Parámetro	Estación	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
VelVien	Independencia	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	57%
VelVien	La Florida	100%	100%	100%	100%	100%	88%	98%	100%	96%
VelVien	Las Condes	100%	100%	100%	11%	0%	33%	99%	95%	98%
VelVien	Parque O'Higgins	100%	100%	100%	100%	96%	99%	100%	99%	97%
VelVien	Pudahuel	100%	100%	100%	100%	96%	92%	99%	98%	97%
VelVien	Cerrillos	100%	100%	100%	99%	16%	100%	83%	75%	0%
VelVien	El Bosque	100%	100%	100%	99%	86%	45%	98%	98%	94%
VelVien	Cerro Navia	100%	100%	100%	98%	100%	89%	100%	89%	75%
VelVien	Puente Alto	100%	100%	100%	100%	100%	73%	100%	97%	86%
VelVien	Talagante	100%	100%	100%	100%	98%	94%	100%	7%	17%
VelVien	Quilicura	100%	100%	100%	39%	0%	0%	0%	0%	0%
Temp	Independencia	100%	82%	100%	100%	99%	100%	100%	96%	57%
Temp	La Florida	100%	100%	63%	99%	56%	73%	98%	97%	96%
Temp	Las Condes	100%	99%	62%	89%	87%	94%	100%	92%	98%
Temp	Parque O'Higgins	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	96%	97%
Temp	Pudahuel	24%	42%	79%	79%	97%	90%	99%	97%	97%
Temp	Cerrillos	100%	100%	86%	71%	15%	100%	83%	74%	0%
Temp	El Bosque	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	95%	94%
Temp	Cerro Navia	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	86%	86%
Temp	Puente Alto	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	94%	86%
Temp	Talagante	100%	100%	100%	100%	98%	98%	100%	7%	17%
Temp	Quilicura	100%	100%	100%	39%	0%	0%	0%	0%	0%
HumRel	Independencia	100%	100%	100%	94%	100%	100%	100%	96%	57%
HumRel	La Florida	100%	100%	100%	100%	100%	87%	98%	94%	96%

Parámetro	Estación	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
HumRel	Las Condes	100%	100%	94%	88%	84%	99%	100%	92%	98%
HumRel	Parque O'Higgins	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	96%	97%
HumRel	Pudahuel	99%	97%	100%	71%	99%	100%	99%	97%	97%
HumRel	Cerrillos	100%	100%	100%	99%	15%	99%	83%	74%	0%
HumRel	El Bosque	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	95%	94%
HumRel	Cerro Navia	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	86%	86%
HumRel	Puente Alto	100%	100%	100%	71%	15%	100%	100%	94%	86%
HumRel	Talagante	100%	100%	100%	99%	98%	98%	100%	7%	17%
HumRel	Quilicura	100%	100%	100%	39%	0%	0%	0%	0%	0%
MP2,5	Independencia	98%	90%	99%	94%	96%	96%	97%	98%	54%
MP2,5	La Florida	97%	99%	97%	95%	95%	92%	94%	96%	97%
MP2,5	Las Condes	100%	98%	97%	90%	95%	93%	97%	96%	97%
MP2,5	Parque O'Higgins	98%	98%	98%	97%	96%	95%	98%	96%	97%
MP2,5	Pudahuel	100%	96%	97%	94%	76%	91%	95%	99%	96%
MP2,5	Cerrillos	99%	84%	86%	97%	3%	0%	97%	83%	0%
MP2,5	El Bosque	99%	97%	96%	94%	96%	96%	94%	99%	97%
MP2,5	Cerro Navia	100%	98%	92%	96%	94%	96%	98%	99%	98%
MP2,5	Puente Alto	99%	97%	98%	97%	96%	93%	98%	99%	98%
MP2,5	Talagante	99%	19%	87%	94%	87%	91%	93%	5%	55%
MP2,5	Quilicura	99%	96%	98%	96%	92%	92%	97%	98%	98%

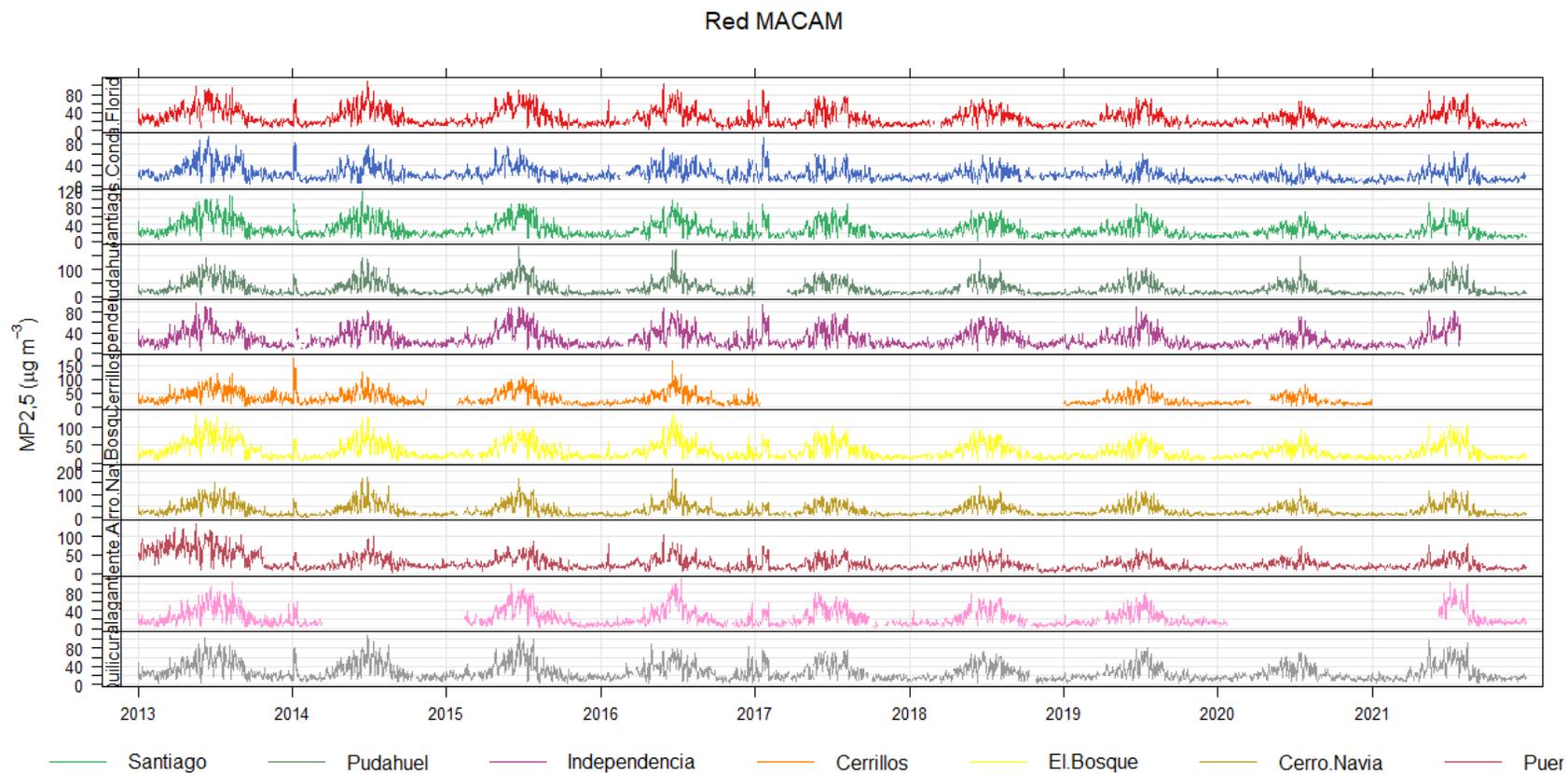


Figura 49: Serie de tiempo concentración de MP2,5 Red MAChoras.

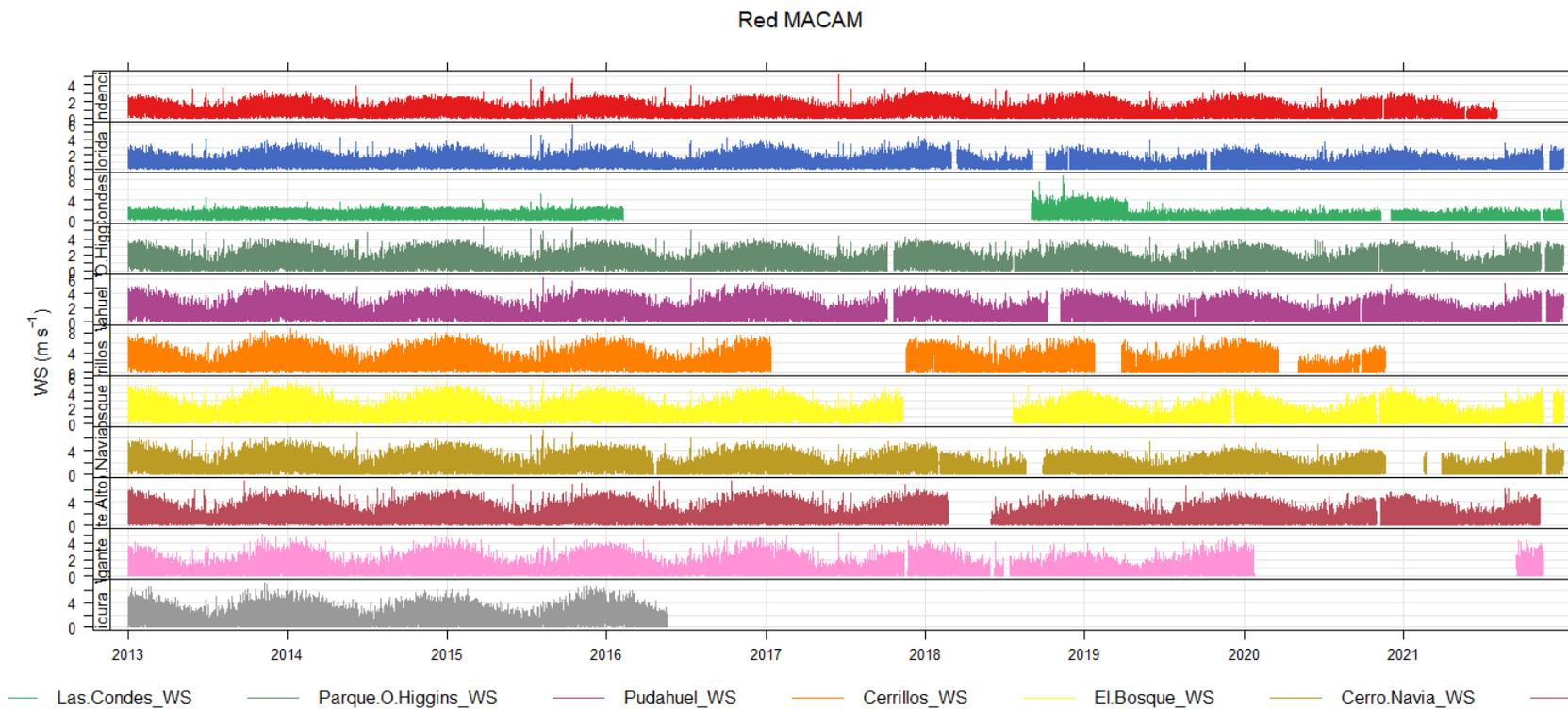


Figura 50: Serie de tiempo Velocidad del viento.

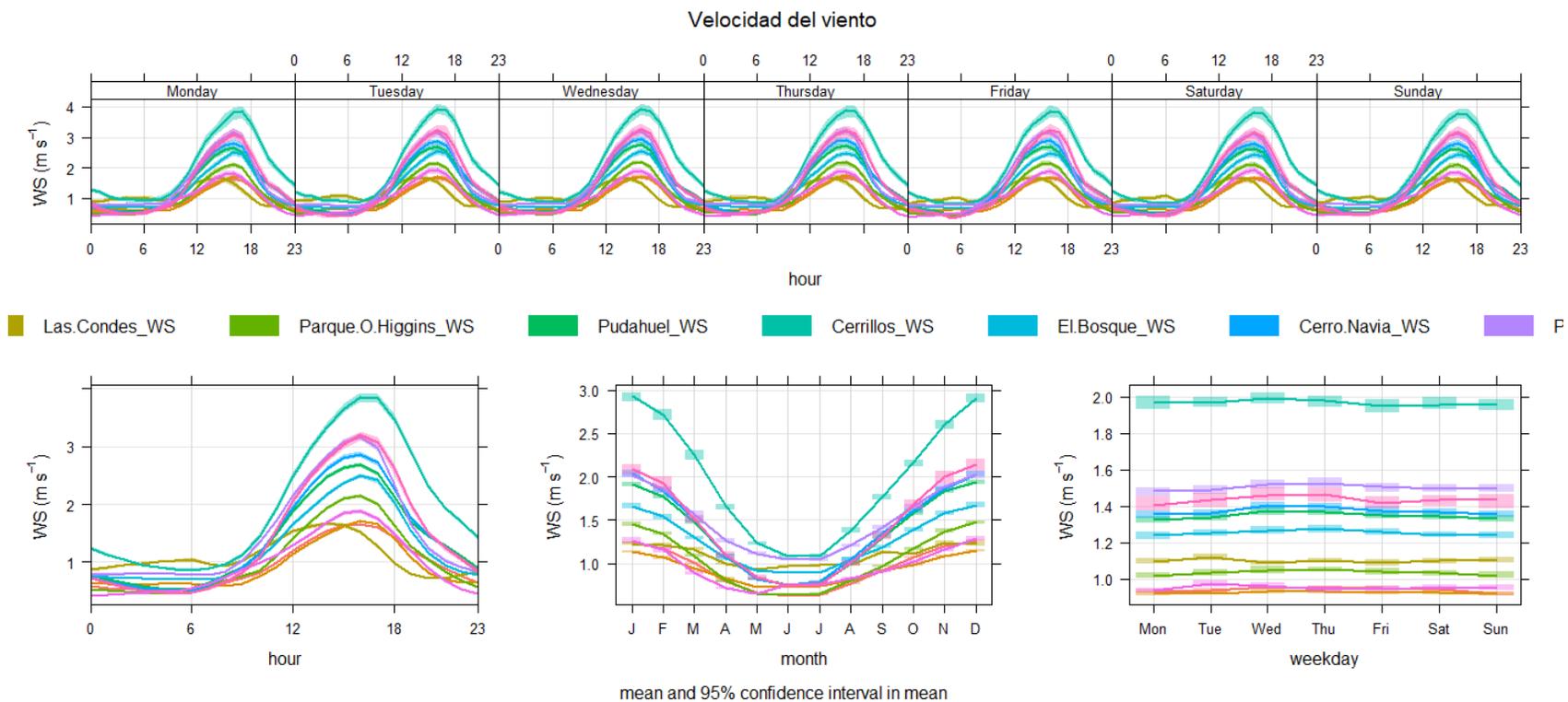


Figura 51; Variación estacional velocidad del viento.

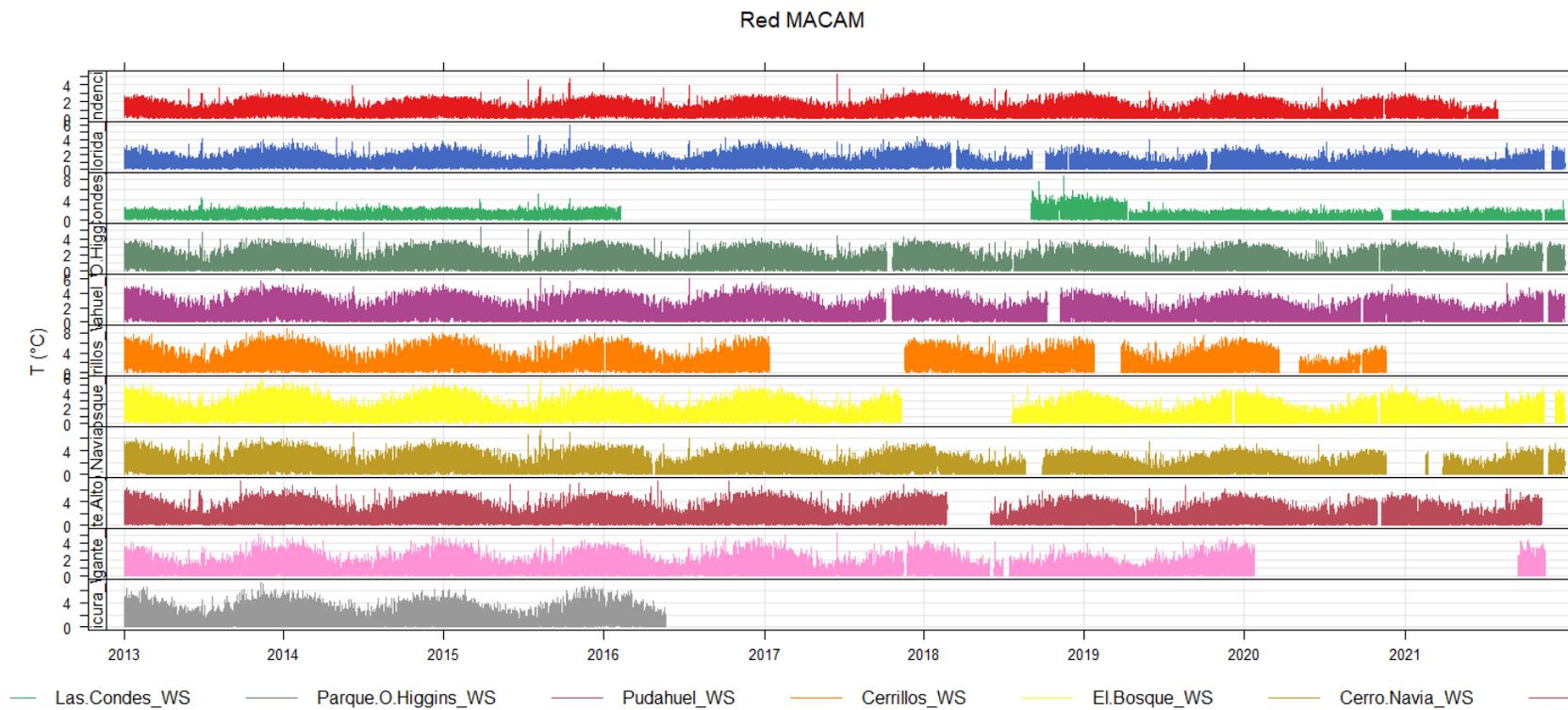


Figura 52: Serie de tiempo temperatura.

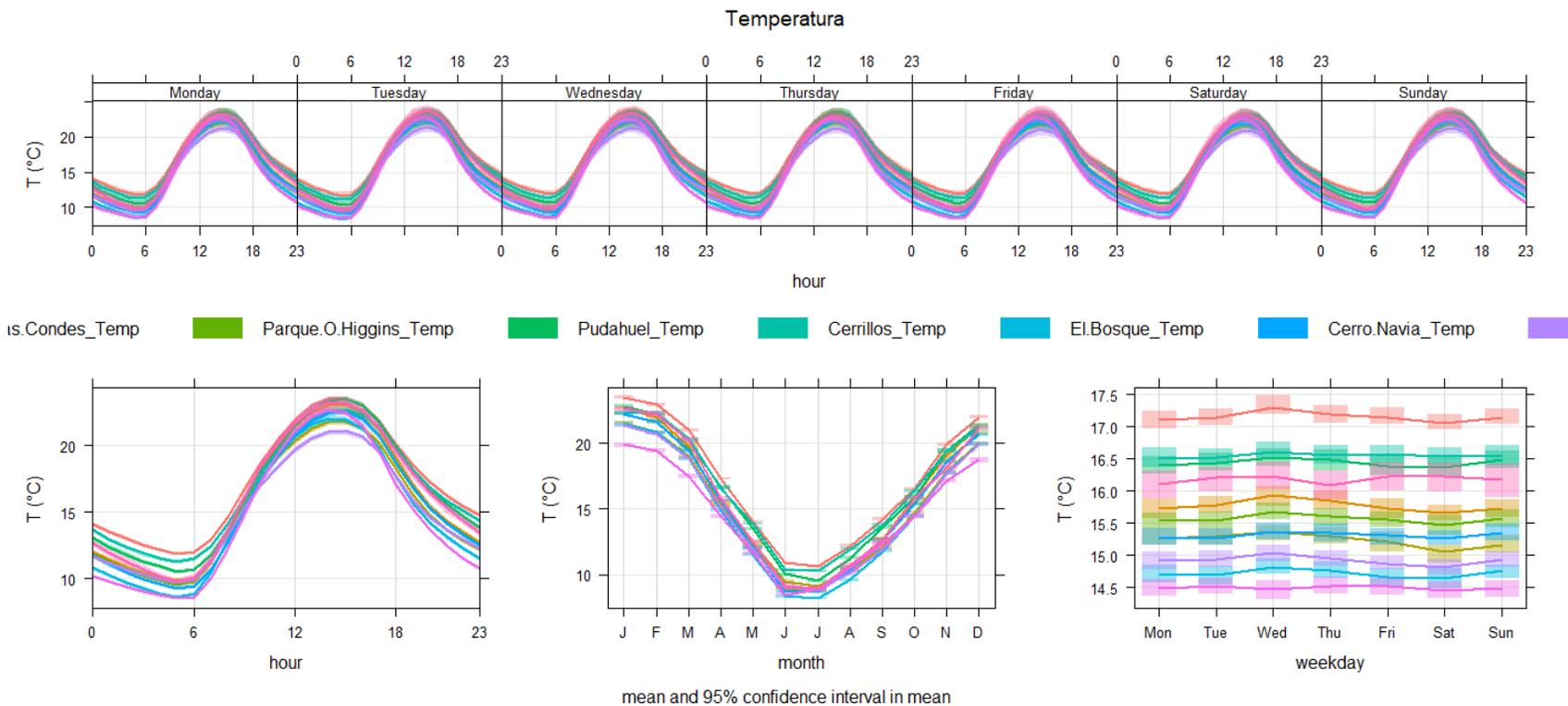


Figura 53 : Variación estacional temperatura.

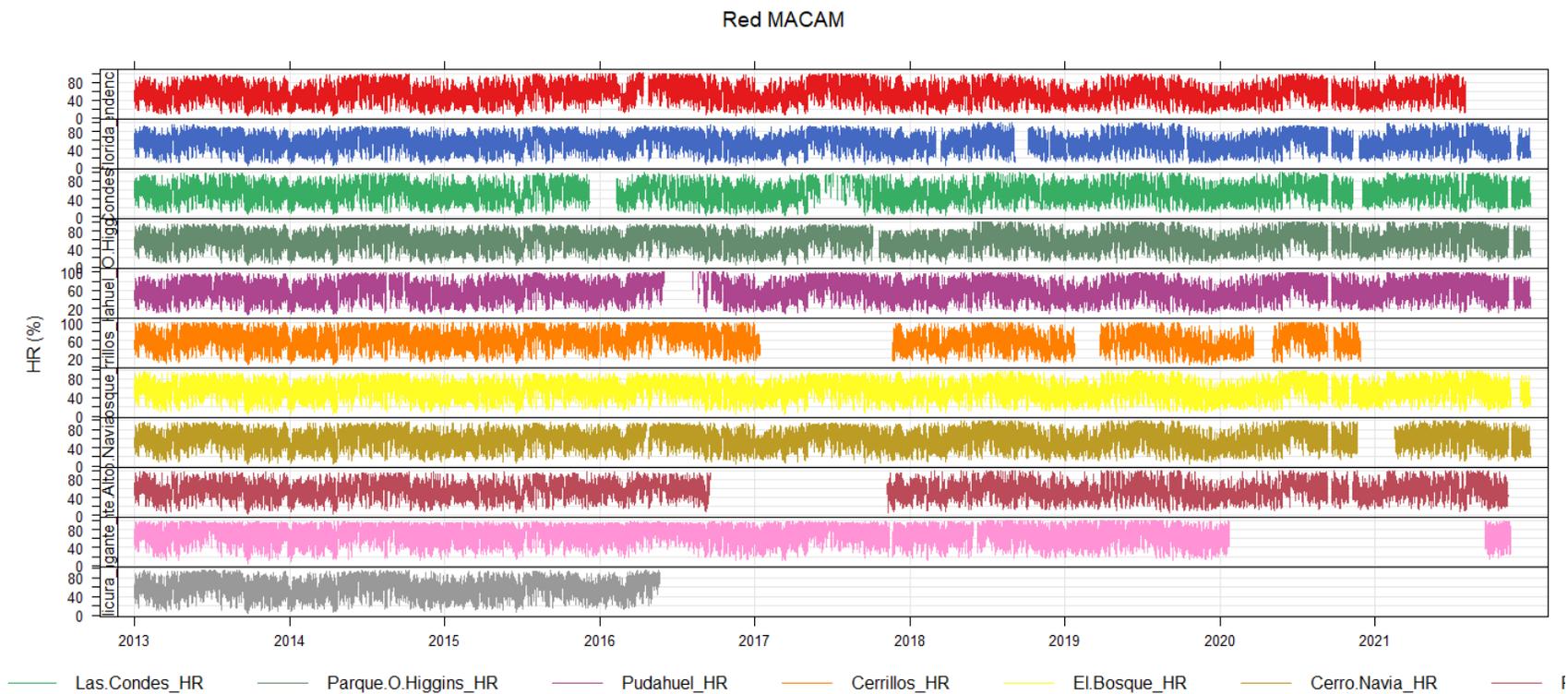


Figura 54: Serie de tiempo de HR.

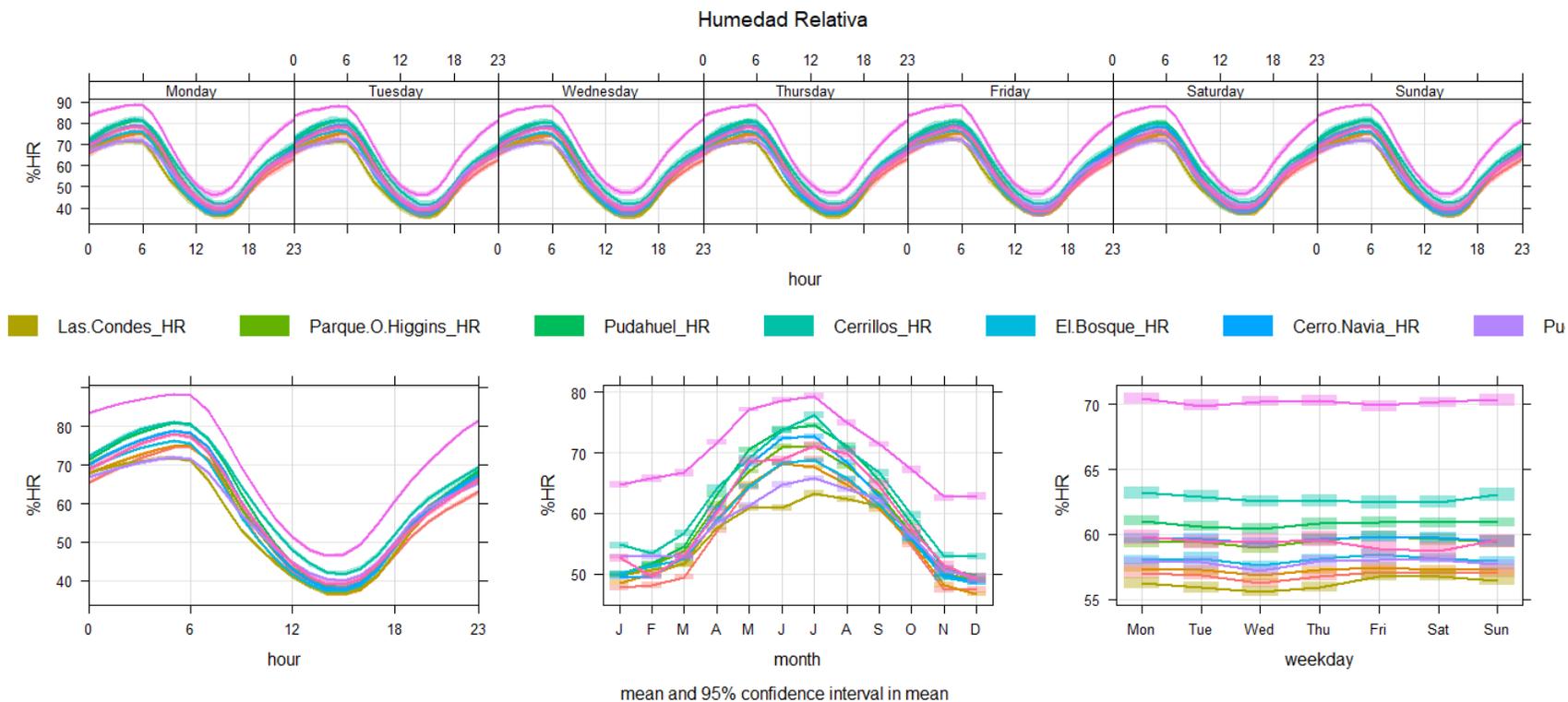


Figura 55: Variación estacional temperatura.

1.4.2 Completitud de información RED SIVICA

Tabla 7: Completitud de información estaciones SINCA.

Estación	Parámetro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Alto Hospicio	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	98%	100%	99%	100%	83%
Copiapo SIV	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	70%	100%	100%
Huasco SIV	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	74%	99%	100%	100%	83%	99%
La Serena SIV	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	73%	99%	100%	100%	100%	100%
Coquimbo SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	73%	99%	100%	100%	100%	100%
Andacollo SIVICA	WS	96%	100%	100%	42%	100%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	100%
Cuncumen SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	70%	99%	100%	91%	100%	100%	100%	100%
Los Andes	WS	0%	0%	0%	0%	69%	96%	96%	98%	100%	100%	100%	100%
Concon MMA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	67%	100%	100%
Vina del mar	WS	0%	0%	0%	0%	61%	97%	96%	98%	91%	99%	99%	99%
Rancagua 2 SIVICA	WS	0%	0%	0%	43%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Rancagua 1 SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	99%	100%	99%	100%	100%
Rengo SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	50%	96%	99%	100%	99%	100%	100%
San Fernando SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	95%	22%	6%	77%	100%	99%	100%
Curico SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	95%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
U Talca SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	99%	100%	18%	72%	72%	100%	100%
UC del Maule SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	97%	96%	47%	76%	100%	100%	100%
Talca La Florida SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	99%	95%	80%	55%	100%	100%	100%	100%
Linares SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	61%	96%	99%	100%	100%	100%	100%
Cauquenes SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	79%
21 de Mayo	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Balneario Curanilahue	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hualqui	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	100%	100%	100%	100%	100%
Inia Chillan	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Kingston College	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Liceo Polivalente	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Estación	Parámetro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Los Angeles Oriente	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Punteras	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	100%	100%	100%
Puren	WS	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
San Vicente Consultorio	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nielol	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	76%	100%	100%	100%
Las Encinas SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	77%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Padre Las Casas II SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	78%	100%	100%	99%	99%	99%	100%	100%
Valdivia 2 SIVICA	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	100%	100%	100%
Valdivia SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	93%	96%	100%	100%	100%	100%	100%
La Union	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	100%	100%	100%	100%
Osorno SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	96%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Alerce	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	76%	99%	100%	100%	100%
MIRASOL_sivica	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	99%	100%	0%	12%	100%
Puerto Aysen	WS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	99%	100%	44%	100%
Coyhaique 1 SIVICA	WS	0%	0%	0%	42%	100%	92%	92%	98%	100%	99%	100%	100%
Coyhaique 2 SIVICA	WS	0%	0%	0%	25%	100%	85%	44%	6%	76%	100%	100%	100%
Alto Hospicio	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	98%	100%	99%	100%	83%
Copiapo SIV	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	61%	100%	100%
Huasco SIV	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	74%	99%	100%	47%	4%	2%
La Serena SIV	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	73%	99%	100%	100%	100%	100%
Coquimbo SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	73%	99%	100%	100%	100%	100%
Andacollo SIVICA	HR	96%	100%	100%	42%	59%	99%	100%	93%	100%	99%	100%	100%
Cuncumen SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	47%	60%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Los Andes	HR	0%	0%	0%	0%	0%	59%	96%	97%	25%	100%	100%	100%
Concon MMA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	77%	64%	100%	100%
Vina del mar	HR	0%	0%	0%	0%	61%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%
Rancagua 2 SIVICA	HR	0%	0%	0%	43%	100%	100%	100%	83%	77%	100%	100%	100%

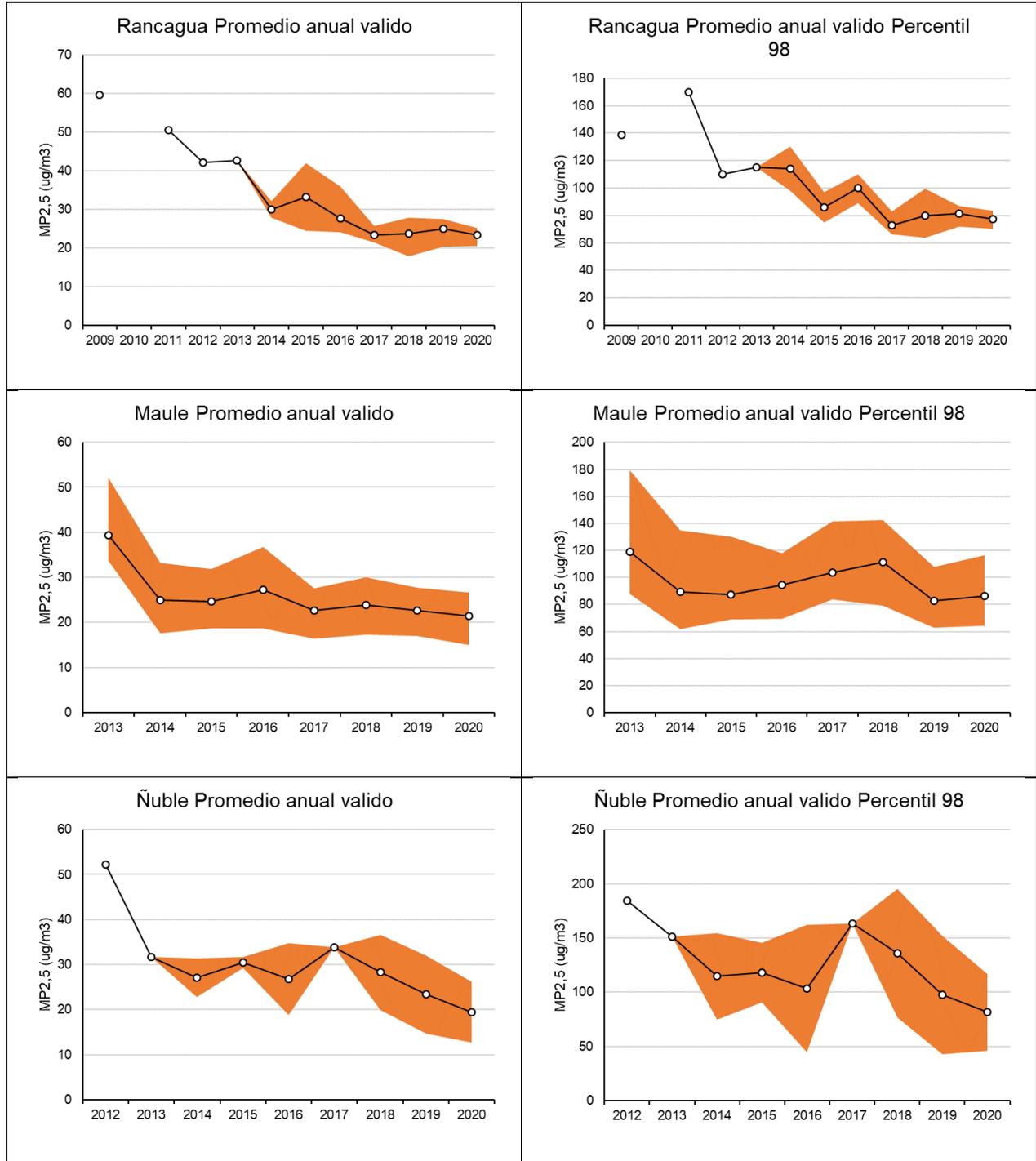
Estación	Parámetro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Rancagua 1 SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	100%	92%	100%	100%	99%	100%	100%
Rengo SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	100%	90%	99%	100%	100%
San Fernando SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	97%	96%	99%	100%	100%	99%	100%
Curico SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	97%	96%	99%	100%	40%	0%	0%
UC del Maule SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	97%	96%	99%	99%	100%	100%	100%
Talca La Florida SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	99%	96%	100%	99%	100%	100%	95%	100%
U Talca SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	29%	100%
Cauquenes SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	79%
Linares SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	61%	96%	99%	100%	57%	0%	0%
21 de Mayo	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Balneario Curanilahue	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hualqui	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	100%	100%	100%	100%	100%
Inia Chillan	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Kingston College	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Liceo Polivalente	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Los Angeles Oriente	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Punteras	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	100%	100%	100%
Puren	HR	0%	0%	0%	100%	100%	89%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
San Vicente Consultorio	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nielol	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	62%	45%	0%	0%	0%
Las Encinas SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	77%	100%	100%	99%	100%	37%	0%	0%
Padre Las Casas II SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	78%	100%	100%	99%	100%	99%	0%	0%
Valdivia 2 SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	100%	100%	100%
Valdivia SIVICA	HR	0%	0%	0%	0%	0%	46%	96%	100%	100%	100%	100%	99%
La Union	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	100%	100%	100%	99%
Osorno SIVICA	HR	0%	0%	0%	41%	100%	97%	96%	99%	100%	100%	100%	100%
Alerce	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	76%	99%	100%	100%	100%

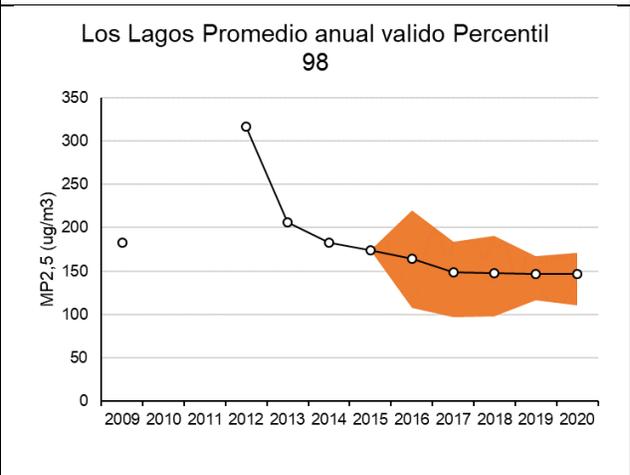
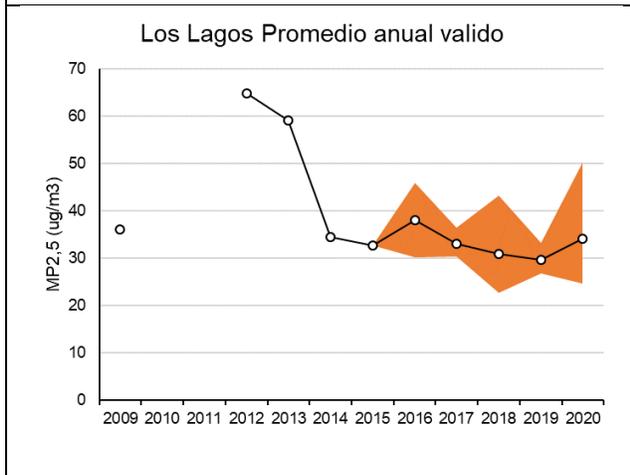
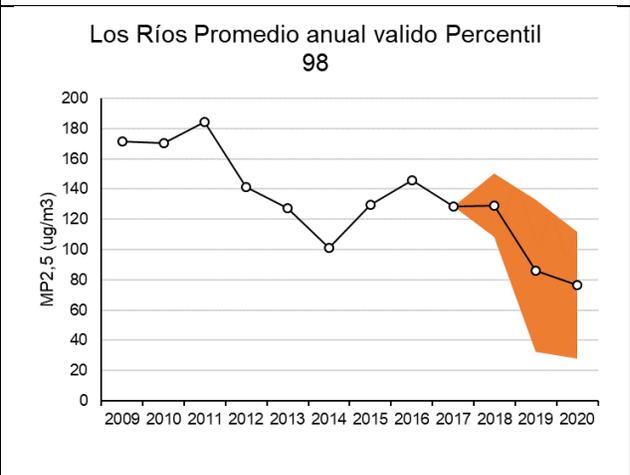
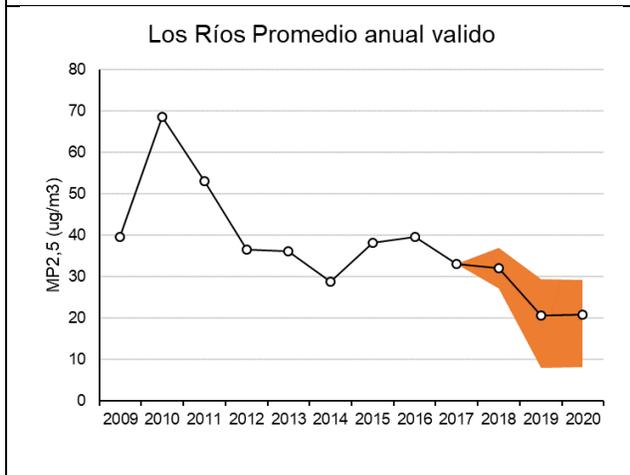
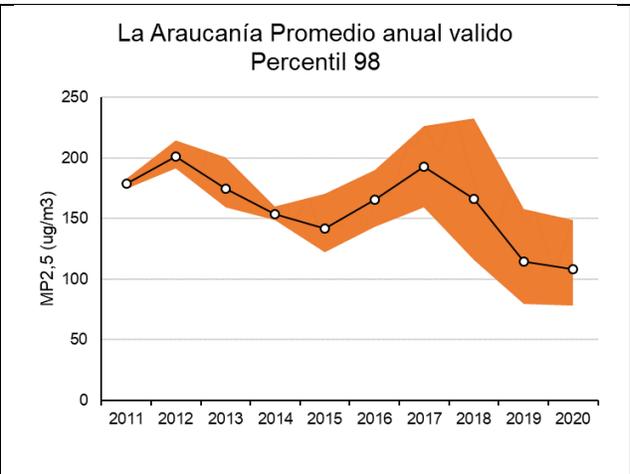
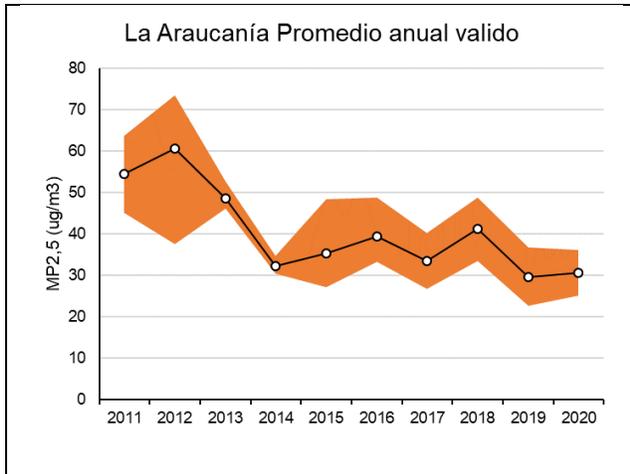
Estación	Parámetro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
MIRASOL_sivica	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	99%	13%	0%	14%	100%
Puerto Aysen	HR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	99%	100%	100%	100%
Coyhaique 1 SIVICA	HR	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	99%
Coyhaique 2 SIVICA	HR	0%	0%	0%	4%	82%	36%	44%	6%	76%	100%	100%	100%
Alto Hospicio	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	98%	100%	99%	100%	83%
Copiapo SIV	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	61%	100%	100%
Huasco SIV	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	99%	100%	48%	0%	0%
La Serena SIV	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Coquimbo SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Andacollo SIVICA	TEMP	96%	100%	100%	42%	58%	99%	100%	93%	100%	99%	100%	100%
Cuncumen SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	70%	71%	100%	91%	100%	100%	100%	100%
Los Andes	TEMP	0%	0%	0%	0%	28%	92%	96%	98%	100%	100%	100%	100%
Concon MMA	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	64%	100%	100%
Vina del mar	TEMP	0%	0%	0%	0%	61%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%
Rancagua 2 SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	43%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Rancagua 1 SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	99%	100%	99%	100%	100%
Rengo SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	100%	90%	99%	100%	100%
San Fernando SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	95%	22%	6%	77%	100%	99%	100%
Curico SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	95%	99%	100%	100%	54%	100%	100%
UC del Maule SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	99%	97%	96%	99%	100%	100%	100%	100%
Talca La Florida SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	99%	100%	100%	99%	100%	100%	95%	100%
Linares SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	61%	96%	99%	100%	57%	0%	0%
Cauquenes SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	79%
21 de Mayo	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Balneario Curanilahue	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hualqui	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	100%	100%	100%	100%	100%
Inia Chillan	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Estación	Parámetro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kingston College	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Liceo Polivalente	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Los Angeles Oriente	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Punteras	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	100%	100%	100%
Puren	TEMP	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
San Vicente Consultorio	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nielol	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	59%	100%	100%	100%
Las Encinas SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	77%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%
Padre Las Casas II SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	78%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%
Valdivia 2 SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	34%	100%	100%	100%
Valdivia SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	93%	96%	100%	100%	100%	100%	99%
La Union	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	100%	100%	100%	99%
Osorno SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Alerce	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	76%	99%	100%	100%	100%
MIRASOL_sivica	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	99%	91%	75%	14%	100%
Puerto Aysen	TEMP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	99%	100%	100%	100%
Coyhaique 1 SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	42%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%
Coyhaique 2 SIVICA	TEMP	0%	0%	0%	4%	82%	90%	44%	6%	76%	100%	100%	100%

1.5 Tendencias de Promedios de Concentración

1.5.1 Zona Sur





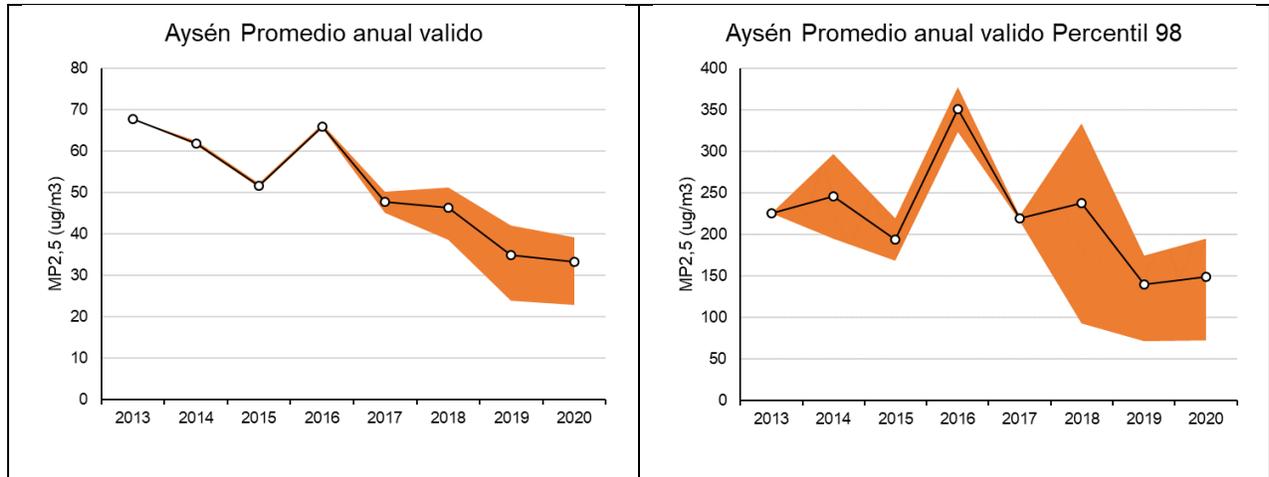


Figura 56: Tendencias de concentración zona sur.

1.6 Análisis estación Los Ángeles Oriente.

En el caso de la estación los Ángeles Oriente (región del Biobío) se identificó un período con valores anómalos de concentración de $MP_{2,5}$ entre los años 2014-2017 que no presentan los mismos ciclos de concentración característicos de la zona como los que sí se observan en los años posteriores. La identificación del período anómalo mostrado en la Figura 57 hace que los promedios diarios de concentración aumenten significativamente respecto de los que se observan en los siguientes años (período 2018-2021). Se revisaron en detalle las series de concentración horarias para cada año (Figura 58-Figura 64) encontrándose que los incrementos durante los meses de invierno no se distinguen con claridad entre los años 2014-2017. En la Figura 65 y Figura 66 se ilustra el análisis temporal para el período clasificado como anómalo y para el período posterior y se ha comparado con la estación 21 de Mayo. Esta desviación del ciclo esperado de la zona y región ha hecho descartar el período anómalo de cualquier análisis posterior.

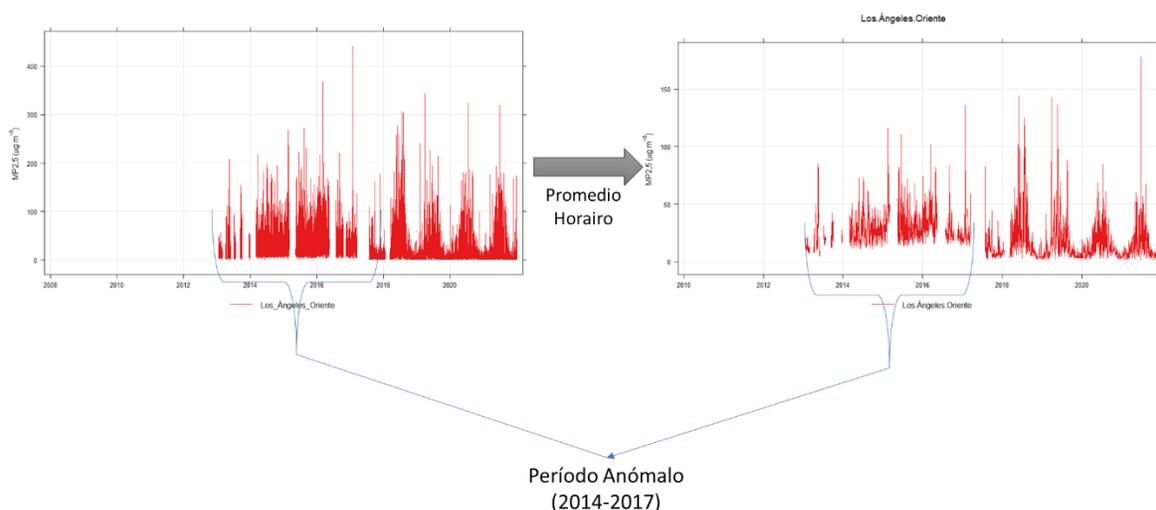


Figura 57: Identificación de período anómalo en serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente.

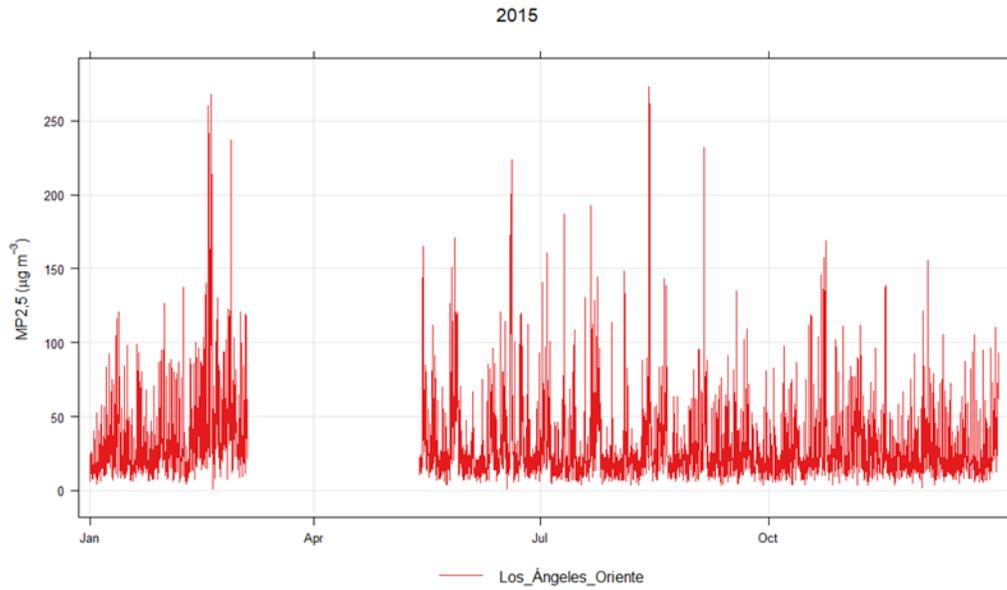


Figura 58: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2015.

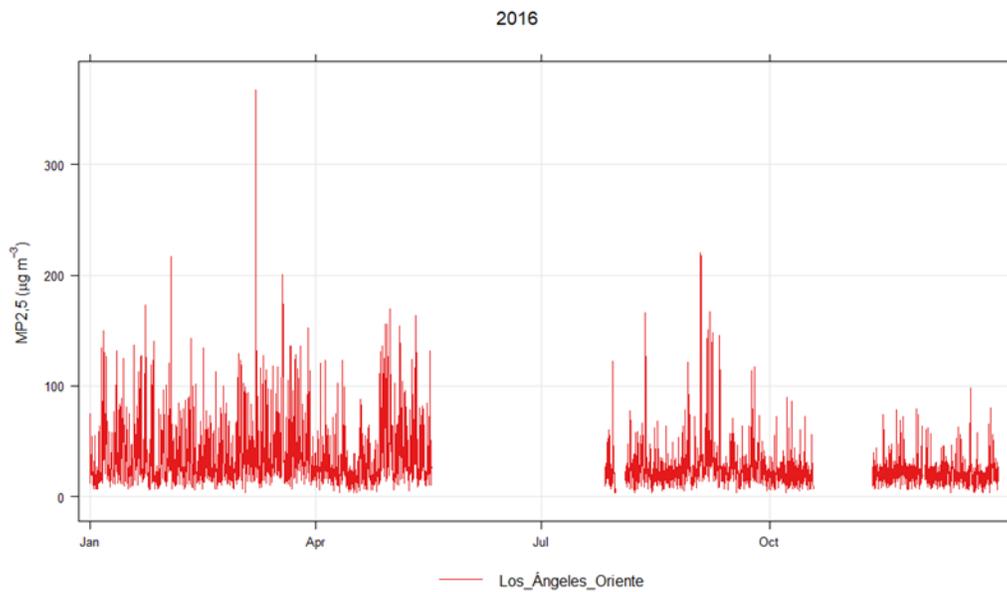


Figura 59: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2016.

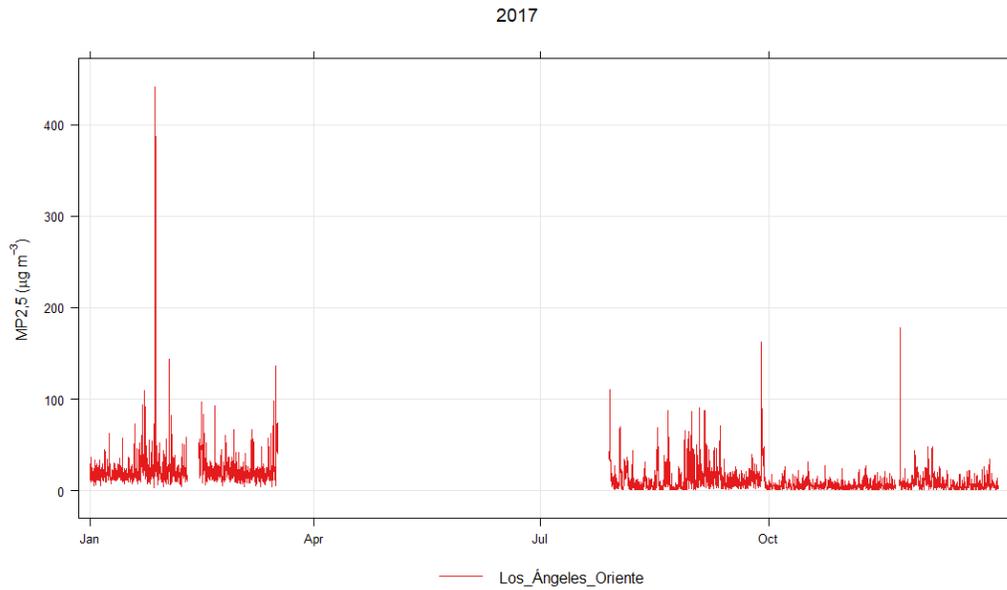


Figura 60: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2017.

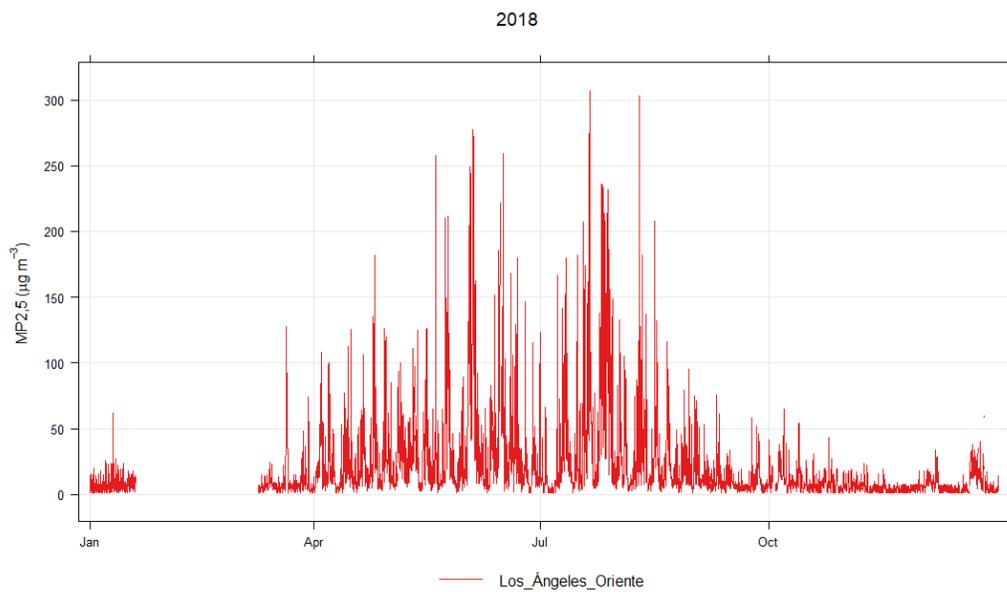


Figura 61: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2018.

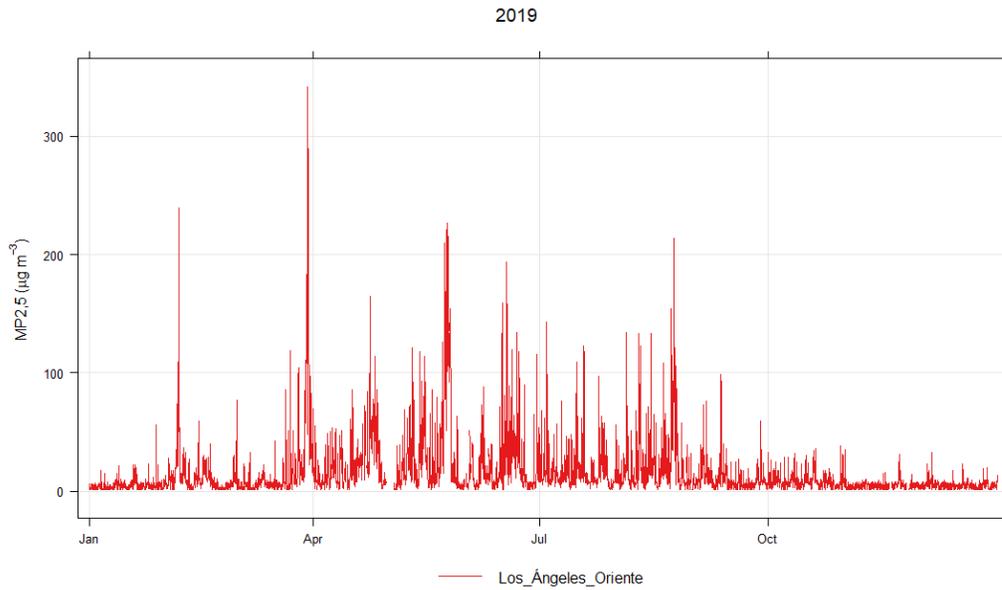


Figura 62: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2020.

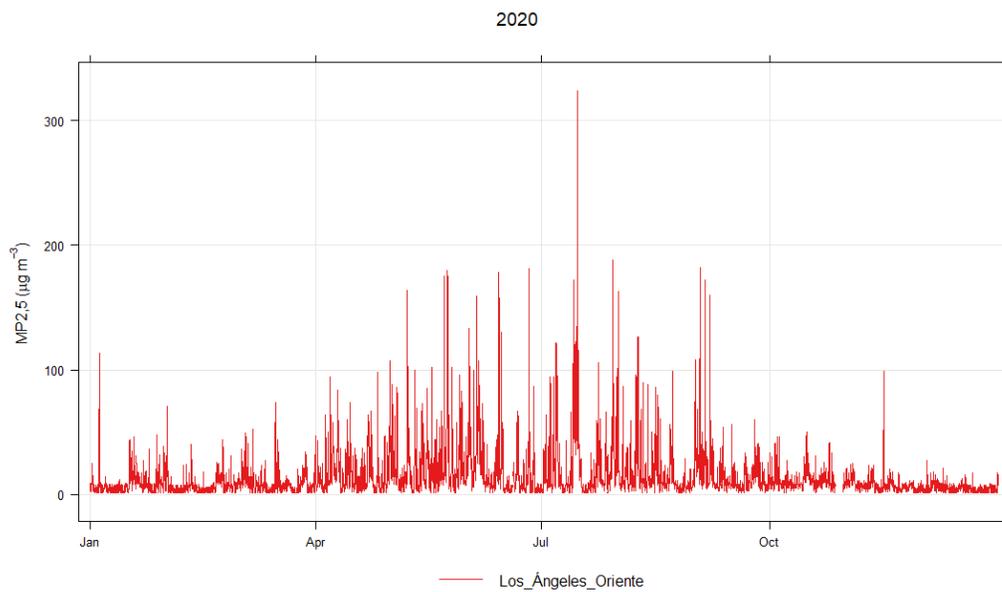


Figura 63: Serie de tiempo de concentración de $MP_{2,5}$ en estación Los Ángeles Oriente año 2020.

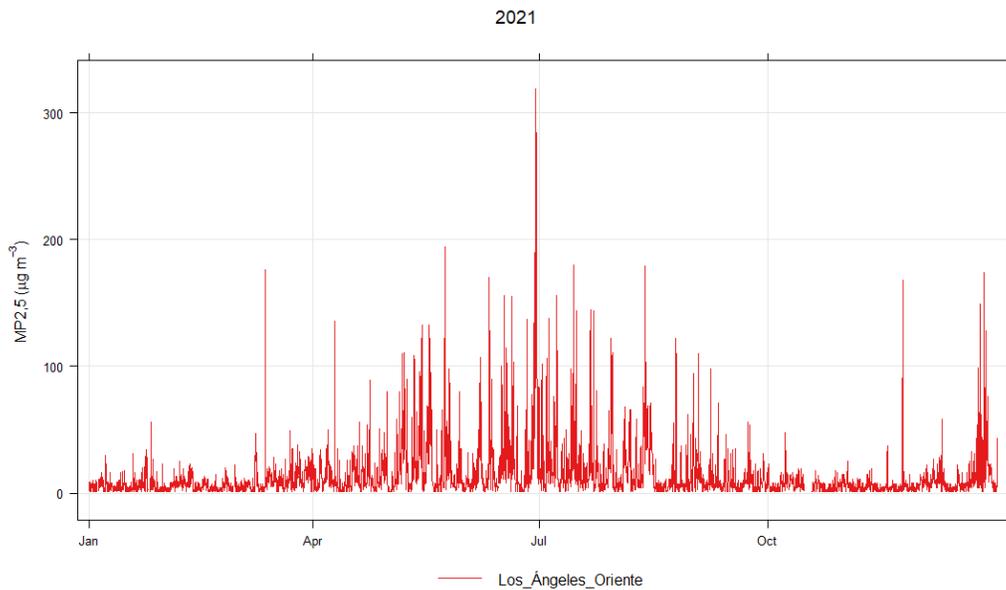


Figura 64: Serie de tiempo de concentración de MP_{2,5} en estación Los Ángeles Oriente año 2021.

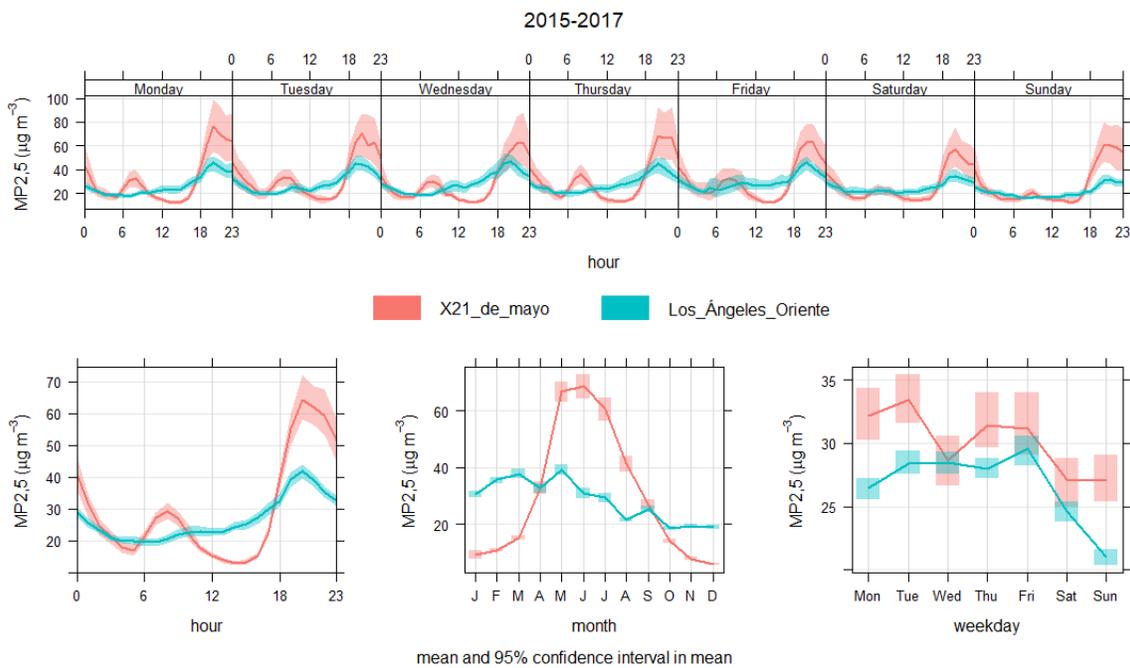


Figura 65: Análisis estacional estación Los Ángeles Oriente y 21 de Mayo período 2015-2017.

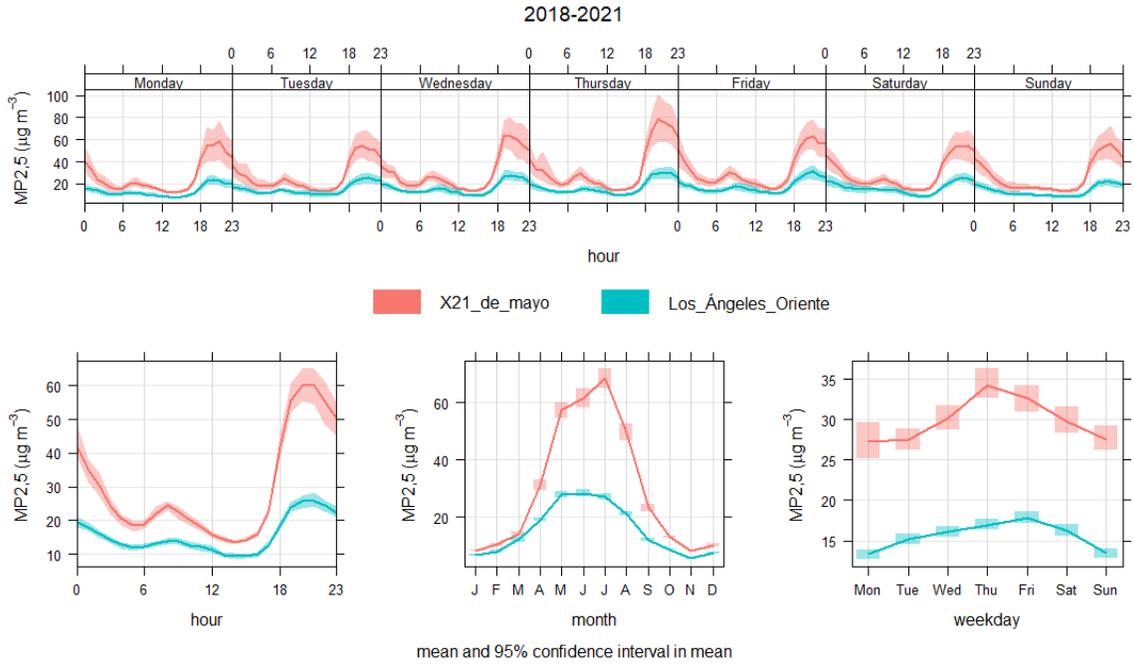


Figura 66: Análisis estacional estación Los Ángeles Oriente y 21 de Mayo período 2018-2021.

1.7 Listado de equipamiento USEPA para medición de MP2,5 para propósitos regulatorios

Tabla 8: Equipamiento Protocolo USEPA para medición de MP_{2,5}.

Tipo	Equipo	Designación	Principio
Sampler	Ambilabs Model 2WIN PM12_5 FEM Monitor	EQPM-0922-260	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Sampler	Andersen Model RAAS2.5-200 Audit with WINS	RFPS-0299-128	Gravimetría
Sampler	BGI or Mesa Laboratories Inc. PQ200/200A with WINS	RFPS-0498-116	Gravimetría
Sampler	BGI or Mesa Laboratories Inc. PQ200-VSCC 'U or PQ200A-VSCC'U	RFPS-0498-116 or EQPM-0202-142	Gravimetría
Sampler	Graseby Andersen RAAS2.5-100 with WINS	RFPS-0598-119	Gravimetría
Sampler	Graseby Andersen RAAS2.5-300 with WINS	RFPS-0598-120	Gravimetría
Sampler	Met One Instruments, Inc. E-FRM with WINS	RFPS-0315-221	Gravimetría
Sampler	Met One Instruments, Inc. E-FRM with vsccru	RFPS-0315-221	Gravimetría
Sampler	Met One Instruments, Inc. E-FRM with URG	EQPS-0316-235	Gravimetría
Sampler	Met One Instruments, Inc. E-SEQ-FRM with WINS	RFPS-0717-245	Gravimetría
Sampler	Met One Instruments, Inc. E-SEQ-FRM with vsccr•	RFPS-0717-245	Gravimetría
Sampler	R & P Partisol@-FRM 2000 PM12.5 with WINS	RFPS-0498-117	Gravimetría
Sampler	R & P Partisol@-FRM 2000 PM-2.5 Thermo Scientific with vsccr•'	RFPS-0498-117 or EQPM-0202-143	Gravimetría
Sampler	R & P Partisol@ 2000 PM-2.5 Audit with WINS	RFPS-0499-129	Gravimetría
Sampler	R & P Partisol@ 2000 PM-2.5 Audit with VSCCW•'	RFPS-0499-129 or EQPM-0202-144	Gravimetría
Sampler	R & P Partisan-Pius 2025 PM-2.5 seq. with WINS	RFPS-0498-118	Gravimetría
Sampler	R & P Partisol@-Plus 2025 PM-2.5 seq. with VSCCW•'	RFPS-0498-118 or EQPM-0202-145	Gravimetría
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-100 with vsccTM	RFPS-0598-119 or EQPM-0804-153	Gravimetría

Tipo	Equipo	Designación	Principio
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-100 with WINS	RFPS-0598-119	Gravimetría
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-200 with vsccTM	RFPS-0299-128 or EQPM-0804-154	Gravimetría
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-200 with WINS	RFPS-0299-128	Gravimetría
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-300 with vsccr•	RFPS-0598-120 or EQPM-0804-155	Gravimetría
Sampler	Thermo Electron RAAS2.5-300 with WINS	RFPS-0598-120	Gravimetría
Sampler	Thermo Environmental Model 605 CAPS	RFPS-1098-123	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Partisol@ 2000-D Dichot., Partisol@ 2000i-D Dichot.	EQPS-0509-177	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Dichot. PartisolD-Plus Model 2025-D Seq., Partisol@ 2025i-D Dichot. seq.	EQPS-0509-179	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Partisol@ 2000-FRM, PartisoP 2000i with WINS	RFPS-0498-117	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Partisol@ 2000-FRM, PartisoP 2000i with vsccTM	RFPS-0498-117 or EQPM-0202-143	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Partisol@-Plus 2025 seq., Partisol@ 2025i seq with WINS	RFPS-0498-118	Gravimetría
Sampler	Thermo Scientific Partisol@-Plus 2025 seq., Partisol@ 2025i seq with VSCC TM	RFPS-0498-118 or EQPM-0202-145	Gravimetría
Sampler	Tisch Environmental Model TE-Wilbur 2.5 with WINS	RFPS-1014-219	Gravimetría
Sampler	Tisch Environmental Model TE-Wilbur 2.5 with VSCCw•'	RFPS-1014-219	Gravimetría
Sampler	Tisch Environmental Model TE-Wilbur 2.5 with Tisch TE-PM2.5C cyclone	RFPS-1014-219 or EQPS-0415-223	Gravimetría
Sampler	URG-MASSIOO with WINS	RFPS-0400-135	Gravimetría
Sampler	Ambilabs Model 2WIN PM12_5 FEM Monitor	EQPM-0922-260	Dispersión de la luz Láser (Scattering)

Tipo	Equipo	Designación	Principio
Sampler	URG-MASSI 00 with vsccn•'	RFPS-0400-135	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Sampler	URG-MASSIOO with URG-2000-30EGN cyclone	EQPS-0316-233	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Sampler	URG-MASS300	RFPS-0400-136	Gravimetría
Sampler	URG-MASS300 with vsccn,'	RFPS-0400-136	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Sampler	URG-MASS300 with URG-2000-30EGN cyclone	EQPS-0316-234	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Monitor	ENVEA Model MPIOIM PM2.5 Beta Attenuation Monitor	EQPM-1013-211	Beta
Monitor	Environnement S.A. Model MPIOIM PM2.5 Beta Attenuation Monitor	EQPM-1013-211	Beta
Monitor	Grimm Model EDM 180 PM12.5 Monitor	EQPM-0311-195	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Monitor	Horiba APDA-371	EQPM-0308-170	Beta
Monitor	Met One BAM-1020 PM-2.5 with vsccTM	EQPM-0308-170	Beta
Monitor	Met One BAM-1020 PM-2.5 with TE-PM2.5C	EQPM-0308-170	Beta
Monitor	Ecotech or Acoem Australasia Spirant BAMI 100	EQPM-0308-170	Beta
Monitor	Met One BAM-1022 Real Time Beta Attenuation Mass Monitor	EQPM-1013-209	Beta
Monitor	Met One BAM-1022 with TE-PM2.5C	EQPM-1013-209	Beta
Monitor	Met One BAM-1020 with URG-2000-30EGN Cyclone	EQPM-0715-266	Beta
Monitor	Ecotech or Acoem Australasia Spirant BAMI 100	EQPM-0715-266	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Monitor	opsis SM200	EQPM-0812-203	Beta
Monitor	SWAM 5a Dual Channel Monitor	EQPM-0912-204	Beta

Tipo	Equipo	Designación	Principio
Monitor	Teledyne Model 602 BetaPLUS Particle Measurement System	EQPM-0912-204	Beta
Monitor	Teledyne Model T640 PM Mass Monitor	EQPM-0516-236	Espectroscopia de Banda Ancha
Monitor	Teledyne T640 PM2.5 Mass Monitor with Network Data Alignment enabled	EQPM-0516-236	Espectroscopia de Banda Ancha
Monitor	Teledyne Model T640 PM Mass Monitor with 640X option	EQPM-0516-238	Espectroscopia de Banda Ancha
Monitor	Teledyne T640x PM2.5 Mass Monitor with Network Data Alignment enabled	EQPM-0516-238	Espectroscopia de Banda Ancha
Monitor	Thermo Scientific FH62C14-DHS Continuous, 5014i, 5028i, 5014iQ	EQPM-0609-183	Beta
Monitor	Thermo Scientific Model 5030i Sharp, 5030 SHARP, 5030iQ SHARP	EQPM-0609-184	Beta
Monitor	Thermo Scientific TEOM@ 1400a with Series 8500C FDMS@	EQPM-0609-181	Dispersión de la luz Láser (Scattering)
Monitor	Thermo Scientific TEOM@ 1405-F with FDMS@	EQPM-0609-181	Gravimetría
Monitor	Thermo Scientific TEOM@ 1405-DF Dichot. with FDMS@	EQPM-0609-182	Gravimetría

2 ANEXO II: Análisis efectos en salud

2.1 Guía de calidad del aire de la organización mundial de la salud

La OMS desde el año 1987 ha publicado periódicamente la guía de calidad del aire (Air Quality Guidelines) para informar a la sociedad civil y a los gobiernos; y promover la reducción en la exposición a la contaminación del aire y sus efectos adversos. La versión publicada el año 2005 ha tenido un impacto significativo en políticas de abatimiento de la contaminación alrededor del mundo y ha servido como marco de referencia universal estimulando a las autoridades y miembros de la sociedad civil a acrecentar los esfuerzos para controlar y estudiar los efectos de la exposición a la contaminación del aire.

En la versión actualizada (WHO, 2021) que comenzó a desarrollarse durante el año 2016, la OMS considera la documentación de nuevos estudios epidemiológicos que evalúan los efectos adversos a la salud producidos por exposiciones a altos niveles de contaminación ambiental en países de ingreso bajo y medio, y estudios que reportan efectos adversos a niveles más bajos que los anteriormente estudiados y frecuentes en países de ingreso alto.

El objetivo general de esta guía es: ofrecer recomendaciones basadas en métricas de salud para el manejo de la calidad del aire expresadas como concentraciones de corto y largo plazo para un número limitado de contaminantes del aire. La excedencia de los niveles recomendados en la guía se asocia con riesgos para la salud pública. Las guías no son normas o estándares jurídicamente vinculantes y proveen una herramienta basada en la evidencia que puede ser usada para informar la legislación y las políticas públicas. Adicionalmente, se entregan objetivos intermedios (interim targets) para guiar los esfuerzos de reducción hacia el cumplimiento de los niveles recomendados en países que los exceden de manera substancial. Respecto a niveles específicos de tipos de material particulado como carbono negro, carbono elemental, partículas ultrafinas y partículas provenientes de tormentas de arena se recomienda acrecentar la investigación y evaluación de sus riesgos, pero los datos son insuficientes para proveer recomendaciones.

El desarrollo de la guía sigue un riguroso proceso de selección y revisión sistemática de la evidencia relevante, la evaluación del nivel de certidumbre del cuerpo de evidencia resultante de la revisión sistemática, la formulación de los niveles incluidos en las guías de calidad del aire y la formulación de otras guías de soporte. Debido a que este trabajo se enfoca exclusivamente en el MP_{2.5}, nuestro foco será puesto exclusivamente en este contaminante. La Tabla 9 muestra los efectos en la salud incluidos en el proceso de desarrollo de la guía para el material particulado y considera aquellos donde hay un amplio consenso científico respecto de la naturaleza causal,

también se incluyeron otros basándose en cuan convincente resulta ser la evidencia epidemiológica.

La Tabla 9 muestra los efectos en la salud incluidos en la guía y la determinación de causalidad para cada uno. El informe toma en consideración la última versión de la PM ISA publicada, indicando que las determinaciones de causalidad para los efectos del material particulado en la mortalidad y la morbilidad respiratoria y cardiovascular fueron las mismas a las publicadas por la versión anterior de la ISA (2009).

Tabla 9: material particulado y efectos en la salud propuestos para la revisión sistemática en el proceso de desarrollo de las guías de la Organización mundial de la salud.
Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).

Contaminante	Efectos en la salud usados en la guía del año 2005	Efectos en la salud seleccionados y actualizados para la guía del 2021	Determinación de causalidad
Exposición de Largo Plazo			
PM_{2.5} y PM₁₀	Mortalidad total, cardiopulmonar y de cáncer al pulmón.	*Mortalidad por todas las causas no accidentales *Mortalidad cardiovascular (total, cerebrovascular, de las arterias coronarias) *Mortalidad Respiratoria (cualquiera, enfermedad obstructiva pulmonar crónica [EPOC], Infecciones respiratorias agudas de las vías aéreas inferiores) *Mortalidad por cáncer pulmonar	PM_{2.5} *Causal para mortalidad cardiovascular y respiratoria (US EPA, 2009) *Causal para mortalidad cardiovascular y total (Health Canada, 2013)
			PM *Causal para mortalidad total en relación a PM (Health Canada, 2013) *Grupo 1b para cáncer pulmonar (Straif et al. 2013) *Probablemente causal para mortalidad por cáncer pulmonar (Health Canadá, 2013)
			Consideraciones adicionales *PM ₁₀ --> Efectos en la salud apoyadas por evidencia provenientes del PM _{2.5} y PM ₁₀
			Otras determinaciones causales relevantes *PM _{2.5} --> Probablemente causal para efectos respiratorios (US EPA, 2009) *PM _{2.5} --> Probablemente causal para efectos respiratorios (Health Canadá, 2013)

Contaminante	Efectos en la salud usados en la guía del año 2005	Efectos en la salud seleccionados y actualizados para la guía del 2021	Determinación de causalidad
Exposición de Corto Plazo			
PM_{2.5} y PM₁₀	Niveles de carboxihemoglobina menor al 2% en la sangre de no-fumadores (WHO Regional Office for Europe, 200a, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> *Mortalidad por todas las causas *Mortalidad cardiovascular *Mortalidad Respiratoria 	<p>PM_{2.5}</p> <ul style="list-style-type: none"> *Causal para mortalidad por todas las causas, cardiovascular y respiratoria (US EPA, 2009) *Causal para mortalidad por todas las causas, cardiovascular y respiratoria (Health Canada, 2013) <hr/> <p>PM (Fracción de cualquier tamaño)</p> <ul style="list-style-type: none"> *Causal para mortalidad por todas las causas (Health Canada, 2013) <hr/> <p>Consideraciones adicionales</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mortalidad cardiovascular y respiratoria también considerada en la determinación causal de efectos respiratorios y cardiovasculares (US EPA, 2009) *PM₁₀, apoyado por la evidencia del PM_{2.5} <hr/> <p>Otras determinaciones causales relevantes</p> <ul style="list-style-type: none"> *Probablemente causal para efectos respiratorios (US EPA, 2009) *Causal para efectos cardiovasculares (US EPA, 2009) *Causal para efectos respiratorios (Health Canada, 2013) *Causal para efectos cardiovasculares (Health Canada, 2013)

2.1.1 Niveles de la guía de calidad del aire recomendada para $PM_{2.5}$ (largo plazo, anual)

La evidencia epidemiológica usada para determinar los niveles recomendados fue publicada en una revisión (meta-analysis) en la revista Environment International (J. Chen & Hoek, 2020b). El criterio para la proposición de recomendaciones siguió un proceso de 8 etapas:

- Primero, se evaluaron los estimados de riesgo relativo (RR) y, si estaban disponibles, las funciones respuesta - concentración (Concentration - Response Functions, CRFs). La revisión sistemática de (J. Chen & Hoek, 2020b) para $PM_{2.5}$ y mortalidad no accidental reportó un **RR de 1.08** (95% CI: 1.06 - 1.09) por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$ asumiendo relaciones lineales. Los autores no encontraron indicaciones de relaciones supralineales sugiriendo un riesgo más empinado a niveles de exposición más bajos. De acuerdo al sistema de clasificación GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), la evidencia fue considerada como alta y los CRFs fueron reportados para varios estudios. Para destacar, algunos estudios (Cakmak et al., 2018; Di et al., 2017a; L. Pinault et al., 2016; L. L. Pinault et al., 2017; Villeneuve et al., 2015; Weichenthal et al., 2014a) evaluaron la mortalidad producida a niveles bajos de $PM_{2.5}$ y el estudio de (Di et al., 2017a) provee evidencia de la forma de la curva a niveles bajos de $PM_{2.5}$ (Figura 67). Dichas curvas generalmente muestran relaciones lineales a concentraciones muy bajas y algo de empinamiento preferentemente en concentraciones bajas y no altas.
- Segundo, se determinó el valor de exposición más bajo medido entre cinco de los estudios anteriormente mencionados (Cakmak et al., 2018; Di et al., 2017a; L. Pinault et al., 2016; L. L. Pinault et al., 2017; Villeneuve et al., 2015; Weichenthal et al., 2014a) produciendo un promedio de $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$ anual y $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al descartar dos de estos estudios.
- Tercero, se determinó el aumento mínimo relevante en el parámetro de salud medido.
- Cuarto, se determinó el punto de partida para el nivel de la guía como la concentración de largo plazo (anual, en el caso de $PM_{2.5}$) del contaminante ($PM_{2.5}$) desde el cual la mínima cantidad relevante de aumento en algún parámetro de salud ocurriese. El promedio de los cinco más bajos percentiles 5 en los cinco estudios antes mencionados sirvieron como punto de partida para derivar el nivel guía de calidad del aire ($4.2 - 4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$). Los datos obtenidos de estos estudios sugieren un nivel guía de calidad del aire para $PM_{2.5}$ a largo plazo (anual) no mayor a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ basado en la asociación entre los niveles de $PM_{2.5}$ anual y mortalidad no accidental.
- Quinto, se comparó el nivel de la guía de calidad del aire ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para todos los parámetros de salud críticos: mortalidad de causa específica. Los Hazard Ratios (HR, o cocientes de riesgos) para $PM_{2.5}$ fueron de 1.11 (95% CI: 1.09 - 1.14), 1.10 (95% CI: 1.03 - 1.18) y 1.12 (95% CI: 1.07 - 1.16) para mortalidad circulatoria, respiratoria sin malignidad y cáncer pulmonar, respectivamente. La certidumbre de la evidencia para el efecto del $PM_{2.5}$ fue clasificada como alta para la mortalidad circulatoria y de cáncer pulmonar y como moderada para la mortalidad respiratoria sin malignidad. El promedio más bajo para estos percentiles 5 de los cinco estudios informando asociaciones positivas ($HR > 1$) para estas 3 mortalidades fue de ($4.1 - 6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$) apoyando también el nivel de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ propuesto previamente.

- Sexto, se evaluó la certeza de la evidencia y se determinó que, de los estudios escogidos ninguno obtenía un alto riesgo de sesgo (Risk of Bias, RoB).
- Séptimo, se consideró nueva evidencia surgida entre el otoño del 2018 y el verano del 2020 obteniéndose los mismos valores estimados antes de incluir dichos nuevos estudios.
- Octavo, se reconsideró la evaluación de causalidad y dichos juicios respecto de la causalidad no cambiaron durante la evaluación de los estudios.

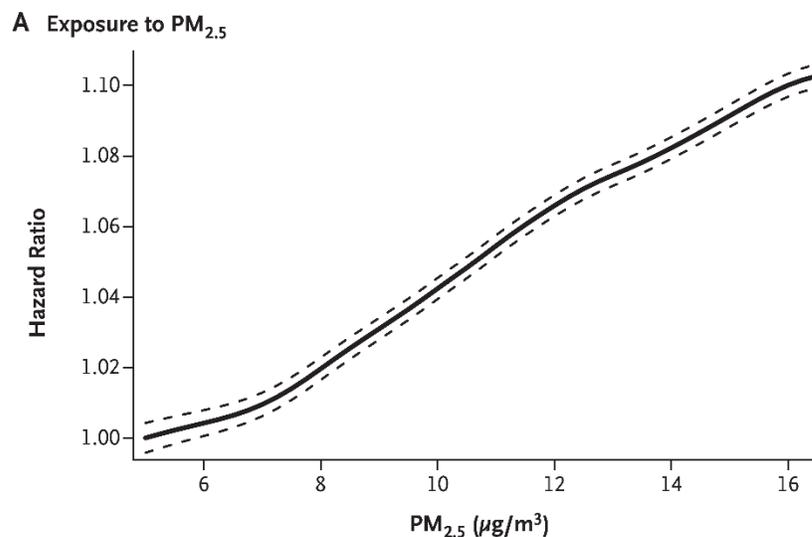
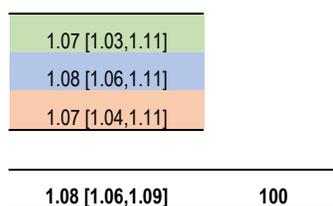


Figura 67: Función concentración - respuesta para el PM_{2.5} (exposición de largo plazo) y la mortalidad por todas las causas. Obtenido desde Di et al. 2017. Hazard ratio: cociente de riesgo, Exposure to PM_{2.5}: Exposición a PM_{2.5}.

Los efectos del MP_{2.5} a largo plazo para mortalidad total, circulatoria, respiratoria y cáncer pulmonar se presentan en las Tablas 17-21, respectivamente y fueron obtenidas, traducidas y modificadas desde (J. Chen & Hoek, 2020b). Adicionalmente la Tabla 14 presenta los efectos estimados para los distintos efectos a la salud analizados.

Tabla 10: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad por todas las causas y la concentración de PM_{2.5} (efecto a largo plazo) en diferentes regiones del mundo. Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).

Mortalidad por todas las causas y PM _{2.5} (asociado al aumento de 10 µg/m ³)			
Referencias	Estudio	RR [95%]	pesos (%)
Cakmak, 2018	1991CanCHEC	1.16 [1.08,1.25]	2.46
Pinault, 2017	2001 CanCHEC	1.18 [1.15,1.21]	7.12
Turner, 2016	ACS-CPS II	1.07 [1.06,1.09]	8.62
Weichenthal, 2014	AHS	0.95 [0.76,1.19]	0.33
Mcdonnell, 2000	AH SMOG	1.09 [0.98,1.21]	1.38
Enstrom, 2005	CA CPS I	1.01 [0.99,1.03]	8.39
Ostro, 2015	California Teachers Study	1.01 [0.97,1.05]	5.62
Pinault, 2016	CCHS-Mortality Cohort	1.26 [1.19,1.34]	3.4
Yin, 2017	Chinese men	1.09 [1.08,1.10]	9.42
Tseng, 2015	civil servants cohort	0.92 [0.72,1.17]	0.29
Villnueve, 2015	CNBSS	1.12 [1.05,1.20]	2.77
Carey, 2013	English national cohort	1.11 [0.98,1.26]	0.96
Beelen, 2014	ESCAPE	1.14 [1.03,1.27]	1.43
Bentayeb, 2015	Gazel	1.16 [0.98,1.36]	0.62
Lepeule, 2012	Harvard Six Cities	1.14 [1.07,1.22]	2.87
Puett, 2011	Health Professionals Follow-Up Study	0.86 [0.72,1.02]	0.55
Yang, 2018	HongKong elderly	1.06 [1.01,1.10]	4.67
Di, 2017	Medicare	1.08 [1.08,1.09]	9.5
Parker, 2018	NHIS	1.03 [0.99,1.08]	4.72
Hart, 2015	NHS	1.13 [1.05,1.22]	2.36
Thurston, 2016	NIH-AAARP	1.03 [1.01,1.06]	7.22
Beelen, 2008	NLCS-AIS	1.06 [0.97,1.16]	1.8
Badaloni, 2017	Rome longitudinal study	1.05 [1.02,1.08]	6.5
Hart, 2011	trucking companies	1.10 [1.02,1.18]	2.57
Bowe, 2018	U.S. veterans	1.08 [1.03,1.13]	4.42



RE Model

Q=216.9 (p<0.01); I² = 88.9%

Tabla 11: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad circulatoria y la concentración de PM_{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).

Mortalidad Circulatoria y PM _{2.5}			
Referencias	Estudio	Pesos (%)	RR [95% IC]
Crouse, 2015	1991CanCHEC	11.56	1.06 [1.04, 1.08]
Pinault, 2017	2001 CanCHEC	8.60	1.25 [1.19, 1.30]
Turner, 2016	ACS-CPS II	10.78	1.12 [1.09, 1.15]
Weichenthal, 2014	AHS	0.35	1.15 [0.76, 1,73]
Ostro, 2015	California Teachers Study	6.68	1.05 [0.99, 1.12]
Pinault, 2016	CCHS-Mortality Cohort	3.99	1.19 [1.07, 1.31]
Yin, 2017	Chinese men	12.16	1.09 [1.08, 1.10]
Tseng, 2015	civil servants cohort	0.15	0.80 [0.43, 1.49]
Villeneuve, 2015	CNBSS	2.35	1.32 [1.14, 1.52]
Carey, 2013	English national cohort	2.01	1.00 [0.55, 1.17]
Beelen, 2014	ESCAPE	1.75	0.98 [0.83, 1.16]
Bentayeb, 2015	Gazel	0.22	1.21 [0.72, 2.04]
Lepeule, 2012	Harvard Six Cities	3.90	1.26 [1.14, 1.40]
Yang, 2018	HongKong elderly	6.27	1.11 [1.04, 1.19]
Parker, 2018	NHIS	5.89	1.16 [1.08, 1.25]
Thurston, 2016	NIH-AAARP	8.67	1.10 [1.05, 1.15]
Beelen, 2008	NLCS-AIR	2.24	1.04 [0.90, 1.21]
Dehbi, 2017	NSHD, SABRE	0.04	1.30 [0.39, 4.34]
Badaloni, 2017	Rome Longitudinal Study	8.92	1.08 [1.03, 1.12]
Hart, 2011	trucking company	2.93	1.05 [0.93, 1.19]
Vedal, 2013	WHI-OS	0.52	1.31 [0.94, 1.83]
		100	1.11 [1.09, 1.14]
RE Model	Q=71.7 (p<0.01);τ ² = 1.3e-03; I ² = 72.1% (1.06,1.17)		

Tabla 12: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad respiratoria y la concentración de PM_{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).

Mortalidad Respiratoria y PM _{2.5}			
Referencias	Estudio	Pesos (%)	RR [95% IC]
Crouse, 2015	1991CanCHEC	9.43	0.95 [0.91, 0.98]
Pinault, 2017	2001 CanCHEC	8.38	1.22 [1.12, 1.32]
Turner, 2016	ACS-CPS II	9.18	1.16 [1.10, 1.22]
McDonnell, 2000	AHSMOG	4.41	1.23 [0.97, 1.55]
Ostro, 2015	California Teachers Study	7.98	0.99 [0.90, 1.09]
Pinault, 2016	CCHS-Mortality Cohort	5.39	1.52 [1.26, 1.84]
Villeneuve, 2015	CNBSS	3.28	0.82 [0.61, 1.11]
Carey, 2013	English national cohort	5.34	1.57 [1.30, 1.91]
Dimakopoulou, 2014	ESCAPE	1.36	0.79 [0.47, 1.34]
Bentayeb, 2015	Gazel	1.90	0.88 [0.57, 1.36]
Laden, 2006	Harvard six cities	3.03	1.08 [0.79, 1.48]
Yang, 2018	HongKong elderly	8.25	1.02 [0.93, 1.11]
Thurston, 2016	NIH-AAARP	8.75	1.05 [0.98, 1.13]
Beelen, 2008	NLCS-AIR	2.60	1.07 [0.75, 1.52]
Cesaroni, 2013	RoLS	9.15	1.03 [0.98, 1.09]
Kanoda, 2011	Three-prefecture Cohort Study	7.64	1.16 [1.04, 1.30]
Hart, 2011	truking company	3.93	1.18 [0.91, 1.53]
		100	1.19 [1.03, 1.18]
RE Model	Q=97.6 (p<0.01);τ ² = 7.1e-03; I ² = 83.6% (0.95, 1.29)		

Tabla 13: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad por cáncer pulmonar y la concentración de PM_{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a).

Cáncer pulmonar y PM _{2.5}			
Referencias	Estudio	Pesos (%)	RR [95% IC]
Cakmak, 2018	1991CanCHEC	3.21	1.29 [1.06, 1.57]
Pinault, 2017	2001 CanCHEC	12.26	1.16 [1.07, 1.25]
Turner, 2016	ACS-CPS II	15.63	1.09 [1.03, 1.16]
Weichenthal, 2014	AHS	0.23	0.75 [0.34, 1.65]
Mcdonnell, 2000	AH SMOG	0.43	1.39 [0.79, 2.46]
Lipsett, 2011	California Teachers Study	1.47	0.95 [0.70, 1.28]
Pinault, 2016	CCHS-Mortality Cohort	3.75	1.17 [0.98, 1.40]
Yin, 2017	Chinese men	21.68	1.12 [1.09, 1.16]
Villnueve, 2015	CNBSS	3.27	0.97 [0.80, 1.18]
Carey, 2013	English national cohort	1.96	1.11 [0.86, 1.44]
Lepeule, 2012	Harvard Six Cities	2.14	1.37 [1.07, 1.75]
Beelen, 2008	NLCS-AIR	1.93	1.06 [0.82, 1.38]
Cesaroni, 2013	RoLS	19.27	1.05 [1.01, 1.10]
Kanoda, 2011	Three-prefecture Cohort Study	9.03	1.24 [1.12, 1.37]
Hart, 2011	trucking company	3.74	1.05 [0.88, 1.26]
		100	1.12 [1.07, 1.16]
RE Model	Q=23.1 (p<0.01);τ ² = 3.5e-03; I ² = 39.4% (1.05, 1.18)		

Tabla 14: Estudios, riesgos relativos y pesos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre diversos efectos a la salud y la concentración de PM_{2.5} (efecto a largo plazo). Tabla adaptada y traducida desde (J. Chen & Hoek, 2020a)

Estimaciones del efecto agrupando estudios				
MP _{2.5}				
	número de estudios	RR agrupado por 10 µg/m ³	I ² (%)	Intervalo de predicción
Causa natural (no accidental)	25	1.08 (1.06, 1.09)	88.9	(1.05, 1.11)
Circulatoria	21	1.11 (1.09, 1.14)	72.1	(1.06, 1.17)
Enfermedad de las arterias coronarias	22	1.16 (1.10, 1.21)	77.5	(1.04, 1.29)
Accidente cerebrovascular	16	1.11 (1.04, 1.18)	84.7	(0.98, 1.25)
Respiratorio	17	1.10 (1.03, 1.18)	83.6	(0.95, 1.29)
EPOC	11	1.11 (1.05, 1.17)	49.6	(1.02, 1.21)
infecciones respiratorias agudas (IRA)	4	1.16 (1.01, 1.34)	83.0	(0.88, 1.54)
Cáncer Pulmonar	15	1.12 (1.07, 1.16)	39.4	(1.05, 1.18)

Los objetivos intermedios propuestos como pasos incrementales de una progresiva reducción en los niveles de $MP_{2.5}$ están destinados para áreas donde dichos niveles son altos. Entonces, la Tabla 15 muestra los niveles guía de calidad del aire anuales para $PM_{2.5}$ y los objetivos intermedios. Adicionalmente se incluye la mortalidad total en la población para los distintos objetivos intermedios estableciendo un número arbitrario de 100 al nivel de la guía ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Tabla 15. Estas proyecciones están basadas en un HR lineal de 1.08 por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en $PM_{2.5}$ para todas las muertes no accidentales. Adicionalmente, a mayores niveles de $PM_{2.5}$, la CRF puede dejar de ser lineal afectando los cálculos de mortalidad incluidos en este ejemplo.

Tabla 15: Niveles anuales recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para $PM_{2.5}$. Tabla adaptada y traducida desde (World Health Organization, 2021)

Niveles anuales recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para $PM_{2.5}$		
Recomendación	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mortalidad total
objetivo intermedio 1	35	124
objetivo intermedio 2	25	116
objetivo intermedio 3	15	108
objetivo intermedio 4	10	104
nivel recomendado de la guía de calidad del aire	5	100

2.1.2 Niveles de la guía de calidad del aire recomendada para $MP_{2.5}$ (corto plazo, 24h)

La evidencia epidemiológica usada para determinar los niveles recomendados fue publicada en una revisión (meta-analysis) en la revista Environment International (Orellano et al., 2020). Al igual que la guía de largo plazo, el criterio para la proposición de recomendaciones siguió el mismo proceso de 8 etapas:

- Primero, se evaluaron los estimados de riesgo relativo (RR) y, si estaban disponibles, las funciones respuesta - concentración (Concentration - Response Functions, CRFs). La revisión sistemática de (Orellano et al., 2020) para $MP_{2.5}$ y mortalidad no accidental reportó un **RR de 1.0065** (95% CI: 1.0044 - 1.0086) por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2.5}$ asumiendo relaciones lineales. Los autores no encontraron indicaciones de relaciones supralineales sugiriendo un riesgo más empinado a niveles de exposición más bajos. De acuerdo al sistema de clasificación GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), la evidencia fue considerada como alta y los CRFs fueron reportados para varios estudios. Las asociaciones persistieron a niveles bajos de $MP_{2.5}$, y el trabajo de (C. Liu et al., 2019a) provee evidencia de la forma de la curva a niveles bajos de $MP_{2.5}$ Figura 68.

- Segundo, se determinó el valor de exposición más bajo medido en los estudios de series temporales que, debido a las variaciones diarias de la concentración de $MP_{2.5}$, son generalmente muy bajos. Por lo tanto, los valores del percentil 5 de estas distribuciones diarias fueron reemplazadas por la identificación del percentil 99 de las distribuciones diarias de concentraciones correspondientes al promedio de la guía anual. Es decir, la guía de corto plazo se basó en la de largo plazo, para esto se utilizaron las distribuciones diarias en urbes del mundo que sugieren que el percentil 99 de las concentraciones diarias son cerca de 3 veces mayores a la concentración anual de $MP_{2.5}$ (C. Liu et al., 2019b).
- Tercero, se determinó el aumento mínimo relevante en el parámetro de salud medido.
- Cuarto, se determinó el punto de partida para el nivel de la guía como la concentración del percentil 99 explicado en el punto tercero.
- Quinto, se comparó el nivel de la guía de calidad del aire para todos los parámetros de salud críticos: mortalidad de causa específica. Los RR $MP_{2.5}$ asociados al aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fueron de 1.0092 (95% CI: 1.0061 - 1.0123), 1.0073 (95% CI: 1.0029 - 1.016) y 1.0072 (95% CI: 1.0012 - 1.0132) para mortalidad cardiovascular, respiratoria sin malignidad y cerebrovascular, respectivamente. La certidumbre de la evidencia para el efecto del $MP_{2.5}$ fue clasificada como alta para la mortalidad cardiovascular y moderada para la mortalidad respiratoria sin malignidad y mortalidad cerebrovascular. Con estos RR, la mortalidad de exceso inducida por un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2.5}$ en un día sería de 0.72-0.92%. Los datos obtenidos para la mortalidad de corto plazo apoyan una guía no mayor a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Sexto, se evaluó la certeza de la evidencia y se determinó que la evidencia asociando la concentración diaria (de corto plazo) de $MP_{2.5}$ y la variación de mortalidad es alta. Dicha asociación persiste a niveles de exposición bajos.
- Séptimo, se consideró nueva evidencia surgida entre el otoño del 2018 y se incluyó el estudio realizado por (C. Liu et al., 2019b) incluido en el meta análisis llevado a cabo por (Orellano et al., 2020). Los resultados de este nuevo estudio fueron similares a los obtenidos analizando estudios anteriores.
- Octavo, se reconsideró la evaluación de causalidad y dichos juicios respecto de la causalidad no cambiaron durante la evaluación de los estudios. Los resultados del metaanálisis se muestran en la Tabla 16.

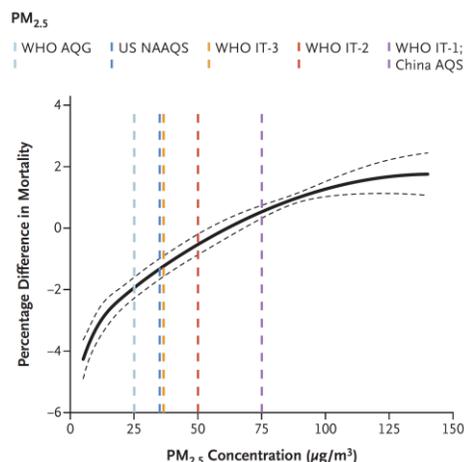


Figura 68 Relación entre la concentración de MP_{2.5} (exposición de corto plazo) y la diferencia en el porcentaje de mortalidad. Obtenido desde Liu et al. 2019. Percentage Difference in Mortality: Diferencia en el porcentaje de mortalidad donde cero se refiere al nivel promedio reportado en el estudio.

Tabla 16: Estudios y riesgos relativos de los diferentes estudios incluidos en el meta-análisis estudiando la asociación entre la mortalidad respiratoria y la concentración de PM_{2.5} (efecto a corto plazo). Tabla adaptada y traducida desde (Orellano et al., 2020). El PI o intervalo de predicción es un parámetro usado para estimar el intervalo en el cual el RR real yace al analizar diversos estudios epidemiológicos y representa la heterogeneidad entre dichos estudios.

Exposiciones, efectos y tamaños de efectos al agrupar diversos estudios.	Número de distintos tamaños de efectos	RR (95% CI)	p-value	PI (intervalo de predicción [80%])
mortalidad por todas las causas	29	1.0044 (1.0022-1.0066)	<0.0001	1.0017-1.0114
mortalidad cardiovascular	28	1.0065 (1.0044-1.0086)	<0.0001	1.0026-1.0158
mortalidad respiratoria	20	1.0092 (1.0061-1.0123)	0.0023	0.9998-1.0148
mortalidad cardiovascular	7	1.0073 (1.0029-1.0116)	0.0257	0.9953-1.0192

Los **objetivos intermedios propuestos como pasos incrementales de una progresiva reducción en los niveles de MP_{2.5}** están destinados para áreas donde dichos niveles son altos. Entonces, la Tabla 17 muestra los niveles guía de calidad del aire diarios para MP_{2.5} y los objetivos intermedios. Adicionalmente se incluye la mortalidad total en la población para los distintos objetivos intermedios estableciendo un número arbitrario de 100 al nivel de la guía (15 µg/m³). Estas proyecciones están basadas en un HR lineal de 1.0065 por cada 10 µg/m³ de aumento en MP_{2.5} para todas las muertes no accidentales. Adicionalmente, a mayores niveles de MP_{2.5}, la CRF puede dejar de ser lineal afectando los cálculos de mortalidad incluidos en este ejemplo.

Tabla 17: niveles (24h) recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para PM_{2.5}. Tabla adaptada y traducida desde (World Health Organization, 2021).

Niveles de corto plazo (24h) recomendados en la guía de calidad del aire y objetivos intermedios para PM _{2.5}		
Recomendación	PM _{2.5} (µg/m ³)	Mortalidad total
objetivo intermedio 1	75	104
objetivo intermedio 2	50	102
objetivo intermedio 3	37.5	101
objetivo intermedio 4	25	101
nivel recomendado de la guía de calidad del aire	15	100

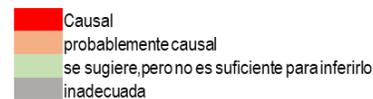
2.2 Evaluación Integral de la Ciencia para el Material Particulado (PM ISA, US. EPA.)

El informe PM ISA es significativamente detallado y extenso y sus 1.967 páginas se dividen en capítulos evaluando/abarcando: 1) el resumen ejecutivo, 2) una síntesis integral, 3) fuentes, química atmosférica y concentraciones ambientales, 4) exposición al material particulado ambiental, 5) dosimetría del material particulado, 6) efectos respiratorios, 7) efectos cardiovasculares, 8) efectos metabólicos, 9) efectos al sistema nervioso, 10) efectos reproductivas y del desarrollo, 10) cáncer, 11) mortalidad, 12) poblaciones y etapas de vida que potencialmente tiene un aumento de riesgo a los efectos en la salud del material particulado, y 13) efectos al bienestar.

La siguiente tabla resume las determinaciones de causalidad para la exposición a material particulado sus efectos en la salud comparando el PM ISA publicado el año 2009 y el actual.

Tabla 18: Determinaciones de causalidad para diversos efectos de distintas fracciones de material particulado. Tabla adaptada y traducida desde (U.S. EPA., 2019).

			Determinaciones de Causalidad		
			Fracción	PM ISA 2009	PM ISA actual
	efectos respiratorios	Exposición de corto plazo	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
	efectos cardiovasculares	Exposición de largo plazo	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
	efectos metabólicos	Exposición de corto plazo	PM _{2.5}	-	
			PM _{10-2.5}	-	
			UFP	-	
	efectos al sistema nervioso central	Exposición de largo plazo	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
	efectos reproductivos y del desarrollo	reproducción masculina/emenina y fertilidad	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
	cancer	consecuencias en el embarazo y el nacimiento	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
	mortalidad	Exposición de corto plazo	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		
		Exposición de largo plazo	PM _{2.5}		
			PM _{10-2.5}		
			UFP		



De acuerdo a la evaluación de la PM ISA, de todas las fracciones de MP evaluadas, la evidencia científica más substancial respaldando relaciones entre exposición (corto o largo plazo) y efectos en la salud es el $MP_{2.5}$ y las determinaciones de causalidad reflejan el total del cuerpo de la evidencia científica sobre la base de las conclusiones presentadas en la versión 2009 de la PM ISA. La ISA detalla la determinación “causal” o “probablemente causal” reflejando el más alto grado evidencia en la relación exposición – efecto en la salud donde la influencia de factores de confusión y sesgos es mínima. Las determinaciones causales para las cuales existe un alto grado de incerteza o limitada información entre la relación exposición – efecto en la salud – son “se sugiere, pero no es suficiente para inferirlo” e “inadecuada”. A continuación, se exponen las conclusiones generadas en el actual PM ISA sólo para aquellas relaciones donde se llegó a la determinación “causal” y/o “probablemente causal”.

2.2.1 Efectos Respiratorios

Tal como en el PM ISA del 2009, el actual ISA concluye que existe una relación probablemente causal entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y efectos respiratorios. Estudios epidemiológicos recientes continúan proveyendo amplia evidencia acerca de la relación entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y varias mediciones de salud respiratorias, incluyendo exacerbaciones de asma y de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), enfermedades respiratorias y particularmente de estudios examinando visitas a urgencias y admisiones hospitalarias. Las asociaciones positivas y consistentes observadas para visitas de urgencia por asma y EPOC han sido reportadas para múltiples estudios usando diferentes aproximaciones para controlar la influencia de variables de confusión ambientales (por ejemplo, la temperatura), y apoyadas por evidencia en el aumento de síntomas y uso de medicamentos que indican exacerbaciones. Estudios toxicológicos en animales de exposición de corto plazo al $MP_{2.5}$ proveen coherencia y plausibilidad biológica para las exacerbaciones de asma y EPOC al demostrar respuestas relacionadas con el asma en modelos animales de alergia en la vías respiratorias y aumento de daño pulmonar e inflamación en modelos animales de EPOC. La evidencia toxicológica en modelos animales sanos demuestra alteraciones en el sistema inmunológico, susceptibilidad aumentada a infecciones bacterianas, efectos irritantes en las vías aéreas, y otros. Estudios de exposición controlada en humanos proveen evidencia mínima de efectos de corto plazo al $PM_{2.5}$ tales como decrementos en la función pulmonar e inflamación pulmonar, aunque estos estudios están limitados por los parámetros evaluados y el número y estado de salud de los sujetos estudiados. Estudios epidemiológicos recientes examinan el potencial efecto de confusión generado por co-contaminantes e indican que la asociación del $PM_{2.5}$ y las exacerbaciones del asma, enfermedades respiratorias y mortalidad respiratoria permanecen en modelos que incluyen contaminantes gaseosos (O_3 , NO_2 , SO_2 , etc) y otras fracciones de diferente tamaño ($MP_{2.5-10}$). Los resultados de los estudios de co-contaminantes y de toxicología animal apoyan la idea de

un efecto independiente del $MP_{2.5}$ en la salud respiratoria. La evidencia de asociaciones positivas y consistentes entre el $MP_{2.5}$ y la mortalidad respiratoria respalda un continuo de efectos respiratorios.

El PM ISA del 2009, el actual ISA concluye que existe una relación probablemente causal entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y efectos respiratorios. Existe evidencia contundente en múltiples cohortes en distintas locaciones, con distintos métodos de evaluación, y periodos temporales que han reportado la asociación entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y el desarrollo de efectos respiratorios. Adicionalmente, y aunque más limitados, también existen estudios epidemiológicos indicando asociaciones entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y el desarrollo de asma en niños, prevalencia de asma, sibilancia infantil e inflamación pulmonar. Estudios toxicológicos en animales han demostrado alteraciones en el desarrollo pulmonar, resultante de la exposición pre- y post- natal al $MP_{2.5}$ y el desarrollo de fenotipos alérgicos y aumento en la sensibilidad de las vías respiratorias luego de la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ proveyendo plausibilidad biológica para estos hallazgos. Sólo existen evaluaciones limitadas evaluando el potencial de co-contaminantes como factor de confusión en parámetros de morbilidad respiratoria, pero estudios en animales han evaluado, parcialmente, la independencia de los efectos del $MP_{2.5}$ al demostrar la capacidad del $MP_{2.5}$ para inducir estrés oxidativo, inflamación y cambios morfológicos en las vías respiratorias altas y bajas. Este amplio cuerpo de evidencia experimental indicando efectos respiratorios del $MP_{2.5}$ en poblaciones sanas generalmente proveen plausibilidad biológica para efectos respiratorios en asociación con la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$. Evidencia epidemiológica adicional indica la aceleración del declive en la función pulmonar de adultos, y también evidencia consistente en mortalidad respiratoria proveyendo un continuo de efectos en respuesta a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$. La relación entre la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ y efectos respiratorios es respaldada por estudios epidemiológicos demostrando la asociación entre el aumento en función pulmonar (en niños y adultos) y la disminución de síntomas asociados con la bronquitis (en niños) y la reducción de las concentraciones de $MP_{2.5}$.

2.2.2 Efectos Cardiovasculares

Tal como en el PM ISA del 2009, el actual ISA concluye que existe una relación causal entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y efectos cardiovasculares. La evidencia más contundente proviene de estudios epidemiológicos que reportan consistentemente asociaciones positivas entre exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y visitas de urgencia / admisiones hospitalarias relacionadas con causas cardiovasculares en estudios que han usado diferentes aproximaciones para controlar los efectos de variables de confusión (temperatura), particularmente para enfermedad de las arterias coronarias (también llamada enfermedad de corazón isquémico), insuficiencia cardíaca, y mortalidad relacionada con causas cardiovasculares. Análisis recientes

del posible efecto de confusión generado por otros co-contaminantes generalmente indican que las asociaciones observadas entre el $MP_{2.5}$ y efectos cardiovasculares en modelos de contaminante único permanecen relativamente constantes en modelos multi-contaminantes evidenciando que las asociaciones observadas no son artefactos. La independencia del efecto cardiovascular del $MP_{2.5}$ es respaldado por estudios experimentales recientes. La exposición controlada de humanos demuestra cambios en la función endotelial inducida por exposición a $MP_{2.5}$ de manera coherente a estudios toxicológicos en animales. Adicionalmente estudios experimentales han reportado disminución en la contractilidad cardíaca y alteraciones en la presión del ventrículo izquierdo coherente con estudios epidemiológicos observando asociaciones positivas entre los niveles de $MP_{2.5}$ y visitas de urgencia por insuficiencia cardíaca. El cuerpo colectivo de evidencia experimental respalda la plausibilidad biológica para los estudios epidemiológicos que reportan asociaciones entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y efectos como la enfermedad de las arterias coronarias y la insuficiencia cardíaca; y también otros efectos cardiovasculares como arritmias y trombosis que pueden gatillar cuadros más graves incluyendo la muerte.

Tal como en el PM ISA del 2009, el actual ISA concluye que existe una relación causal entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y efectos cardiovasculares. Estudios epidemiológicos recientes de múltiples cohortes provenientes de Estados Unidos y reanálisis de estos cohortes entregan evidencia contundente de asociaciones positivas y consistentes entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y mortalidad cardiovascular. Estos estudios han usado una gran variedad de evaluaciones de exposición y técnicas estadística examinando múltiples dominios espaciales en muchos lugares donde el promedio anual de concentraciones $MP_{2.5}$ son menores o iguales a $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estudios epidemiológicos recientes de morbilidad cardiovascular han expandido el cuerpo de evidencia disponible en el PM ISA del 2009 al enfocarse en poblaciones con características demográficas distintivas (por ejemplo, mujeres post-menopausicas) y considerando extensivamente la influencia de posibles factores de confusión (por ejemplo, es estatus socio-económico). Aunque un análisis extendido de la cohorte WHI (Women's Health Initiative) respaldó la observación inicial entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y eventos coronarios en mujeres durante la posmenopausia, cohortes adicionales en mujeres y similares al WHI no reportan asociaciones positivas consistentes con la enfermedad de las arterias coronarias, infartos al miocardio o infartos cerebrales.

Estudios longitudinales examinando la progresión de la aterosclerosis y la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ reportaron resultados inconsistentes, sin embargo, se encontró evidencia entre la exposición y calcificación de las arterias coronarias (un predictor de la enfermedad de las arterias coronarias) en un estudio enfocado en la progresión de la aterosclerosis en la población sana (MESA-Air, Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution). Un limitado número de estudios epidemiológicos examinando otros efectos cardiovasculares proveen evidencia de asociaciones con la frecuencia cardíaca, presión sanguínea e hipertensión y otros marcadores

cardiovasculares sub-clínicos. Estudios recientes también reducen la incerteza respecto de potencial efecto de confusión de co-contaminantes al demostrar que las asociaciones entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad cardiovascular permanece relativamente estable o aumentada en modelos ajustados por otros contaminantes (O_3 , NO_2 , SO_2 y $MP_{2.5-10}$). Evidencia de estudios toxicológicos en animales respaldan un efecto directo del $MP_{2.5}$ en el sistema cardiovascular siendo coherentes con los efectos observados a nivel epidemiológico. Por ejemplo, estudios en animales han demostrado un aumento en el grosor de la pared arterial, disminución en la contractilidad cardíaca y cambios en la presión sanguínea coherente con estudios epidemiológicos de insuficiencia cardíaca. Considerando el cuerpo de evidencia colectivo, existen vías biológicas plausibles por las cuales la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ podría conducir a un continuo de efectos que resultarían letales.

2.2.3 Efectos al Sistema Nervioso

El PM ISA del 2009 no realizó una determinación de causalidad para la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ y efectos en el sistema nervioso debido a la escasez de datos disponibles. Desde aquello, la literatura disponible se ha expandido y la combinación de evidencia toxicológica y epidemiológica respalda una determinación probablemente causal entre la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ y efectos al sistema nervioso. Estudios toxicológicos en animales proveen evidencia para un amplio rango de efectos incluyendo neuroinflamación y estrés oxidativo, neurodegeneración, efectos cognitivos, y efectos en el neuro-desarrollo. Estudios epidemiológicos, aunque más limitados en número, generalmente respaldan la asociación entre exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y cambios en la morfología cerebral, disminución cognitiva y demencia. La evidencia experimental y epidemiológica es coherente y respalda la existencia de vías que involucran la neuroinflamación en regiones específicas del cerebro (hipocampo, corteza cerebral e hipotálamo) y cambios morfológicos indicativos de neurodegeneración. La evaluación limitada de variables de confusión como co-contaminantes deriva en incertezas a la hora de interpretar los estudios epidemiológicos, pero es – en parte – atenuada por la evidencia directa observada en estudios usando animales de experimentación. Además de los efectos al sistema nervioso observados principalmente en adultos, existe evidencia epidemiológica limitada de efectos en el neurodesarrollo, específicamente en el trastorno del espectro autista (TEA) a través de estudios demostrando que la exposición a $MP_{2.5}$ induce cambios inflamatorios y morfológicos en regiones del cerebro consistentes con el TEA.

2.2.4 Cáncer

El PM ISA del 2009 concluyó que la causalidad entre la exposición de largo plazo al $MP_{2.5}$ y el cáncer se sugiere, pero no es suficiente para inferirlo. Sobre la base de décadas de investigación acerca de los efectos de la exposición a material particulado, evidencia presentada en el PM ISA del 2009

y evidencia experimental y epidemiológica reciente indicando genotoxicidad, efectos epigenéticos (como la hipo e hiper metilación del DNA), y potencial carcinogénico debido a la exposición a $MP_{2.5}$ de la mano de evidencia epidemiológica contundente entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y mortalidad e incidencia por cáncer pulmonar, el actual PM ISA respalda una relación probablemente causal entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y cáncer. El $MP_{2.5}$ exhibe características típicas de cancerígenos demostrando efectos genotóxicos (de daño al ADN), alteraciones epigenéticas, estrés oxidativo y electrofilicidad. Los estudios de desarrollo de cáncer se han enfocado mayoritariamente en el total de material particulado y no en fracciones individuales o componentes frecuentemente encontrados en el $MP_{2.5}$ (por ejemplo, cromo hexavalente o arsénico). El test de Ames - que revela la mutagenicidad en cultivos celulares bacterianos o mamíferos - ha demostrado la presencia de agentes mutágenos en $MP_{2.5}$ y/o extractos de este. Estudios toxicológicos in vitro e in vivo han demostrado el potencial del $MP_{2.5}$ para inducir daño al ADN que es respaldado por limitada evidencia en humanos. Efectos citogenéticos (por ejemplo, aberraciones cromosomales) y la expresión diferencial de genes potencialmente relevantes en procesos genotóxicos o patogénicos relacionados con el cáncer también han sido demostrados. También existe evidencia limitada indicando cambios celulares y moleculares que podrían gatillar inestabilidad genómica y potencial carcinogénico asociado a la exposición al $MP_{2.5}$ (aumento en la formación de tumores en animales tratados con uretano). La evidencia experimental y epidemiológica de genotoxicidad, efectos epigenéticos y potencial carcinogénico provee plausibilidad biológica. Múltiples estudios epidemiológicos desarrollados en diversas cohortes (diversa cobertura geográfica, y demografía poblacional) reportan principalmente asociaciones positivas y consistentes entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ e incidencia y mortalidad por cáncer pulmonar, especialmente en personas que nunca han fumado. En la limitada bibliografía disponible que evalúa el potencial de confusión para co-contaminantes, la incidencia y mortalidad de cáncer pulmonar inducida por exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ fue relativamente preservada en modelos que incluían al ozono.

2.2.5 Mortalidad

El PM ISA del 2009 y el actual concluyeron que existe una relación causal entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad total (no-accidental). Estudios multi-ciudad llevados a cabo en Estados Unidos, Canadá, Europa y Asia en combinación con estudios revisados en el PM ISA del 2009 continúan respaldando de manera consistente la asociación positiva entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad total. La asociación positiva reportada a través de múltiples estudios refleja el uso de análisis de monitores ambientales tradicionales y análisis llevados a cabo en áreas urbanas y rurales que utilizan nuevas métricas de exposición (que incluyen múltiples fuentes de datos como monitores ambientales, modelos estadísticos e imágenes satelitales). Estudios recientes también han estudiado en mayor detalle la evaluación de potenciales factores de confusión (como co-contaminantes y otros como factores climáticos, o concentraciones de

MP_{2.5} en plazos largos). Estos análisis indican que la mortalidad asociada a la exposición a MP_{2.5} permanece relativamente inalterada en modelos que incluyen contaminantes gaseosos, MP_{2.5-10} y otros posibles factores de confusión. Las asociaciones positivas para la mortalidad total son respaldadas por asociaciones positivas para mortalidad debido a causas específicas (mortalidad inducida por causas cardiovasculares y respiratorias). La coherencia y consistencia en los hallazgos a través de distintas disciplinas científicas (en particular para morbilidad cardiovascular – eventos isquémicos e insuficiencia cardíaca – y morbilidad respiratoria – con evidencia substancial para exacerbación de las EPOC y asma) provee plausibilidad biológica para la mortalidad inducida por causas específicas y últimamente para la mortalidad total. Estudios recientes reducen la probabilidad del eventual rol de factores de confusión en la relación entre la exposición de corto plazo al MP_{2.5} y la mortalidad total.

El PM ISA del 2009 y el actual concluyeron que existe una relación causal entre la exposición de largo plazo a MP_{2.5} y la mortalidad total (no-accidental). Reanálisis adicionales, extensiones de cohortes establecidas (American Cancer Society [ACS] y Harvard Six Cities) y cohortes nuevas incluyendo a los participantes del programa Medicare, población canadiense, y trabajadores (profesores, enfermeras, etc) respaldan la asociación entre la exposición de largo plazo a MP_{2.5} y la mortalidad total, particularmente en áreas con una concentración promedio anual que supera los 20 µg/m³ y en algunos casos bajo los 12 µg/m³. Las asociaciones positivas persisten de manera independiente a las aproximaciones para asignar la exposición (monitores ambientales, modelamiento o datos satelitales), la presencia de co-contaminantes en los modelos (particularmente para el O₃ y evidencia limitada para el NO₂ y el MP_{2.5-10}), a través de estudios que controlan diversas variables individuales y ecológicas tal como estatus de fumador o estatus socio-económico. La evidencia para la mortalidad total es respaldada por asociaciones positivas con la mortalidad de causa específica (incluyendo mortalidad cardiovascular, respiratoria y por cáncer pulmonar). La coherencia de efectos a través de diversas disciplinas científicas para morbilidad cardiovascular (insuficiencia cardíaca), accidentes cerebrovasculares y aterosclerosis, y morbilidad respiratoria por el desarrollo de EPOC respaldan la plausibilidad biológica para la asociación entre la exposición de largo plazo al MP_{2.5} y la mortalidad. Adicionalmente, estudios recientes han demostrado aumento en la expectativa de vida debido a la disminución de las concentraciones de largo plazo de MP_{2.5} respaldando los hallazgos expuestos.

Adicionalmente el PM ISA actual incluye un capítulo destinado a poblaciones y etapas de vida que potencialmente tiene un aumento de riesgo a los efectos en la salud del material particulado. El objetivo de este capítulo es considerar etapas de vida, poblaciones (por ejemplo, niños o personas con enfermedades preexistentes) o aquellos con ciertas condiciones sociodemográficas (por ejemplo, de bajo estatus socioeconómico) para concluir si estos grupos pueden estar bajo un riesgo elevado de presentar un efecto adverso a la salud como consecuencia de la exposición a material particulado. La caracterización de la evidencia para factores que potencialmente

aumentan el riesgo de los efectos en la salud del material particulado se muestra en la siguiente Tabla 19

Tabla 19: Caracterización de la evidencia para factores que potencialmente aumentan el riesgo de los efectos en la salud del material particulado. Tabla adaptada y traducida desde (U.S. EPA., 2019).

Clasificación	Efectos en la salud
Evidencia adecuada	Existe una evidencia substancial y consistente dentro de una disciplina para concluir que el factor resulta en que una población o estado de vida presente un aumento de riesgo a los efectos del contaminante cuando es comparada con alguna población o estado de vida de referencia. Cuando sea aplicable, esta evidencia incluye coherencia con otras disciplinas. La evidencia incluye múltiples estudios de alta calidad
Evidencia sugestiva	La evidencia colectiva sugiere que un factor resulta en el aumento de riesgo a los efectos del contaminante en una población o estado de vida relativo a una población/ estado de vida de referencia. La evidencia es limitada debido a algunas inconsistencias dentro de una disciplina o a la falta de coherencia entre disciplinas.
Evidencia inadecuada	La evidencia colectiva es inadecuada para sugerir que un factor resulta en el aumento de riesgo a los efectos del contaminante en una población o estado de vida relativo a una población / estado de vida de referencia. Los estudios disponibles son insuficientes en cantidad, calidad o consistencia y / o el poder estadístico es insuficiente para establecer alguna conclusión.
Evidencia de ausencia de efecto	Existe una evidencia substancial y consistente dentro de una disciplina para concluir que el factor no resulta en que una población o estado de vida presente un aumento de riesgo a los efectos del contaminante cuando es comparada con alguna población o estado de vida de referencia. Cuando sea aplicable, esta evidencia incluye coherencia con otras disciplinas. La evidencia incluye múltiples estudios de alta calidad

2.3 Condiciones / enfermedades preexistentes

Aquellos que poseen enfermedades o condiciones preexistentes pueden presentar un riesgo elevado – en comparación con aquellos sanos - a los efectos adversos del material particulado. Dicha elevación se origina debido a un estado biológico comprometido que varía dependiendo de la enfermedad y/o la severidad de alguna condición. El PM ISA del 2009 concluyó que aquellos con enfermedades cardiovasculares o respiratorias preexistentes son generalmente más susceptibles a los efectos asociados con la exposición a material particulado, en cambio la evidencia en diabéticos y obesos era limitada. Diversos estudios recientes han evaluado la

modificación de la medida del efecto de la exposición a material particulado por una enfermedad preexistente o condición enfocándose en la preexistencia de enfermedades cardiovasculares, diabetes y síndrome metabólico, obesidad, colesterol elevado, y enfermedades respiratorias.

2.3.1 Enfermedades cardiovasculares: evidencia sugestiva

La hipertensión es la enfermedad cardiovascular más comúnmente examinada en los estudios epidemiológicos que llevaron a cabo análisis de estratificación. Puett et al., 2009 analizando la mortalidad en el estudio de salud de enfermeras (Nurses' Health Study) no encontró que las asociaciones difirieran dependiendo de la condición de hipertensión, pero si encontró que la fatalidad inducida por la enfermedad de las arterias coronarias (Coronary Heart Disease, CHD) aumentaba en aquellos con hipertensión. Estudios examinando la asociación entre $MP_{2.5}$ y accidentes cardiovasculares isquémicos y diabetes no encontraron evidencia indicando un aumento de riesgo en hipertensos (H. Chen et al., 2013; Hansen et al., 2016; O'Donnell et al., 2011; Wellenius, Burger, et al., 2012). Respecto a indicadores subclínicos de enfermedades cardiovasculares, (Auchincloss et al., 2008; Krishnan et al., 2012) analizando el estudio MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) encontraron que los efectos de la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ fueron mayores en aquellos con hipertensión. De manera similar, (Wellenius et al., 2013) en un estudio con adultos mayores reportó que aquellos con hipertensión presentaban mayores aumentos (inducidos por $MP_{2.5}$) en resistencia cerebrovascular (parámetro relacionado con accidentes cerebrovasculares y condiciones neurológicas). Hajat et al., 2015; Ostro et al., 2014 reportaron que las asociaciones entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y marcadores de inflamación sistémica como la interleuquina-6 y la proteína C reactiva (CRP) eran más robustas en hipertensos. Estudios recientes han explorado si las personas con enfermedad de las arterias coronarias poseen un riesgo elevado de efectos a la salud inducido por la exposición a material particulado. Viehmann et al., 2015 analizó un estudio realizado en Alemania (Heinz Nixdorf Recall Study, que incluyó personas de 45-75 años provenientes desde el área Ruhr) y reportó mayores efectos en aquellos con enfermedad de las arterias coronarias. Por otro lado, (Hertel et al., 2010) reportó asociaciones positivas entre exposición a partículas y CRP que no fueron exacerbadas en personas con enfermedad de las arterias coronarias. Los estudios de exposición experimental controlada son limitados, por ejemplo, (Vieira et al., 2016) no encontró diferencias significativas en las respuestas a exposición de partículas provenientes de la combustión de diesel entre aquellos con insuficiencia cardíaca y sanos. Diferentes estudios en modelos de ratas hipertensas han medido respuestas pulmonares inflamatorias después de exposiciones a CAPs (concentrated ambient particles), pero la ausencia de comparaciones con ratas normotensas limita la utilidad de estos estudios para establecer efectos diferenciales en enfermedades cardiovasculares preexistentes (Campen et al., 2006; Cassee et al., 2005; Kodavanti et al., 2005; Lei et al., 2004; Rohr et al., 2010).

2.3.2 Diabetes y síndrome metabólico preexistente: evidencia inadecuada

Aunque numerosos estudios han examinado si el estatus de diabetes modifica las asociaciones entre la mortalidad y la exposición a $MP_{2.5}$, existe poca evidencia de que esto ocurra tanto para exposiciones de corto o largo plazo a $MP_{2.5}$. Estudios de exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ reportan pequeñas variaciones en la asociación con estimaciones generalmente imprecisas y cambios pequeños en el riesgo (Pope et al., 2015; Puett et al., 2009; M. Wang et al., 2016). (Y. Wang et al., 2017) observó un aumento en el riesgo de mortalidad asociada con la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ en pacientes del programa Medicare que tenían historial de admisión hospitalaria por diabetes. Goldberg et al., 2013, analizando la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$, reportó un pequeño aumento en el riesgo de mortalidad no accidental en diabéticos (en comparación con toda la población analizada). Otros estudios han analizado si la diabetes modifica la medida del efecto para diferentes parámetros cardiovasculares y la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$. Estudios de hipertensión y enfermedades cardíacas auto-reportadas encontraron poca evidencia de diferencias entre individuos con y sin diabetes (Hoffmann, Moebus, Kröger, et al., 2009; Johnson & Parker, 2009). En cambio, (Chan et al., 2015; Fuks et al., 2011) reportaron mayores cambios de la presión sanguínea asociada a la exposición a $MP_{2.5}$ en aquellos con diabetes, sin embargo, las diferencias fueron pequeñas e imprecisas. (Hart et al., 2015) en un estudio realizado con mujeres (Nurses' Health Study) reportó asociaciones positivas entre exposición e incidencia de enfermedades cardiovasculares en personas diabéticas, no así en personas no diabéticas. (H. Chen et al., 2014) reportó un aumento en el riesgo de hipertensión solo en diabéticos, aunque dichos estimados fueron imprecisos. Respecto a exposiciones de corto plazo a $MP_{2.5}$, (O'Donnell et al., 2011) en un estudio canadiense reportó una asociación positiva entre la admisión hospitalaria por accidentes cerebrovasculares isquémicos sólo en aquellos con diabetes. (Hoffmann et al., 2012) en un estudio realizado en Boston reportó un aumento en la presión sanguínea solo en aquellos con un inadecuado control de la diabetes, este efecto no se observó en aquellos que un control adecuado de la diabetes. En el estudio MESA, (Allen et al., 2009) reportó asociaciones positivas entre la exposición a $MP_{2.5}$ (promedios de dos años) y riesgo elevado de calcificación (característica de la aterosclerosis) en individuos con diabetes. Para el mismo estudio (MESA), (Diez Roux et al., 2008) no reportó diferencias (entre diabéticos y no diabéticos) en las asociaciones entre el promedio de $MP_{2.5}$ (de 20 años) y parámetros de aterosclerosis. (Bauer et al., 2010) encontró una asociación débil entre la exposición a $MP_{2.5}$ y el grosor de la carótida intima media (carotid intima-media thickness, CIMT) solo en aquellos con diabetes.

2.3.3 Obesidad: evidencia sugestiva

Varios estudios han reportado diferencias en la asociación entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y marcadores subclínicos cardiovasculares e inflamatorios entre participantes obesos y no-obesos (Dubowsky et al. 2006, Schwartz et al. 2005, Bennett and Zeman, 2004). Estudios recientes

en EEUU, Canadá y Europa han reportado una tendencia de riesgo elevado entre aquellos con sobrepeso o en estado de obesidad (Beelen, Raaschou-Nielsen, et al., 2014; Beelen, Stafoggia, et al., 2014; Puett et al., 2009; Villeneuve et al., 2015; Weichenthal et al., 2014b), pero los estimados son imprecisos. Por otro lado, (Turner et al., 2011) reportó riesgos menores en personas con sobrepeso y asociaciones negativas en obesos y (L. Pinault et al., 2016) observó tendencias en esta misma dirección. En algunas cohortes europeas se ha reportado que la asociación entre la exposición a $MP_{2.5}$ y la mortalidad respiratoria disminuye con el aumento en el índice de masa corporal (BMI) y lo contrario ocurre para la mortalidad total y cardiovascular (Beelen, Raaschou-Nielsen, et al., 2014; Beelen, Stafoggia, et al., 2014; Dimakopoulou et al., 2014). En general, poca evidencia respalda diferencias en el riesgo de efectos cardiovasculares entre personas obesas y no obesas. (H. Chen et al., 2014) reportó una disminución en el riesgo de hipertensión en obesos al estudiar los efectos de la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$, por el contrario, (Hart et al., 2015) reportó un aumento en el riesgo de incidencia de enfermedades cardiovasculares. Otros estudios analizaron asociaciones entre cambios en la presión sanguínea y la exposición de largo plazo (Chan et al., 2015; Fuks et al., 2011) y de corto plazo (Hoffmann et al., 2012; Wellenius, Wilhelm-Benartzi, et al., 2012) al $MP_{2.5}$ sin observar patrones consistentes asociados a la condición de obesidad. (Hoffmann, Moebus, Kröger, et al., 2009; Johnson & Parker, 2009) no encontraron riesgos elevados en obesos al estudiar prevalencia de enfermedades cardíacas y aterosclerosis. Otros estudios evaluando la modificación del efecto del $MP_{2.5}$ debido a obesidad analizando marcadores de inflamación y coagulación, (Hertel et al., 2010; Hoffmann, Moebus, Dragano, et al., 2009) no reportaron cambios y (Ostro et al., 2014) reportó aumentos en la CRP para mujeres obesas, aunque con estimados poco precisos. Enfocándose en otros marcadores probablemente modificados por la obesidad, Chen et al. 2013 reportó un menor riesgo de desarrollar diabetes en obesos, por el contrario, (Hansen et al., 2016; Weinmayr et al., 2015) en estudios desarrollados en Dinamarca y Alemania reportaron un aumento de riesgo en obesos.

2.3.4 Colesterol elevado: evidencia inadecuada

Puett et al., 2009 analizó el potencial de modificación de los efectos del $MP_{2.5}$ por el estatus de hipercolesterolemia. En el análisis estratificado se reportó el aumento en el riesgo de mortalidad en aquellos con hipercolesterolemia. (Gardner et al., 2014), en un estudio pequeño usando un subgrupo de casos fatales por enfermedad de las arterias coronarias observó asociaciones positivas en pacientes con historial dislipidémico. Estudios adicionales basándose en el uso de medicación para reducir la concentración de lípidos en la sangre (estatinas) han reportado el aumento de riesgo de aterosclerosis asociado a la exposición de $MP_{2.5}$ entre aquellos usando estatinas (Allen et al., 2009; Bauer et al., 2010; Künzli et al., 2010). (Krishnan et al., 2012) analizando la cohorte MESA observó asociaciones positivas entre el diámetro arterial en aquellos usando estatinas.

2.3.5 Enfermedades respiratorias preexistentes: evidencia sugestiva

Asma: Existe evidencia epidemiológica limitada analizando de manera estratificada respuestas en asmáticos. (Prieto-Parra et al., 2017; Watanabe et al., 2015) reportaron asociaciones positivas exacerbadas entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y reducción de la función pulmonar en niños con asma preexistente. En adultos, (Klümper et al., 2015; Turner et al., 2011) reportaron que la mortalidad por cáncer pulmonar asociada a $MP_{2.5}$ era mayor en las personas con asma. (H. Chen et al., 2013) reportó que los asmáticos presentan una pequeña disminución en el riesgo de desarrollar diabetes asociada a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC): Existe evidencia limitada examinando riesgos diferenciales en personas con EPOC y la mayoría de los estudios se han enfocado en efectos cardiovasculares. (Turner et al., 2011; Y. Wang et al., 2017) reportaron riesgos aumentados de mortalidad asociada a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ en personas con EPOC. Sin embargo, múltiples estudios adicionales analizando efectos como hospitalizaciones por motivos cardiovasculares, hipertensión, y diabetes no reportan de manera consistente que las personas con EPOC posean riesgos elevados asociado a exposiciones de corto y largo plazo a $MP_{2.5}$ (Belleudi et al., 2010; Bunch et al., 2011; H. Chen et al., 2013, 2014; Haley et al., 2009; Rich et al., 2010).

2.3.6 Factores genéticos: evidencia sugestiva

Debido a que el glutatión es una de las defensas antioxidantes primarias en el cuerpo con el fin de protegerlo contra los efectos del estrés oxidativo, variantes genóticas del glutatión transferasa (GSTM1) han sido estudiadas ya que se ha evaluado la capacidad del material particulado para promover estrés oxidativo. Se ha reportado que aquellos con genotipos GSTM1 nulo poseen un riesgo elevado a los efectos cardiovasculares asociados a la exposición a $MP_{2.5}$ (Chahine et al., 2007; Schneider et al., 2008; Schwartz et al., 2005). Hampel et al., 2010 reportó que la asociación entre la exposición a material particulado y cambios en la variabilidad de la frecuencia cardiaca era mayor en las personas con una variante del gen NFE2L2 (que codifica la proteína NRF2 involucrada en la respuesta antioxidante). B. Y. Chen et al., 2016 reportó que estudiantes con el genotipo GSTM nulo tenían respuestas inflamatorias (leucocitos y neutrófilos en el lavado nasal) exacerbadas a $MP_{2.5}$. Similarmente, (Breton et al., 2011) reportó una menor disminución en variables respiratorias asociadas a la exposición a $MP_{2.5}$ (la capacidad pulmonar vital forzada [FVC]) en niños con un haplotipo del gen GSS (glutatión sintetasa). Fuertes et al., 2013 llevó a cabo un análisis de seis cohortes en Europa y reportó asociaciones positivas exacerbadas entre la concentración de $MP_{2.5}$ y rinitis alérgica en niños con alelos minoritarios en los genes GSTP1, TNF y TLR4 cuyos productos están implicados en la respuesta inflamatoria y al estrés oxidativo. También, algunos experimentos en animales han demostrado que: i) en ratones,

la activación de TLR4 mediaría el aumento en marcadores de inflamación sistémica en respuesta a la exposición a MP_{2.5} (Kampfrath et al., 2011), ii) el gen CCR2 disminuiría el reclutamiento de monocitos en ratones expuestos conjuntamente a MP_{2.5} y una dieta alta en grasas obteniendo protección a resistencia a la insulina, inflamación sistémica y esteatosis hepática (C. Liu et al., 2014) iii) ratones NADPH oxidasa deficientes en sus neutrófilos (gen, cuyo producto es requerido para la producción del anión superóxido) desarrollaban protección a los efectos deletéreos de la exposición a CAPs (partículas ambientales concentradas (X. Xu et al., 2010; Zheng et al., 2015). Aunque la evidencia es muy limitada para concluir relaciones de causalidad, estudios recientes enfocados en los mecanismos de toxicidad de la exposición a MP_{2.5} han reportado la posible influencia de la exposición a MP_{2.5} en la metilación de ADN (que podría alterar la expresión de diversos genes). Por ejemplo, (Bind et al., 2012; Lepeule et al., 2014; Peng et al., 2016; Salam et al., 2012) han reportado la hiper-metilación de diversos genes (INOS, IChoras1, CRAT, IChoras, IFN-g, IL6, OGG1, GCR, F3 y TLR2).

2.4 Factores sociodemográficos:

2.4.1 Etapa de vida:

2.4.1.1 Niños: Evidencia adecuada

En comparación a los adultos, los niños podrían presentar un riesgo exacerbado a los efectos de la exposición a MP_{2.5} porque poseen 1) un sistema respiratorio en desarrollo, 2) una mayor tasa de ventilación relativa al peso corporal y 3) una mayor proporción de respiración oral. Respecto a la dosimetría, los niños tienden a pasar más tiempo en lugares extradomiciliarios y por lo tanto exponerse más al MP_{2.5} atmosférico (Bell & Ebisu, 2012). La evidencia de análisis estratificados mostrando que los niños poseen un mayor riesgo a la exposición a material particulado – en comparación a adultos – es exigua. Atkinson et al., 2016; Samoli et al., 2016; Q. Xu et al., 2016 han reportado que la magnitud de las asociaciones entre la exposición de corto plazo a MP_{2.5} y visitas hospitalarias y de urgencia es similar a la reportada en adultos. Sin embargo, el estudio de (Mar et al., 2004) reportó efectos mayores en niños (7-12 años) que en adultos (20-51 años). Estudios recientes usando la cohorte CHS (Children's Health Study) indican que existe una asociación entre el decremento en las concentraciones de MP_{2.5} y el aumento de la capacidad respiratoria durante el desarrollo pulmonar (Gauderman et al., 2015). Finalmente, estudios recientes evaluando visitas a urgencias por asma y neumonía sugieren que podrían existir ventanas críticas de susceptibilidad en niños, por ejemplo (Lv et al., 2017) reportó que en comparación con niños entre 5 y 15 años, las estimaciones de efecto son mayores en niños menores a 5 años y (Ding et al., 2017) reportó mayores efectos en niños entre 1 y 5 años (en comparación con niños menores a un año y entre 6 y 18 años).

2.4.1.2 Adultos mayores: Evidencia inadecuada

Los adultos mayores podrían presentar un riesgo exacerbado a los efectos de material particulado debido a la alta prevalencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes. Esto podría atribuirse a la reducción gradual de las funciones fisiológicas normales del envejecimiento. Un número reciente de estudios epidemiológicos de exposición de corto y largo plazo a $MP_{2.5}$ y efectos cardiovasculares, respiratorios y de mortalidad sugieren asociaciones positivas y consistentes en análisis restringidos a adultos mayores. Evaluaciones epidemiológicas estudiando la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ reportó que – en adultos mayores viviendo en asilos de ancianos – para la enfermedad de las arterias coronarias, las concentraciones de $MP_{2.5}$ se asociaban con alteraciones electrocardiográficas (Delfino et al., 2011). Estudios de panel en adultos mayores generalmente reportan evidencia consistente para la asociación entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y la presión sanguínea, particularmente en personas viviendo en asilos de ancianos o comunidades para adultos mayores (Jacobs et al., 2012; L. Liu et al., 2009; Wellenius, Wilhelm-Benartzi, et al., 2012). Respecto a marcadores inflamatorios, los resultados no han sido consistentes, (Delfino et al., 2009; Wittkopp et al., 2013) han reportado asociaciones positivas entre exposición a $MP_{2.5}$ y citoquinas proinflamatorias, mientras (L. Liu et al., 2009; Rich et al., 2012; M. Wang et al., 2016) no encontró dichas asociaciones. Estudios han comparado diferentes grupos de acuerdo a su edad. Respecto a la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$, (Bell et al., 2015) reportó mayores estimaciones de efecto en adultos mayores a 85 años (en comparación con 65-74 y 75-84 años) para mortalidad cardiovascular, en cambio (Madsen et al., 2012) reportó mayores efectos en la mortalidad en personas entre 65-74 años (en comparación con aquellos mayores a 74 años).

2.4.2 Sexo: evidencia inadecuada

Respecto a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$, Di et al., 2017b analizó la mortalidad en la población del programa Medicare (programa de salud restringido para mayores de 65 años) y reportó una mayor asociación en hombres (RR: 1.087) que en mujeres (RR: 1.060). Sin embargo, esta diferencia no se mantuvo al analizar el subgrupo de personas pertenecientes simultáneamente al programa Medicaid (programa de salud para personas de bajos recursos) y Medicare. Y. Wang et al., 2017, analizando datos de personas en el sureste de EE.UU. y pertenecientes al programa Medicare también reportó mayores asociaciones en hombres. Sin embargo, (Thurston et al., 2016) reportó riesgos similares para hombres y mujeres, y (Zeger et al., 2008) reportó riesgos menores en hombres. (Crouse et al., 2015) – analizando datos de salud en la población canadiense – reportó una mayor mortalidad en hombres para cada grupo de edad analizado. Respecto a la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$, las diferencias entre hombres y mujeres fueron muy pequeñas (Becker et al., 2005; Madsen et al., 2012; Samoli et al., 2013). Otros estudios han evaluado la modificación de la medida del efecto por el sexo. (Bell et al., 2015) reportó mayores efectos (efectos cardiovasculares) de la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ en mujeres que en hombres. Por el contrario, (Rodopoulou et al., 2015) reportó mayores efectos (visitas de

urgencia por causas cardiovasculares) de la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ en hombres que en mujeres.

Dependiendo del efecto observado, en otros estudios de corto plazo se han reportado mayores asociaciones entre el $MP_{2.5}$ y mujeres (mortalidad cardiovascular, (Ye et al., 2016) o hombres (cardiopatía, (Milojevic et al., 2014). En general, existe poca evidencia respaldando la presencia de disparidades entre sexos para: efectos cardiovasculares (Kloog et al., 2014; Lanzinger et al., 2016), mortalidad cardiovascular (Su et al., 2015), paro cardiorrespiratorio (Silverman et al., 2010), insuficiencia cardiaca (Haley et al., 2009), hipertensión (Brook & Kousha, 2015), infartos (Rich et al., 2010; Weichenthal et al., 2016), tromboembolia pulmonar y tromboembolismo venoso (Dales et al., 2010).

Respecto a efectos respiratorios, existe poca evidencia indicando disparidades entre sexos para la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$. (Thurston et al., 2016) reportó un pequeño aumento en la mortalidad respiratoria en mujeres en una población de personas estadounidenses de entre 50-71 años de edad y Bell et al., 2015 reportó asociaciones elevadas en mujeres (para admisiones respiratorias hospitalarias e infecciones del tracto respiratorio). Por el contrario, (Dimakopoulou et al., 2014) reportó un pequeño aumento en hombres al realizar un meta-análisis con población europea y (Wong et al., 2015), no encontró diferencias entre los sexos al analizar efectos respiratorios en la población de Hong Kong. Finalmente, una variedad de estudios ha reportado exiguas diferencias entre hombres y mujeres para admisiones hospitalarias por causas respiratorias (Lanzinger et al., 2016; P. Liu et al., 2016; Rodopoulou et al., 2015), asma pediátrica (Gleason et al., 2014), y marcadores de desempeño de la función respiratoria (Watanabe et al., 2015).

2.4.3 Estatus socioeconómico (ESE): evidencia sugestiva

El lugar de residencia podría determinar diferencias en la exposición a $MP_{2.5}$. (Mikati et al., 2018) comparó los datos de niveles de $MP_{2.5}$ ambiental proveniente de modelamientos y datos del censo en EE.UU. reportando concentraciones levemente mayores en aquellos viviendo bajo la línea de la pobreza. (Bell & Ebisu, 2012) reportó que aquellos viviendo bajo la línea de la pobreza, con educación escolar incompleta, o desempleados se exponen a mayores concentraciones de $MP_{2.5}$ y (Bravo et al., 2016) reportó que mayores niveles de exposición a $MP_{2.5}$ estaban asociadas a i) la baja consecución educacional (personas que no poseen un grado universitario) en zonas rurales y suburbanas ii) la pobreza y el desempleo en zonas urbanas.

Respecto al efecto de la exposición a $MP_{2.5}$, (Di et al., 2017b) reportó que aquellos con un ESE bajo (medido como elegibilidad en el programa Medicare) poseían un mayor riesgo de mortalidad asociada a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$. Otros estudios usando datos del programa Medicare y evaluando la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ reportaron que personas viviendo en

vecindarios de ingresos bajos o ciudades con bajo ESE tienen riesgos levemente mayores que personas de vecindarios de mayores ingresos o ciudades con mayor SES (Kioumourtzoglou et al., 2016; Y. Wang et al., 2017). Residentes de zonas con códigos postales (ZIP) clasificados como ESE bajo, poseen un riesgo de mortalidad ligeramente mayor que los residentes de zonas clasificadas como ESE alto (Zeger et al., 2008). Estudios en Canadá muestran tendencias similares (Brook et al., 2013; Crouse et al., 2015). Sin embargo, (Madsen et al., 2012) determinó que – en comparación con áreas de alto ESE – la mortalidad asociada a la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ era levemente menor en áreas con bajo ESE.

Existe poca evidencia respecto a la modificación del efecto del $MP_{2.5}$ por ESE en la salud cardiovascular. Kloog et al., 2014 reportó que el aumento en admisiones hospitalarias asociadas a la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ era mayor en el grupo de bajos ingresos, sin embargo, otros estudios no han reportado esta tendencia (Haley et al., 2009; Johnson & Parker, 2009). Similarmente, (Fuks et al., 2011) no reportó una modificación del efecto de exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ - analizado como presión sanguínea - entre empleados y desempleados en Alemania. La evidencia de la influencia del ESE en la salud respiratoria asociada a la exposición a material particulado es también exigua. Estudios examinando la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y asma reportaron un leve aumento en la probabilidad de ataques asmáticos en aquellos: i) viviendo en sectores con altos niveles de pobreza ii) elegibles para el programa Medicaid y iii) con un bajo nivel de consecución de estudios maternos (O'Lenick et al., 2017; Sarnat et al., 2013; Strickland et al., 2014). (Thurston et al., 2016) reportó que la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad respiratoria no se encontraba diferencialmente asociada en grupos con diferente nivel educacional.

2.4.4 Raza/etnia: evidencia adecuada

Disparidades en la exposición a material particulado entre razas o etnicidades se han investigado en EE.UU. Mikati et al., 2018 comparando los niveles modelados de $MP_{2.5}$ y datos del censo reportó exposiciones en orden decreciente para negros no hispanos ($10.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hispanos ($9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y blanco no hispanos ($9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). (Nachman & Parker, 2012) reportó tendencias similares y (Bravo et al., 2016) reportó que estas disparidades persistían en ambientes urbanos, suburbanos y rurales. Existe evidencia respaldando un riesgo elevado a los efectos de la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ entre no-blancos (Kioumourtzoglou et al., 2016; Y. Wang et al., 2017). (Di et al., 2017b) observó que la mortalidad asociada a la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ es mayor en negros (RR: 1.208 [95% CI: 1.199,1.217]), seguida por hispanos (RR: 1.116 [95% CI: 1.100,1.133]), asiáticos (RR: 1.096 [95% CI: 1.075,1.117]) y blancos (RR: 1.063 [95% CI: 1.060,1.065]) de manera independiente a el estatus económico. (Lee et al., 2016; Y. Wang et al., 2017) analizando poblaciones en zonas geográficas acotadas de EEUU, reportaron que – en comparación con la población blanca – la mortalidad asociada con la exposición de largo y corto plazo a $MP_{2.5}$ era mayor en la población negra. Respecto a la modificación del efecto de largo plazo a $MP_{2.5}$ por raza/etnicidad, (Johnson

& Parker, 2009) reportó que los hispanos tenían un riesgo elevado de enfermedades cardíacas, mientras que los blancos tenían un riesgo elevado de hipertensión. Usando datos del estudio MESA, (Hicken et al., 2016) - evaluando marcadores relacionados con hipertensión - observó un mayor efecto en la población negra que la blanca en asociación a la exposición de largo plazo a MP_{2.5}. (Rodopoulou et al., 2015) no encontró diferencias entre razas al analizar la asociación entre la exposición de corto plazo a MP_{2.5} y visitas de urgencia por causas cardiovasculares.

Respecto a efectos respiratorios, Nachman & Parker, 2012 reportó que la prevalencia de asma asociada con la exposición de largo plazo a MP_{2.5} era significativamente mayor en negros no hispanicos en comparación con blancos no hispanicos. Los efectos del MP_{2.5} a corto plazo y la influencia de la raza son inconsistentes, (Glad et al., 2012) observó un leve aumento en la probabilidad de visitas de urgencia por asma en la población negra, mientras que Alhanti et al., 2016 no observó dichas diferencias.

Strickland et al., 2014 evaluó la asociación entre visitas de urgencia por asma pediátrico y exposición de corto plazo a MP_{2.5} en Atlanta observando – en comparación con la población no afroamericana – un mayor riesgo en la población afroamericana, superando la influencia de la educación o ESE (medido como elegibilidad a Medicaid). En un análisis similar (Gleason et al., 2014) en un estudio llevado a cabo en New Jersey reportó un mayor número de visitas por asma pediátrico en hispanos. Rodopoulou et al., 2015 reportó – para la asociación con la exposición de corto plazo a MP_{2.5} – un menor riesgo de visitas respiratorias de urgencia en afroamericanos en un estudio llevado a cabo en Arkansas.

2.4.5 Lugar de residencia: evidencia inadecuada

2.4.5.1 Áreas residenciales urbanas y rurales

La mayoría de los estudios analizando los efectos en la salud de la exposición a MP_{2.5} se han llevado a cabo en sitios preferentemente urbanos donde predominantemente las redes de monitoreo ambiental se encuentran. Desarrollos recientes en la estimación de exposición a través de modelos usando datos satelitales han hecho posible la inclusión de áreas rurales en estudios epidemiológicos. En EE.UU., las concentraciones de MP_{2.5} son generalmente menores en áreas rurales (10.2-12.9 µg/m³) en comparación con áreas urbanas (11.5-15.5 µg/m³) (Bravo et al., 2017; Garcia et al., 2016; Strickland et al., 2016). Di et al., 2017b reportó – en comparación con áreas densamente pobladas – una mayor asociación positiva entre la mortalidad y la exposición de largo plazo a MP_{2.5} en áreas con una moderada densidad poblacional. En cambio, (Kioumourtoglou et al., 2016) analizó datos en 207 ciudades y no reportó modificaciones inducidas por el grado de urbanidad o densidad poblacional. Estudios analizando el efecto de la exposición de largo plazo a MP_{2.5} en diversas áreas en EE.UU. reportaron – en comparación con poblaciones urbanas – una disminución de riesgo de mortalidad en poblaciones rurales (Kloog et

al., 2013; Shi et al., 2016; Y. Wang et al., 2017). Por otra parte, (Garcia et al., 2016) reportó mayores tasas de mortalidad total, cardiovascular, cardiopulmonar en poblaciones rurales, aunque dicha tendencia variaba sustancialmente dependiendo del método usado para asignar la exposición a $MP_{2.5}$. Lee et al., 2016 reportó mayores riesgos asociados con la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ en zonas rurales que en zonas metropolitanas.

Aunque, el número de estudios de exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ es limitado, Bravo et al., 2017 reportó mayores asociaciones entre exposición y hospitalizaciones por causas cardiovasculares en áreas urbanas, pero mayores asociaciones entre exposición y hospitalizaciones por causas respiratorias en áreas menos urbanas. (Strickland et al., 2016) reportó asociaciones positivas entre exposición y admisiones hospitalarias poco frecuentes (como bronquitis, neumonía y sinusitis) en áreas menos urbanizadas en comparación con asociaciones nulas o negativas en áreas metropolitanas. (Yap et al., 2013) reportó mayores asociaciones en áreas urbanas de California del sur que en condados menos urbanizados del valle central.

2.4.5.2 Proximidad al tráfico

La contaminación del aire relacionada con el tráfico es una mezcla compleja de partículas y gases. Niveles elevados de partículas ultrafinas en las proximidades del tráfico se han reportado, aunque las concentraciones de $MP_{2.5}$, generalmente no son elevadas cerca del tráfico dado que la mayoría es producida a través de reacciones químicas en la atmósfera (Karner et al., 2010). (Auchincloss et al., 2008) analizando los efectos de la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ reportó (utilizando datos de la cohorte MESA) mayores asociaciones positivas (marcadores de presión sanguínea) en aquellos viviendo a 300 metros o menos de una carretera y en aquellos viviendo en áreas de alta densidad de calles. En un estudio realizado en Atlanta, Sinclair et al., 2014 reportó mayores asociaciones entre la exposición a $MP_{2.5}$ y visitas de emergencia por asma pediátrica en residentes viviendo a una distancia máxima de 150 metros de una carretera. Sade et al., 2015 reportó un aumento de riesgo de accidentes cerebrovasculares en aquellos viviendo a menos de 75 metros de carreteras principales. Respecto a estudios toxicológicos, (Kleinman et al., 2005) reportó que ratones expuestos a $MP_{2.5}$ (usando CAPs) a 50 metros de una calle altamente transitada en Los Ángeles presentaban un aumento de las respuestas alérgicas en comparación con aquellos expuestos a 150 metros de dicha calle. Similarmente, (Farraj et al., 2006) reportó que la exposición a altas concentraciones ($2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas provenientes de la combustión de diésel aumentaba la magnitud de respuestas alérgicas en ratones sensibilizados a un alérgeno.

2.5 Factores conductuales y otros

2.5.1 Tabaquismo (Fumar): evidencia sugestiva

La mayoría de la evidencia evaluando si el estatus de fumador modifica la relación entre la exposición a $MP_{2.5}$ y efectos en la salud han examinado la asociación entre las exposiciones de

largo plazo y mortalidad, morbilidad cardiovascular y cáncer (mortalidad e incidencia). (Lepeule et al., 2012) examinó la asociación entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y mortalidad por cáncer pulmonar y reportó un mayor riesgo en exfumadores que en personas que nunca han fumado. De manera consistente (Gharibvand et al., 2017; Tomczak et al., 2016) reportaron asociaciones para incidencia de cáncer pulmonar al comparar aquellos que nunca han fumado con aquellos que alguna vez fumaron o exfumadores y fumadores (Hystad et al., 2013). Por otro lado, (Puett et al., 2014) – usando datos de la cohorte Nurses´ Health Study – no encontró diferencias en la incidencia de cáncer pulmonar entre mujeres fumadoras o exfumadoras y aquellas que nunca habían fumado. Respecto a los efectos cardiovasculares, (Turner et al., 2017) evaluó la interacción entre la exposición a $MP_{2.5}$ y el estatus de fumador(a) estratificando entre exposición a bajos niveles de $MP_{2.5}$ ($<10.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o a altos niveles de $MP_{2.5}$ ($>14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) reportando que la interacción entre el estatus de fumador aumentaba el riesgo de mortalidad total y por causas cardiovasculares en un 10%. Sin embargo, muchos estudios han analizado el estatus de fumador como modificador de la relación entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y cambios en la presión sanguínea sin observar patrones consistentes (Auchincloss et al., 2008; Chan et al., 2015; Fuks et al., 2011; Mu et al., 2014).

Un número escaso de estudios han analizado el estatus de fumador(a) en la asociación entre la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ y efectos a la salud. (Dai et al., 2014) reportó – sin datos de estatus de fumador(a) a nivel individual – una mayor mortalidad asociada a $MP_{2.5}$ en condados donde la proporción de fumadores era mayor. Por otro lado, (O’Donnell et al., 2011) no observó cambios – influenciados por el estatus de fumador – en la asociación entre la exposición de corto plazo al $MP_{2.5}$ y accidentes cerebrovasculares.

2.5.2 Dieta: evidencia inadecuada

El ISA PM del 2009 concluyó que el estatus nutricional, entre otros indicadores del estatus socioeconómico, pueden modificar la asociación entre el material particulado y múltiples efectos en la salud. La evidencia de esta conclusión se basó mayormente en el análisis hecho por (Baccarelli et al., 2008) donde reportó que la suplementación de la dieta con ciertos micronutrientes (vitamina B o metionina) reducía la asociación entre la exposición a $MP_{2.5}$ y la variabilidad de la frecuencia cardiaca. Un estudio controlado de exposición a CAPs por 2 horas proveyó evidencia limitada de que la suplementación con vitamina B podría disminuir i) respuestas cardiovasculares e inflamatorias subclínicas y ii) metilación de ADN (Zhong, Karlsson, et al., 2017; Zhong, Trevisi, et al., 2017)

Recientemente otros estudios han evaluado el efecto modificador del consumo de alcohol, frutas, vegetales y ácidos grasos en las asociaciones entre la exposición a $MP_{2.5}$ y efectos en la salud. L. Pinault et al., 2016 no observó una influencia substancial del consumo regular de alcohol entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad. (Ostro et al., 2014) observó diferencias muy

pequeñas entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y los niveles de CRP entre mujeres abstemias y consumidoras ocasionales de alcohol. Varios estudios epidemiológicos han evaluado la potencial modificación inducida por el consumo de frutas y verduras en la asociación entre la exposición de largo plazo a $MP_{2.5}$ y la mortalidad. Estudios llevados a cabo en EE.UU. evaluaron la mortalidad por causas cardiovasculares (Pope et al., 2015) y por cáncer pulmonar (Turner et al., 2011) y no observaron un cambio consistente en el riesgo al estratificar por dieta. Dichas inconsistencias también se observaron en estudios similares llevados a cabo en Canadá (L. Pinault et al., 2016) y Europa (Beelen, Raaschou-Nielsen, et al., 2014; Beelen, Stafoggia, et al., 2014; Dimakopoulou et al., 2014). Finalmente, (Tong et al., 2012, 2015) evaluó – usando exposiciones controladas en humanos – la influencia de la suplementación con lípidos provenientes de pescados y aceite de oliva proveyendo evidencia limitada de cierta protección a los efectos subclínicos de la exposición de corto plazo a $MP_{2.5}$ (usando CAPs).

Tabla 20: Tabla resumen incluyendo la evidencia para las distintas poblaciones y etapas de vida que potencialmente producen un aumento de riesgo a los efectos en la salud del material particulado

Aspecto	Enfermedad	Tipo de evidencia
Condiciones / Enfermedades preexistentes	Enfermedades cardiovasculares	Evidencia sugestiva
	Diabetes y síndrome metabólico	Evidencia inadecuada
	Obesidad	Evidencia sugestiva
	Colesterol elevado	Evidencia inadecuada
	Enfermedades respiratorias preexistentes	Evidencia sugestiva
	Factores genéticos	Evidencia sugestiva
Factores sociodemográficos	Etapas de vida (niños)	Evidencia adecuada
	Etapas de vida (Adultos mayores)	Evidencia inadecuada
	Sexo	Evidencia inadecuada
	Estatus socioeconómico (ESE)	Evidencia sugestiva
	Raza/etnia	Evidencia adecuada
	Lugar de residencia	Evidencia inadecuada
Factores conductuales y otros	Tabaquismo (Fumar)	Evidencia sugestiva
	Dieta	Evidencia inadecuada

2.6 Coeficientes de riesgo para efectos de la contaminación atmosférica en la salud

En el informe “Actualización de coeficientes de riesgo para efectos de la contaminación atmosférica en la salud” solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente y fechado en noviembre del 2022 se incluyen los coeficientes para la exposición a $MP_{2,5}$ (Tabla 21). Haciendo un riguroso proceso de evaluación y selección de estudios se incluyen efectos específicos en la salud poblacional (health outcomes). Además, se indican recomendaciones para la priorización en el uso de estudios y se realizan recomendaciones generales para el uso de dichos coeficientes.

Tabla 21: Coeficientes de riesgo obtenida de informe: "Actualización de coeficientes de riesgo para efectos de la contaminación atmosférica en la salud". Dictuc, 2022.

Efecto	Tipo Causa	Causa	Edad	Autor (Fecha)	Beta	Desv. Est
Admisiones hospitalarias	Cardiovascular	Cardiovascular	18-64	Hystad (2020)	0.0049	0.00097
		Cardiovascular (excepto infartos al miocardio)	65-99	Varios	0.0011	
		Infarto agudo al miocardio	65-99	Zanobetti (2009)	0.0023	0.00059
	Neurológica	Alzheimer	65-99	Kiomourtzoglou (2016)	0.14	0.018
		Parkinson	65-99	Kiomourtzoglou (2016)	0.077	0.019
	Respiratorio	Respiratorio	0-99	Wong (1999)	0.0016	0.0003
Mortalidad	Todas las causas	Todas las Causas	0-0	Woodruff (2008)	0.0056	0.0045
			18-99	Varios	0.0077 (IC:0.00602-0.013)	
Restricción de actividad	Restricción de actividad	Días con actividad restringida	18-64	Varios	0.0047	
Visitas a sala de emergencia	Cardiovascular	Cardiovascular	0-99	Ostro (2016)	0.00061	0.00042
	Respiratorio	Respiratorio	0-99	Krall (2016)	0.0037	0.0015

Debido al carácter reciente de este informe (Nov 2022), la búsqueda de nuevos coeficientes (siguiendo las recomendaciones allí expuestas) se limitó a un periodo de tiempo extremadamente reducido y no se encontraron coeficientes adicionales para incluir en este informe.

3 ANEXO III: Inventario de Emisiones a Nivel Nacional

3.1 Estructura del inventario de emisiones

El inventario de emisiones fue estructurado en grupos, subgrupos, actividades y subactividades para cuatro grupos de fuentes emisoras (Fuentes Fijas, Fuentes Areales, Fuentes Móviles y Polvo Fugitivo).

Tabla 22: Fuentes Fijas

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Antorcha
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Antorcha Gas Coque
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Agua Caliente
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera de Fluido Térmico
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera de Generación Eléctrica
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Recuperadora
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Externa Puntual	Calentador
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Interna	Grupo Electrogénico
FUENTES FIJAS	Combustión	Combustión Interna	Motor Generación Eléctrica
FUENTES FIJAS	Procesos	Baterías de Coque	Batería de Coque
FUENTES FIJAS	Procesos	Convertidores	Convertidor Pierce Smith (CPS)
FUENTES FIJAS	Procesos	Convertidores	Convertidor Teniente (CT)
FUENTES FIJAS	Procesos	Fugitivas Fundición	Fugitiva Fundición
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Estufa alto horno
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Basculante - Refinamiento a Fuego
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Calcinadores
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Cal

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Cocción
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Fusión
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Fusión Flash
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Panadería
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Refino
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Refino /Fusión Scrap
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Reformador
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno de Tostación
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Palanquillas
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Planta Regeneradora de Ácido Sulfúrico (SAR)
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Precalcinador
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Precalentador
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Proceso
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Reverbero
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Rotatorio
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Rotatorio Secador
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Secador
FUENTES FIJAS	Procesos	Hornos	Horno Vertical
FUENTES FIJAS	Procesos	Incineradores	Incinerador
FUENTES FIJAS	Procesos	Incineradores	Incinerador Subproductos
FUENTES FIJAS	Procesos	Marmitas de Calcinación	Marmita de Calcinación
FUENTES FIJAS	Procesos	Molinos	Molino de Rodillo
FUENTES FIJAS	Procesos	Reactor Noranda	Reactor Noranda
FUENTES FIJAS	Procesos	Regeneradores Cracking Catalítico (FCCU)	Regenerador Cracking Catalítico (FCCU)

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES FIJAS	Procesos	Secadores	Secador
FUENTES FIJAS	Procesos	Secadores	Secador Concentrado Mineral
FUENTES FIJAS	Procesos	Turbinas	Turbina a Vapor
FUENTES FIJAS	Procesos	Turbinas	Turbina de Gas

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23: Fuentes Aerales

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	Leña
FUENTES AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	Gas Licuado
FUENTES AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	Gas Natural
FUENTES AREALES	Residencial	Combustión externa residencial	Kerosene
FUENTES AREALES	Otras	Quemas	Incendios forestales
FUENTES AREALES	Otras	Quemas	Quemas agrícolas

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24: Fuentes Móviles

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Tubo de escape	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Tubo de escape	Ciudades sin modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Desgaste de frenos	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Desgaste de neumáticos	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Detenciones en caliente	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Durante el día	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Durante el recorrido	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	Partidas en frío	Ciudades con modelo
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Agrícola - Forestal
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Construcción

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Industrial
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Minería
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Puertos y Aeropuertos	Aeropuertos
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	Puertos y Aeropuertos	Puertos

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25: Polvo Fugitivo

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
POLVO FUGITIVO	Polvo Resuspendido de calles	Calles Pavimentadas	Ciudades con modelo
POLVO FUGITIVO	Polvo Resuspendido de calles	Calles Pavimentadas	Ciudades sin modelo
POLVO FUGITIVO	Construcción y Demolición	Construcción de caminos	Construcción de caminos
POLVO FUGITIVO	Construcción y Demolición	Construcción de edificios	Construcción de edificios y viviendas
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. - Rosario
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Teck Quebrada Blanca S.A. - Quebrada Blanca
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Cerro Colorado Ltda. - Cerro Colorado
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Zaldívar SPA - Zaldívar
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Mantos Copper S.A. - Mantos Blancos
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Escondida Ltda. - Escondida
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Chuquicamata
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Ministro Hales
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Radomiro Tomic
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	El Abra - El Abra
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Antucoya Ltda. - Mina Antucoya

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Centinela
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Gabriela Mistral
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Lomas Bayas - Lomas Bayas
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Sierra Gorda SCM
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Spence
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Altamira
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Las Luces
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Sociedad Contractual Minera Franke - Mina Franke
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Mantos Copper S.A. - Manto Verde
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Quebrada M
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	C.C.M. Ojos del Salado - Santos
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Contractual Minera Candelaria - Candelaria
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Lumina Copper Chile Ltda. - Caserones
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Soc. Contractual Minera Carola S.A. - Socavón Carola
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Soc. Minera Punta del Cobre - Punta del Cobre
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan - Atacama Kozan
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Dragones
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Teck-CDA
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera San Gerónimo - Mina 21 de Mayo
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Los Pelambres - Mina Los Pelambres
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	S.C.M. Tres Valles - Papomono
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Mina Sauce
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Sur Sur
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Anglo American Sur - Mina Rajo El Soldado

GRUPO	SUB-GRUPO	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Chile División - El Teniente
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Valle Central S.A.
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Anglo American Sur - Mina Los Bronces
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Cobre	Pampa Camarones - Mina Pampa Camarones
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. - Rosario
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Quebrada M
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Lumina Copper Chile Ltda. - Caserones
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Los Pelambres - Mina Los Pelambres
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Sur Sur
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Codelco Chile División - El Teniente
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Valle Central S.A. - Planta Molibdeno
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Oro	Minera Meridian limitada - El Peñón
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Oro	Guanaco Compañía Minera Ltda. - Guanaco
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Oro	HMC Gold S.C.M. - Tambo de Oro
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Oro	Compañía Minera Pullalli SPA. - Pullalli (Soc. Sur)
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Oro	Minera Florida Ltda. - Pedro Valencia
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Litio	Albemarle Ltda. - Pozos y Pozas
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Litio	S.Q.M. Salar - Pozas Salar
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	Plata	Guanaco Compañía Minera Ltda. - Guanaco

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

Respecto a las metodologías de cálculo y factores de emisión utilizados para estimar las emisiones de MP₁₀, MP_{2.5}, CO, NO_x, SO₂, Black Carbon, COV, NH₃ y CO_{2eq} (N₂O, CO₂, CH₄) se utilizaron los siguientes documentos metodológicos según tipo de fuente, todos ellos contienen las metodologías y criterios de cálculo de emisiones utilizados en el presente estudio. En algunos casos se realizó

algunos ajustes y/o modificaciones, así como también se complementó con información de mejor calidad.

Cabe destacar que en su mayoría los factores de emisión provienen de fuentes de información internacionales tales como AP-42 EPA y EMEP/EEA.

Todos los documentos metodológicos listados a continuación se adjuntan en la sección ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital).

3.2.1 Metodología Fuentes Estacionarias Puntuales

Para Fuentes Estacionarias Puntuales se utilizó la base de datos RUEA 2021 proporcionada por la contraparte, la cual contiene las emisiones calculadas por dicho sistema, factores de emisión, niveles de actividad, mediciones discretas y equipos de control de emisiones. Los cálculos de emisiones se basan en la metodología y factores de emisión contenidos en la “Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones provenientes de Fuentes Puntuales, RETC”, año 2020, Ministerio del Medio Ambiente.

Adicionalmente, y con el fin de utilizar la mejor información disponible se utilizó el sistema SNIFA³ de la SMA (link: <https://snifa.sma.gob.cl/>). Se realizó una extracción⁴ de las mediciones CEMS de las termoeléctricas y fundiciones, además de estimaciones anuales. La información fue procesada y sistematizada para llevarla a emisiones anuales, su detalle se presenta en la planilla denominada “Fuentes Fijas” contenida en el INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital). Cabe destacar que también se utilizaron las mediciones discretas⁵ del sistema RUEA. Finalmente, la priorización de emisiones fue mediciones CEMS > Mediciones discretas > Estimaciones > Factores de emisión.

3.2.2 Metodología Combustión Residencial de Leña

Para combustión residencial de leña se utilizó el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

³ El Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental, SNIFA, es un sitio web de acceso público, desarrollado por la Superintendencia del Medio Ambiente, de acuerdo a lo establecido en la Ley Orgánica de la SMA (artículos 31, 32 y 33) y en el Reglamento de SNIFA (Decreto 31 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente). El sitio proporciona información a la ciudadanía sobre los procesos de fiscalización y sancionatorios realizados por la SMA e incluye acceso a los registros públicos de instrumentos de carácter ambiental y de sanciones.

⁴ Para termoeléctricas se extrajeron los datos CEMS desde el módulo específico de “Termoeléctricas”; para fundiciones se extrajeron los datos CEMS desde el módulo de “Fiscalizaciones”; y las estimaciones anuales de los establecimientos de los rubros: refinерías, cementeras, celulosas, aserraderos, papeleras y cristalerías se extrajeron desde el módulo “Fiscalizaciones”.

⁵ Las mediciones discretas vienen en kg/h y para llevarlas a emisiones anuales es necesario contar con las horas de funcionamiento de las fuentes medidas. Debido a que no fueron proporcionadas las horas declaradas en el sistema RUEA se utilizaron horas de las fuentes que fue posible homologar y horas promedio por tipo de fuente para el resto que no fue posible homologar, todas ellas obtenidas desde información histórica año 2017 del antiguo sistema 138 el cual registraba las horas de funcionamiento de las fuentes.

Cabe destacar que se realizó una modificación a la metodología base, en la distribución de artefactos específicamente se consideró el programa de recambio de calefactores realizado en el marco de los Planes de descontaminación, se reemplazó artefactos antiguos por nuevos (calefactor certificado y calefactor a pellet) desde el año 2015 al 2021, estos fueron proporcionadas por la contraparte (MMA).

Otra modificación fue respecto a la distribución de los consumos de leña por tipo de artefacto, se calculó el porcentaje de distribución de consumo de leña por tipo de artefacto utilizando las tasas de quemado por artefacto del estudio “Medición del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera” año 2015, Ministerio de Energía (CDT 2015), ya que en la metodología original utilizada en el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC, se utilizó el porcentaje de distribución de artefactos por región para distribuir los consumos de leña, lo cual es incorrecto considerando que las tasas de quemado son distintas por tipo de artefacto, lo cual modifica un poco la distribución del consumo de leña de dichos artefactos⁶.

3.2.3 Metodología Combustión Residencial de Gas licuado, Gas natural y kerosene

Para combustión residencial (de gas licuado, gas natural y kerosene) se utilizó el “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

3.2.4 Metodología Incendios Forestales y Quemados Agrícolas

Para incendios forestales y quemados agrícolas se utilizó el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC⁷.

3.2.5 Metodología Fuentes Móviles en Ruta

Para fuentes móviles en ruta (ciudades con y sin modelo de transporte) se utilizó el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC, el cual a su vez se basa en el estudio de “Actualización de las Plataformas Computacionales de los Modelos Ambientales y de Evaluación”, año 2019, SISThoras, en el cual se desarrolló el modelo MODEM v6. Se utilizó las metodologías tipo arco y tipo zona en las ciudades con modelos de transporte y para las ciudades sin modelo de transporte la metodología tipo zona.

En el caso de ciudades con modelo de transporte se utilizó los resultados de las corridas de transporte año 2021 obtenidos en el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación

⁶ La distribución de consumo de leña por tipo de artefactos no puede ser realizada de manera directa por el número de estos, antes se debe considerar la tasa de quemado, ya que esta es distinta por tipo de artefacto. Al aplicar esta corrección varía sólo un poco la distribución del consumo de leña original y afecta muy poco las emisiones.

⁷ El RETC utiliza la misma metodología señalada.

del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC, y en el caso de ciudades sin modelo de transporte se utilizó el mismo estudio como base metodológica para recalculer las emisiones, pero se complementó para el resto de las comunas de Chile, ya que en dicho informe no se consideran todas.

3.2.6 Metodología Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Maquinarias)

Para fuentes móviles fuera de ruta (maquinarias de construcción, industrial, minería y agrícola-forestal) se utilizó el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, año 2014, GEASUR.

3.2.7 Metodología Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Puertos y Aeropuertos)

Para puertos y aeropuertos asociado a las llegadas y salidas de barcos y aeronaves se utilizó el estudio “Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II”, año 2022, SECTRA. En el caso de Puertos se consideraron los factores de emisión de los modos “maniobra” y “en puerto”; en el caso de aeropuertos se consideraron los factores de emisión del modo “LTO”.

3.2.8 Metodología Polvo Resuspendido desde Calles

Para polvo resuspendido desde calles se utilizó el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

3.2.9 Metodología Construcción de Caminos y Edificios

Para construcción de caminos y construcción de edificios se utilizó el “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

3.2.10 Metodología Fuentes Fugitivas de Mineras

Para fuentes fugitivas de mineras se utilizó indicadores de emisiones fugitivas en base a estadísticas de producción de mineras obtenidos de los siguientes estudios:

- “Estudio de Calidad del Aire en la Localidad de Sierra Gorda”, año 2018, CMM.
- “Antecedentes para elaborar el Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Calama y su área circundante”, año 2019, DICTUC.
- “Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas de Contaminantes de la ciudad de Andacollo”, año 2021, GEOAIRE.
- “Anuario de la Minería de Chile”, año 2021, SERNAGEOMIN.
- “Mercado Internacional del Litio y su Potencial en Chile”, año 2018, COCHILCO.
- “Estadísticas Precio de los Metales”, COCHILCO.

Los tipos de emisiones considerados como fuentes fugitivas de mineras fueron los siguientes:

- Transferencia de material
- Erosión del viento
- Tronaduras

- Perforación
- Excavación
- Carga y descarga de camiones
- Descarga a buzones
- Tránsito de camiones por caminos no pavimentadas

3.3 Niveles de actividad, año base 2021

Para el desarrollo de esta actividad se consideró los documentos metodológicos del ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital), los cuales citan las fuentes de información para los niveles de actividad de cada tipo de fuente.

Se trabajó con la mejor información disponible proporcionada por la contraparte para realizar la caracterización de los niveles de actividad de las fuentes de emisión, también se revisaron las fuentes de información ya disponibles que han sido utilizadas en estudios anteriores.

Los niveles de actividad detallados de los distintos tipos de fuentes se encuentran en las planillas Excel con los cálculos de emisiones, las cuales se presentan en el ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital).

A continuación, se presentan estadísticas regionales de los niveles de actividad de las fuentes emisoras.

3.3.1 Niveles de actividad de Fuentes Estacionarias Puntuales

Para el caso de las fuentes estacionarias puntuales, los niveles de actividad corresponden a los consumos de combustibles y materias primas de los distintos tipos de fuentes (ver Tabla 22: Fuentes Fijas), estos fueron obtenidos del sistema sectorial RUEA de Ventanilla Única, el cual da cumplimiento al Decreto Supremo 138/2005 MINSAL⁸.

A continuación, se presentan las principales estadísticas a nivel regional consideradas en el cálculo de emisiones.

Tabla 26: Número de Establecimientos por Región, año 2021

Región	N° Establecimientos
--------	---------------------

⁸ Decreto Supremo 138/2005 MINSAL el cual, "Establece Obligación de Declarar Emisiones". Esta base de datos constituye la base de información más robusta a nivel nacional para las fuentes materia de la LEY. No obstante, esta información puede contener vacíos en términos de establecimientos que no han declarado o bien falta o impresión de información administrativa o técnica relevante para el cálculo de emisiones, también contiene datos de mediciones o información técnica para evaluar las emisiones y medio de generación. Para los fines del presente estudio se tomará en consideración la mejor información consolidada disponible para el año 2017.

Arica y Parinacota	71
Tarapacá	153
Antofagasta	472
Atacama	205
Coquimbo	318
Valparaíso	852
Metropolitana de Santiago	4.381
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	596
Maule	544
Ñuble	255
Biobío	689
Araucanía	756
Los Ríos	469
Los Lagos	1.224
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	84
Magallanes y de la Antártica Chilena	174
Total	11.243

Fuente: Elaboración propia en base a Declaraciones RUEA Año 2021, VU/MMA.

Tabla 27: Número de Fuentes Estacionarias Puntuales por Región, año 2021

Región	Combustión	Procesos	Total
Arica y Parinacota	128	15	143
Tarapacá	710	19	729
Antofagasta	2.127	96	2.223
Atacama	459	50	509
Coquimbo	845	99	944
Valparaíso	1.515	255	1.770
Metropolitana de Santiago	10.628	986	11.614
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1.210	120	1.330
Maule	1.098	109	1.207
Ñuble	461	49	510
Biobío	1.571	269	1.840
Araucanía	1.374	138	1.512
Los Ríos	908	58	966
Los Lagos	2.677	89	2.766
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	129	0	129
Magallanes y de la Antártica Chilena	851	28	879
Total	26.691	2.380	29.071

Fuente: Elaboración propia en base a Declaraciones RUEA Año 2021, VU/MMA.

Tabla 28: Número de Equipos de Control de Emisiones por Región, año 2021

Región	N° Equipos de Control
Arica y Parinacota	1
Tarapacá	2
Antofagasta	50
Atacama	9
Coquimbo	5
Valparaíso	32
Metropolitana de Santiago	44
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	25
Maule	20
Ñuble	11
Biobío	42
Araucanía	19
Los Ríos	14
Los Lagos	24
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	0
Magallanes y de la Antártica Chilena	2
Total	300

Fuente: Elaboración propia en base a Declaraciones RUEA Año 2021, VU/MMA.

En la siguiente tabla se presenta un extracto del consumo de algunos combustibles para fuentes del tipo combustión.

Tabla 29: Niveles de actividad por Región (fuentes del tipo combustión), año 2021

Región	Pet 2 (m3)	Pet 5 (m3)	Pet 6 (m3)	Carbón Bit. (ton)	Carbón Sub-Bit. (ton)	GLP(m3)	GN (m3)	Leña (ton)
Arica y Parinacota	1.917							
Tarapacá	30.349		18.753			87	1	
Antofagasta	80.165		11.358		2.171.980	190.381	62.681.733	
Atacama	6.006	8	10.286			1		
Coquimbo	15.830	29	50	248		541.031	1	7.236
Valparaíso	8.626	56	2.582			24.633	46.507.753	1.310
Metropolitana de Santiago	60.705		2			1.725.089	290.488.215	78
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	7.648	44	8.391	22.511		87.151	26.067.954	6.947
Maule	16.890		29.248	9.935	3.289	463.410	9.125.477	14.573
Ñuble	2.323		14.892	41.998		229.156	2.525.317	13.693
Biobío	22.818	75	55.564	4.768		285.274	33.537.637	41.201

Región	Pet 2 (m3)	Pet 5 (m3)	Pet 6 (m3)	Carbón Bit. (ton)	Carbón Sub-Bit. (ton)	GLP(m3)	GN (m3)	Leña (ton)
Araucanía	4.141	136	892	2.932		474.837	6.980.453	2.488
Los Ríos	2.530	4.138	5.592	1.171		129.945	2.603.678	4.666
Los Lagos	118.775	3.203	18.260	33.980		852.683	10.052.603	33.691
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	3.605					60.213		248
Magallanes y de la Antártica Chilena	9.824					1.568	153.442.155	
Total	392.152	7.688	175.870	117.543	2.175.270	5.065.460	644.012.976	126.130

Fuente: Elaboración propia en base a Declaraciones RUEA Año 2021, VU/MMA.

El detalle de la totalidad de los consumos de combustibles y materias primas de todas las fuentes listadas a nivel de establecimiento y comuna se presenta en la Tabla 22: Fuentes Fijas, así como los equipos de control de emisiones asociados se presenta en la planilla denominada “Fuentes Fijas” contenida en el ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital).

Esta planilla Excel contiene también el detalle de equipos de control, mediciones, parámetros, factores de emisión y mediciones (CEMS y discretas), así como horas de funcionamiento.

3.3.2 Niveles de actividad de Combustión Residencial de Leña

Para combustión residencial de leña se utilizó el consumo de leña 2021 urbano -rural estimado en el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

En la siguiente tabla se muestra el consumo de leña año 2021 por región subdividido en urbano – rural.

Tabla 30: Consumos de leña urbano – rural por región, Año 2021 (m3 sólidos/año).

Región	Consumo Urbano	Consumo Rural	Consumo Total
Arica y Parinacota	1.057	1.458	2.515
Tarapacá	229	608	837
Antofagasta	454	564	1.018
Atacama	1.211	3.363	4.574
Coquimbo	13.745	22.990	36.735
Valparaíso	223.623	77.545	301.168
Metropolitana de Santiago	125.142	145.106	270.248
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	180.780	244.671	425.451
Maule	636.499	488.007	1.124.506
Ñuble	454.920	422.432	877.352
Biobío	1.347.328	634.427	1.981.755

Araucanía	1.551.747	1.271.471	2.823.218
Los Ríos	758.271	557.231	1.315.502
Los Lagos	1.411.301	771.850	2.183.151
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	354.165	91.874	446.039
Magallanes y de la Antártica Chilena	128.518	45.661	174.179
Total	7.188.990	4.779.258	11.968.248

Fuente: Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC", año 2022, DICTUC.

Estos consumos fueron distribuidos a nivel comunal con información de consumos urbanos y rurales por región y comuna año 2020 proporcionada por el MMA, en base a INFOR.

Tabla 31: Densidad de la leña según Norma Chilena Oficial N°2907/2005

Calidad	Densidad ⁹ [kg/m ³ estéreo]	Contenido de humedad
Seca	411	Hasta 25% base seca
Húmeda	453	Sobre 40%

Fuente: Norma Chilena Oficial N°2907/2005.

Tabla 32: Distribución de Artefactos por región (%).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	Total
Arica y Parinacota	75%	10%	3%	0%	8%	5%	0%	100%
Tarapacá	75%	10%	3%	0%	8%	5%	0%	100%
Antofagasta	75%	10%	3%	0%	8%	5%	0%	100%
Atacama	75%	10%	3%	0%	8%	5%	0%	100%
Coquimbo	75%	10%	3%	0%	8%	5%	0%	100%
Valparaíso	44%	0%	26%	20%	9%	2%	0%	100%
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	37%	11%	27%	11%	10%	4%	0%	100%
Metropolitana de Santiago	61%	1%	21%	12%	5%	1%	0%	100%
Maule	57%	12%	13%	9%	7%	3%	0%	100%

⁹ Se considera 0,64 m³ sólido/m³ estéreo de leña.

Ñuble	51%	15%	17%	8%	6%	3%	0%	100%
Biobío	51%	15%	17%	8%	6%	3%	0%	100%
Araucanía	58%	18%	11%	6%	5%	2%	0%	100%
Los Ríos	44%	36%	4%	10%	3%	1%	1%	100%
Los Lagos	49%	29%	3%	17%	1%	1%	0%	100%
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	36%	38%	1%	24%	0%	1%	0%	100%
Magallanes y de la Antártica Chilena	49%	8%	23%	21%	0%	0%	0%	100%

Fuente: Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

Tabla 33: Tasa de quemado por Tipo de artefacto.

Artefacto	Tasa de quemado (kg/h)
Cámara Doble	3,5
Salamandra	4,0
Equipo Hechizo	4,0
Cámara Simple	4,0
Chimenea	6,0
Cocina A Leña	4,0
Caldera A Leña	4,0

Fuente: Estudio CDT 2015.

Tabla 34: Distribución regional de consumo de leña por tipo de artefacto (%).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	Total
Arica y Parinacota	72%	11%	2%	0%	7%	7%	0%	100%
Tarapacá	72%	11%	2%	0%	7%	7%	0%	100%
Antofagasta	72%	11%	2%	0%	7%	7%	0%	100%
Atacama	72%	11%	2%	0%	7%	7%	0%	100%
Coquimbo	72%	11%	2%	0%	7%	7%	0%	100%
Valparaíso	43%	0%	26%	20%	9%	3%	0%	100%
Metropolitana de Santiago	60%	2%	21%	12%	5%	1%	0%	100%
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	35%	12%	26%	11%	10%	6%	0%	100%
Maule	55%	13%	12%	9%	7%	5%	0%	100%

Ñuble	49%	16%	16%	8%	6%	4%	0%	100%
Biobío	49%	16%	16%	8%	6%	4%	0%	100%
Araucanía	56%	20%	11%	6%	5%	3%	0%	100%
Los Ríos	42%	38%	4%	10%	3%	2%	1%	100%
Los Lagos	48%	31%	3%	17%	1%	1%	0%	100%
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	34%	40%	1%	23%	0%	1%	0%	100%
Magallanes y de la Antártica Chilena	48%	9%	23%	21%	0%	0%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio "Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC", año 2022, DICTUC y Estudio CDT 2015.

Tabla 35: Consumo de leña por región, Año 2015 (m³/año).

Región	Consumo
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)	52.762
Valparaíso	305.406
Metropolitana de Santiago	440.105
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	520.882
Maule	727.626
Ñuble y Biobío	2.339.764
Araucanía	2.068.053
Los Ríos	1.539.683
Los Lagos	3.116.458
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	549.491
Magallanes y de la Antártica Chilena	110.445
Total	11.770.675

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio CDT 2015.

Utilizando la distribución de consumo de leña por tipo de artefactos presentada anteriormente y el consumo de leña regional del año 2015, se obtuvo el consumo de leña por región y tipo de artefacto del año 2015.

Tabla 36: Consumo de leña por región y tipo de artefacto, Año 2015 (m³/año).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	TOTAL
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)	37.995	5.636	1.296	0	3.889	3.945	0	52.762
Valparaíso	130.474	0	78.258	59.683	26.797	10.194	0	305.406
Metropolitana de Santiago	263.832	6.750	91.377	51.898	20.848	5.400	0	440.105

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	TOTAL
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	184.087	62.468	135.793	56.453	50.350	31.731	0	520.882
Maule	396.810	93.477	90.299	62.349	50.883	33.808	0	727.626
Ñuble y Biobío	1.154.849	367.691	381.998	188.698	144.975	101.553	0	2.339.764
Araucanía	1.149.954	408.163	220.408	130.612	106.122	52.795	0	2.068.053
Los Ríos	650.213	584.150	64.370	149.699	50.898	27.336	13.017	1.539.683
Los Lagos	1.480.761	952.536	91.923	517.833	36.769	23.314	13.322	3.116.458
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	187.034	222.327	6.943	126.570	0	4.876	1.741	549.491
Magallanes y de la Antártica Chilena	52.656	9.390	25.030	23.369	0	0	0	110.445

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio CDT 2015.

Tabla 37: Número de artefactos por tipo, Año 2015.

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	TOTAL
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)	31.502	4.206	1.051	0	3.154	2.103	0	42.017
Valparaíso	44.122	0	25.889	19.744	8.865	2.216	0	100.835
Metropolitana de Santiago	88.689	2.042	30.049	17.067	6.856	1.167	0	145.870
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	61.127	18.668	44.110	18.338	16.355	6.773	0	165.372
Maule	132.469	28.085	29.490	20.362	16.617	7.255	0	234.279
Ñuble y Biobío	235.592	67.509	76.234	37.658	28.932	13.318	0	459.243
Araucanía	168.171	53.721	31.532	18.686	15.182	4.963	0	292.255
Los Ríos	59.125	47.806	5.726	13.316	4.528	1.598	1.065	133.164
Los Lagos	125.757	72.807	7.637	43.022	3.055	1.273	1.018	254.569
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13.785	14.747	501	9.126	0	231	116	38.505
Magallanes y de la Antártica Chilena	3.736	600	1.737	1.622	0	0	0	7.694

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio CDT 2015.

Utilizando el consumo por región y tipo de artefacto y la cantidad de artefactos se obtuvo una tasa de consumo promedio por tipo de artefacto.

Tabla 38: Tasa de consumo promedio por región y tipo de artefacto, Año 2015 (m³/artefacto).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)		1,21	1,34	1,23	0,00	1,23	1,88
Valparaíso		2,96	0,00	3,02	3,02	3,02	4,60

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña
Metropolitana de Santiago	2,97	3,31	3,04	3,04	3,04	4,63	0,00
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	3,01	3,35	3,08	3,08	3,08	4,68	0,00
Maule	3,00	3,33	3,06	3,06	3,06	4,66	0,00
Ñuble y Biobío	4,90	5,45	5,01	5,01	5,01	7,63	0,00
Araucanía	6,84	7,60	6,99	6,99	6,99	10,64	0,00
Los Ríos	11,00	12,22	11,24	11,24	11,24	17,11	12,22
Los Lagos	11,77	13,08	12,04	12,04	12,04	18,32	13,08
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	13,57	15,08	13,87	13,87	0,00	21,11	15,08
Magallanes y de la Antártica Chilena	14,10	15,66	14,41	14,41	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio CDT 2015.

Para calcular el consumo de leña por región y tipo de artefacto año 2021, se utilizó el consumo de leña por región año 2021 y la misma distribución de consumo de leña por región y tipo de artefacto del año 2015.

Tabla 39: Consumo de leña por región y tipo de artefacto, Año 2021 (m³/año).

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	TOTAL
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)	32.894	4.880	1.122	0	3.367	3.416	0	45.679
Valparaíso	128.664	0	77.172	58.855	26.425	10.053	0	301.168
Metropolitana de Santiago	162.007	4.145	56.110	31.868	12.802	3.316	0	270.248
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	150.360	51.023	110.914	46.110	41.125	25.918	0	425.451
Maule	613.249	144.464	139.552	96.357	78.636	52.248	0	1.124.506
Ñuble y Biobío	1.411.184	449.305	466.788	230.582	177.154	124.094	0	2.859.107
Araucanía	1.569.868	557.206	300.891	178.306	144.874	72.073	0	2.823.218
Los Ríos	555.540	499.097	54.998	127.902	43.487	23.356	11.122	1.315.502
Los Lagos	1.037.307	667.274	64.394	362.754	25.758	16.332	9.332	2.183.151
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	151.821	180.470	5.636	102.741	0	3.958	1.414	446.039
Magallanes y de la Antártica Chilena	83.042	14.809	39.474	36.854	0	0	0	174.179

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio "Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC", año 2022, DICTUC y Estudio CDT 2015.

Este consumo de leña por región y tipo de artefacto 2021 se multiplicó por la tasa de consumo promedio por región y tipo de artefacto obtenido así la cantidad de artefactos año 2021.

Tabla 40: Número de artefactos por tipo, Año 2021.

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	TOTAL
Zona Norte (Desde 1° a 4° Región)	27.273	3.641	910	0	2.731	1.821	0	36.376
Valparaíso	43.509	0	25.529	19.470	8.742	2.185	0	99.436
Metropolitana de Santiago	54.460	1.254	18.452	10.480	4.210	717	0	89.572
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	49.928	15.248	36.029	14.978	13.359	5.533	0	135.074
Maule	204.724	43.404	45.575	31.468	25.681	11.213	0	362.065
Ñuble y Biobío	287.884	82.493	93.156	46.017	35.354	16.274	0	561.178
Araucanía	229.579	73.338	43.046	25.509	20.726	6.776	0	398.974
Los Ríos	50.516	40.845	4.892	11.378	3.868	1.365	910	113.775
Los Lagos	88.096	51.003	5.350	30.138	2.140	892	713	178.331
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	11.190	11.971	406	7.408	0	188	94	31.256
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.891	946	2.740	2.558	0	0	0	12.134

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio "Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC", año 2022, DICTUC y Estudio CDT 2015.

La cantidad de artefactos fue distribuida por región y a nivel comunal con información de consumos urbanos y rurales por región y comuna al año 2020 proporcionada por el MMA, en base a INFOR. De esta manera, la cantidad de artefactos final antes del recambio es la siguiente:

Tabla 41: Numero de artefactos¹⁰ Año 2021 por Región antes de Recambio.

Región	CD	CS	CL	SA	EH	CH	CAL	Total
Arica y Parinacota	1.442	0	214	49	148	150	0	2.003
Tarapacá	480	0	71	16	49	50	0	667
Antofagasta	584	0	87	20	60	61	0	811
Atacama	2.623	0	389	89	268	272	0	3.643
Coquimbo	21.066	0	3.125	719	2.156	2.188	0	29.254
Valparaíso	42.480	19.432	0	25.480	8.725	3.319	0	99.436
Metropolitana de Santiago	53.696	10.563	1.374	18.597	4.243	1.099	0	89.572
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	47.737	14.639	16.199	35.214	13.057	8.229	0	135.074
Maule	197.452	31.025	46.514	44.933	25.319	16.823	0	362.065
Ñuble	84.996	13.888	27.062	28.115	10.670	7.474	0	172.204
Biobío	191.988	31.370	61.127	63.505	24.101	16.883	0	388.974
Araucanía	221.852	25.198	78.744	42.522	20.473	10.185	0	398.974
Los Ríos	48.048	11.062	43.166	4.757	3.761	2.020	962	113.775
Los Lagos	84.733	29.632	54.506	5.260	2.104	1.334	762	178.331
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	10.639	7.199	12.646	395	0	277	99	31.256
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.785	2.567	1.032	2.750	0	0	0	12.134
Total	1.015.601	196.575	346.255	272.420	115.135	70.363	1.823	2.018.172

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC, Estudio CDT 2015 y Programas de Recambio de Calefactores Históricos (hasta el año 2021).

Las siguientes cantidades de artefactos fueron recambiados durante los años 2015 a 2021, información proporcionada por la contraparte de “Programa de Recambio de Calefactores”, MMA para cada Plan de Descontaminación. Dicha información fue distribuida para las comunas del plan de manera proporcional con el consumo de combustible por comuna 2021 (consumo obtenido desde a Estudio “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC).

Tabla 42: N° de artefactos recambiados Programa de Recambios (2015 a 2021).

¹⁰ CD: Cámara Doble; CS: Cámara Simple; CL: Cocina a Leña; SA: Salamandra; EH: Equipo Hechizo; CH: Chimenea; CAL: Caldera a Leña.

Plan	Región	Comuna	Calefactor certificado	Calefactor a pellet
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Rancagua	0	647
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Codegua	0	196
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Coinco	0	126
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Coltauco	0	308
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Doñihue	0	251
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Graneros	0	315
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Machalí	0	167
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Malloa	0	241
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Mostazal	0	261
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Olivar	0	185
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Quinta de Tilcoco	0	204
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Rengo	0	529
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Requinoa	0	379
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	San Vicente	0	710
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	San Fernando	0	547
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Chimbarongo	0	509
PDA PARA EL VALLE CENTRAL DE LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS	Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Placilla	0	164
PDA PARA LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE	Maule	Talca	0	3458
PDA PARA LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE	Maule	Maule	0	1094
PLAN PARA EL VALLE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE CURICÓ	Maule	Curicó	0	2742
PLAN PARA LA COMUNA DE LOS ÁNGELES	Biobío	Los Ángeles	0	1139
PDA PARA LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	Araucanía	Temuco	959	7.301
PDA PARA LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	Araucanía	Padre Las Casas	400	3045
PDA PARA LA COMUNA DE OSORNO	Los Lagos	Osorno	1186	3728
PLAN PARA LA CIUDAD DE COYHAIQUE Y SU ZONA CIRCUNDANTE	Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Coihaique	491	4863
PLAN PARA LA CIUDAD DE COYHAIQUE Y SU ZONA CIRCUNDANTE	Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Lago Verde	9	85
PDA PARA LA COMUNA DE VALDIVIA	Los Ríos	Valdivia	0	3220
PPDA PARA LAS COMUNAS DE CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO	Ñuble	Chillán	0	5755
PPDA PARA LAS COMUNAS DE CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO	Ñuble	Chillán Viejo	0	1023

Plan	Región	Comuna	Calefactor certificado	Calefactor a pellet
Total			3.045	43.193

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas de “Programa de Recambio de Calefactores” Año 2015 a 2021, MMA.

Finalmente, la cantidad de artefactos año 2021 descontando los recambiados y sumando los dos nuevos tipos (calefactor certificado y calefactor a pellet) son los siguientes.

Tabla 43: Numero de artefactos¹¹ Año 2021 por Región después de Recambio.

Región	CD	CS	CL	SA	EH	CH	CAL	CC	CP
Arica y Parinacota	1.442	0	214	49	148	150	0	0	0
Tarapacá	480	0	71	16	49	50	0	0	0
Antofagasta	584	0	87	20	60	61	0	0	0
Atacama	2.623	0	389	89	268	272	0	0	0
Coquimbo	21.066	0	3.125	719	2.156	2.188	0	0	0
Valparaíso	42.480	19.432	0	25.480	8.725	3.319	0	0	0
Metropolitana de Santiago	53.696	10.563	1.374	18.597	4.243	1.099	0	0	0
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	44.634	13.688	15.146	32.924	12.208	7.694	0	0	5.740
Maule	192.570	30.258	45.364	43.821	24.693	16.407	0	0	7.294
Ñuble	81.279	13.281	25.878	26.885	10.203	7.147	0	0	6.778
Biobío	191.292	31.256	60.905	63.275	24.014	16.821	0	0	1.139
Araucanía	213.974	24.303	75.947	41.012	19.746	9.824	0	1.359	10.346
Los Ríos	46.520	10.710	41.794	4.605	3.642	1.956	931	0	3.220
Los Lagos	82.176	28.737	52.861	5.101	2.041	1.294	739	1.186	3.728
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	7.643	5.172	9.086	284	0	199	71	500	4.948
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.785	2.567	1.032	2.750	0	0	0	0	0
Total	988.243	189.968	333.273	265.629	112.196	68.480	1.742	3.045	43.193

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC, Estudio CDT 2015 y Programas de Recambio de Calefactores Históricos (hasta el año 2021).

Tabla 44: Porcentajes de distribución de Humedad de la leña

Artefacto FE	% Leña Seca	% Leña Semi - Húmeda	% Leña Húmeda	% Mala Operación
Combustión lenta C/T	41%	39%	20%	30%
Cocina a leña	41%	39%	20%	30%

¹¹ CD: Cámara Doble; CS: Cámara Simple; CL: Cocina a Leña; SA: Salamandra; EH: Equipo Hechizo; CH: Chimenea; CAL: Caldera a Leña; CC: Calefactor certificado y CP: Calefactor a pellet.

Salamandra	41%	39%	20%	
Combustión lenta S/T	41%	39%	20%	30%
Chimenea	41%	39%	20%	

Fuente: Estudio “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

3.3.3 Niveles de actividad de Combustión Residencial de Gas Licuado, Gas Natural y Kerosene

Los niveles de actividad en el caso de la combustión residencial de gas licuado de petróleo (GLP), gas natural (GN) y kerosene corresponden a consumos de cada uno de los combustibles en cuestión. Estos consumos fueron extraídos de los reportes estadísticos anuales que reporta la SEC en su página web.

En el caso de gas licuado se consideró el tipo de consumidor “residencial”.

En el caso de gas natural se consideró las ventas del tipo “residencial”.

En el caso de kerosene se consideró las ventas totales de “kerosene doméstico”.

A continuación, se presentan los consumos residenciales de gas licuado, gas natural y kerosene por región:

Tabla 45: Consumos Residenciales de Gas Licuado, Gas Natural y Kerosene por región, Año 2021.

Región	Kerosene (m3)	Gas Natural (Mm3)	Gas Licuado (ton)
Arica y Parinacota	28	0	5.466
Tarapacá	100	0	6.368
Antofagasta	266	920	17.928
Atacama	214	0	8.966
Coquimbo	1.389	487	27.974
Valparaíso	9.485	27.074	93.168
Metropolitana de Santiago	82.665	329.266	272.458
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	15.525	1.740	51.124
Maule	12.520	907	55.916
Ñuble	4.609	1.134	23.575
Biobío	13.573	17.139	52.172
Araucanía	8.761	3.169	37.140
Los Ríos	3.890	0	15.029
Los Lagos	12.530	2.295	31.845
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	4.424	0	4.909
Magallanes y de la Antártica Chilena	0	230.853	498
Total	169.978	614.984	704.536

Fuente: Elaboración propia en base a Informe Estadístico SEC, Año 2021.

Los consumos regionales se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de población de cada región obtenidos de las proyecciones de población 2002-2035 del Censo INE 2017.

3.3.4 Niveles de actividad de Incendios Forestales

Los niveles de actividad de “Incendios Forestales” corresponden a la masa quemada por tipo de bosque, la cual se obtiene en base a la superficie quemada en el incendio, (expresada en hectáreas afectadas por tipo de bosque: vegetación natural y plantaciones forestales) multiplicada por la carga orgánica de esta misma (expresada en ton/ha).

Se trabajó con información reportada por CONAF, única entidad que registra y autoriza el uso del fuego para la eliminación de residuos, rastrojos y/o desechos etc. de origen vegetal. Se definen pastizales, matorrales y bosque nativo como vegetación natural, pinos y eucaliptus como plantaciones forestales. Toda esta información se encuentra a nivel regional y comunal y fue reportada en el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

A continuación, se presentan las superficies (ha) y masas (ton) quemadas a raíz de los incendios forestales por tipo de bosque y región.

Tabla 46: Superficies (ha) afectadas por incendios forestales por región, Año 2021

Región	Arboleado	Desechos	Eucaliptus	Matorral	Pastizal	Pino
Arica y Parinacota	1,00	0,80	1,00	15,15	5,85	0,00
Tarapacá	0,00	0,00	0,10	9,50	13,20	0,00
Antofagasta	0,00	0,00	0,00	2,45	7,43	0,00
Atacama	4,71	0,04	0,20	8,02	5,10	0,00
Coquimbo	690,56	10,33	17,31	514,19	128,98	0,00
Valparaíso	1.230,47	11,11	793,76	2.620,05	1.733,55	289,28
Metropolitana de Santiago	341,47	7,95	8,77	675,77	409,86	0,30
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	743,62	46,78	147,95	483,28	826,66	794,75
Maule	2.289,37	94,90	68,80	805,23	511,64	81,28
Ñuble	111,61	301,59	165,23	286,37	244,64	790,89
Biobío	221,14	323,25	1.302,26	2.289,10	543,55	1.597,56
Araucanía	1.072,50	3.239,25	3.696,48	8.624,42	2.173,56	4.340,73
Los Ríos	30,23	69,25	15,99	56,31	73,58	17,01
Los Lagos	244,15	154,15	80,48	412,26	59,27	5,83
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	57,39	9,82	0,01	549,47	1.103,79	0,70
Magallanes y de la Antártica Chilena	102,92	0,23	0,00	106,94	114,05	0,00
Total	7.141,14	4.269,43	6.298,34	17.458,50	7.954,71	7.918,33

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF obtenidos desde el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

Tabla 47: Masas quemadas (ton) incendios forestales por región, Año 2021.

Región	Arboleado	Desechos	Eucaliptus	Matorral	Pastizal	Pino
Arica y Parinacota	50,40	4,77	69,40	216,65	24,00	0,00
Tarapacá	0,00	0,00	6,94	135,85	54,12	0,00
Antofagasta	0,00	0,00	0,00	35,04	30,46	0,00
Atacama	237,38	0,24	13,88	114,61	20,91	0,00
Coquimbo	34.803,97	61,61	1.201,31	7.352,92	528,82	0,00
Valparaíso	62.015,79	66,30	55.086,81	37.466,70	7.107,57	14.579,46
Metropolitana de Santiago	17.210,29	47,44	608,64	9.663,47	1.680,44	15,12
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	37.478,62	279,12	10.267,87	6.910,91	3.389,31	40.055,40
Maule	115.384,20	566,24	4.774,72	11.514,79	2.097,70	4.096,33
Ñuble	5.625,04	1.799,46	11.467,10	4.095,14	1.003,00	39.861,05
Biobío	11.145,40	1.928,70	90.376,52	32.734,18	2.228,54	80.517,05
Araucanía	54.053,91	19.327,50	256.535,83	123.329,17	8.911,59	218.772,81
Los Ríos	1.523,54	413,16	1.109,71	805,24	301,66	857,30
Los Lagos	12.305,17	919,76	5.585,45	5.895,35	243,01	293,83
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	2.892,56	58,57	0,56	7.857,35	4.525,53	35,43
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.187,02	1,37	0,00	1.529,20	467,61	0,00
Total	359.913,28	25.474,24	437.104,73	249.656,56	32.614,29	399.083,79

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF obtenidos desde el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

A continuación, se presenta una comparación de las superficies por tipos de bosque afectadas por incendios forestales desde el año 2018 al 2021. Se encuentra que la magnitud de los incendios forestales tiende a mostrar un comportamiento más bien aleatorio a lo largo de los años, siendo los presentados en este estudio (año 2021) aproximadamente la mitad de los que ocurrieron en los años 2019 y 2020.

Tabla 48: Comparación del nivel de actividad de incendios forestales, años 2018-2021 (ha/año).

Año	Pino	Eucaliptus	Arboleado	Matorral	Pastizal	Desechos Forestales	Total
2018		4.112	4.145	6.718	8.011	9.554 -	32.540
2019		14.252	15.413	23.813	23.088	13.124	100.597
2020		18.097	20.042	30.749	33.729	17.769	135.295
2021 (RETC)		7.898	6.298	7.186	17.458	9.059	52.169
2021 (Actual)		7.918	6.298	7.141	17.459	7.955	51.040

Fuente: Elaboración propia a partir de informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

3.3.5 Niveles de actividad de Quemadas Agrícolas¹²

Los niveles de actividad de “Quemadas Agrícolas” corresponden a la masa quemada por tipo de especie, la cual se obtiene en base a la superficie quemada (expresada en hectáreas por tipo de cultivo y/o vegetación) multiplicada por la carga orgánica de esta misma (expresada en ton/ha).

Se trabajó con la Base de Datos generada por CONAF a nivel regional y comunal, única entidad que registra y autoriza el uso del fuego para la eliminación de residuos, rastrojos y/o desechos de origen vegetal, la cual fue reportada en el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

Las especies vegetales que se encuentran dentro de la clasificación de CONAF son algunos cereales (desechos provenientes de la post-cosecha de Trigo, Maíz, Cebada etc.), actividades silvícolas (podas, raleos y desechos de cosecha) de plantaciones forestales y vegetación menor como matorrales y pastizales en sitios abiertos, para habilitar caminos, superficie para siembra, limpieza de canales etc.

A continuación, se presenta las superficies (ha) y masas (ton) quemadas a raíz de las quemadas agrícolas por tipo de cultivo y región.

¹² El uso de registro de permisos de quemadas de CONAF subestima esta Fuente, ya que las mismas estadísticas de CONAF por ejemplo muestran un descenso en los avisos de quemadas en el tiempo, pero un aumento de incendios forestales provenientes de quemadas ilegales. Para el Desarrollo de esta actividad se siguieron las directrices del manual de inventario de emisiones MMA 2017 la cual no sugiere efectuar el análisis solicitado. Una propuesta de mejora metodológica de este aspecto queda fuera del alcance de este estudio. Sin embargo, se debería avanzar en mejoras metodológicas para estimar potencial superficie asociada a quemadas ilegales, para una adecuada consideración de esta Fuente

Tabla 49: Superficies (ha) sometidas a quemas agrícolas por región, Año 2021.

Región	Avena	Cebada	Desechos de Explotación Eucaliptus	Desechos de Explotación otras especies	Desechos de Explotación Pino	Maíz	Otros cultivos	Ramas	Trigo	Vegetación
Arica y Parinacota	0,00	0,00	0,00	33,31	0,00	7,75	8,30	189,43	0,10	41,48
Tarapacá	0,00	0,00	0,00	13,46	0,00	0,00	0,00	2,22	0,00	0,00
Antofagasta	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,45	1,69	0,39	0,20	15,33
Atacama	0,20	0,00	0,04	18,82	0,00	0,50	72,16	89,23	1,00	0,25
Coquimbo	0,00	0,00	0,10	18,22	0,00	9,50	34,00	151,90	3,50	24,51
Valparaíso	0,00	0,00	5,83	26,84	2,26	0,20	9,89	316,22	54,50	1,72
Metropolitana de Santiago	0,00	0,00	0,00	248,14	0,00	0,02	13,54	119,04	35,00	0,04
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	3,20	5,10	43,71	278,83	71,57	999,12	166,81	1.048,46	519,35	48,29
Maule	201,80	22,50	246,69	186,90	2.317,66	586,65	560,39	1.901,48	1.118,40	28,21
Ñuble	12.878,94	201,50	582,04	241,22	1.316,74	908,20	1.532,22	581,62	18.976,46	486,65
Biobío	3.168,59	243,00	1.075,25	20,25	2.162,17	188,00	754,60	598,89	6.259,46	1.176,81
Araucanía	42.443,09	4.411,92	865,85	32,86	1.000,71	252,47	15.518,53	356,65	45.143,65	560,00
Los Ríos	1.197,70	395,50	133,48	5,62	46,56	36,80	209,97	545,96	3.409,37	1,50
Los Lagos	1.000,00	481,00	36,81	37,28	0,20	13,00	911,61	570,05	6.168,50	120,52
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	0,00	0,00	0,00	70,60	0,10	0,00	3,60	200,69	0,00	1,10
Magallanes y de la Antártica Chilena	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,05	2,93	0,00	3,01
Total	60.893,52	5.760,52	2.989,80	1.232,66	6.917,97	3.003,66	19.797,36	6.675,14	81.689,49	2.509,41

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF obtenidos desde el informe "Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC", año 2022, DICTUC.

Tabla 50: Masas quemadas (ton) quemadas agrícolas por región, Año 2021.

Región	Avena	Cebada	Desechos de Explotación Eucaliptus	Desechos de Explotación otras especies	Desechos de Explotación Pino	Maíz	Otros cultivos	Ramas	Trigo	Vegetación
Arica y Parinacota	0,00	0,00	0,00	199,86	0,00	80,60	44,82	359,91	0,47	223,99
Tarapacá	0,00	0,00	0,00	80,76	0,00	0,00	0,00	4,22	0,00	0,00
Antofagasta	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	15,08	9,13	0,74	0,94	82,78
Atacama	0,80	0,00	0,22	112,92	0,00	5,20	389,66	169,54	4,70	1,35
Coquimbo	0,00	0,00	0,54	109,32	0,00	98,80	183,60	288,61	16,45	132,35
Valparaíso	0,00	0,00	31,48	161,04	14,69	2,08	53,41	600,82	256,15	9,29
Metropolitana de Santiago	0,00	0,00	0,00	1.488,84	0,00	0,21	73,12	226,18	164,50	0,19
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	12,80	21,42	236,01	1.672,95	465,21	10.390,85	900,77	1.992,06	2.440,95	260,75
Maule	807,20	94,50	1.332,13	1.121,40	15.064,79	6.101,16	3.026,11	3.612,81	5.256,48	152,33
Ñuble	51.515,76	846,30	3.143,02	1.447,32	8.558,81	9.445,28	8.273,99	1.105,08	89.189,36	2.627,91
Biobío	12.674,36	1.020,60	5.806,35	121,50	14.054,11	1.955,20	4.074,84	1.137,89	29.419,46	6.354,77
Araucanía	169.772,36	18.530,06	4.675,59	197,13	6.504,62	2.625,69	83.800,06	677,63	212.175,16	3.024,00
Los Ríos	4.790,80	1.661,10	720,79	33,72	302,64	382,72	1.133,84	1.037,31	16.024,04	8,10
Los Lagos	4.000,00	2.020,20	198,77	223,68	1,30	135,20	4.922,69	1.083,10	28.991,95	650,81
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	0,00	0,00	0,00	423,60	0,65	0,00	19,44	381,31	0,00	5,94
Magallanes y de la Antártica Chilena	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,27	5,57	0,00	16,25
Total	243.574,08	24.194,18	16.144,89	7.395,96	44.966,81	31.238,06	106.905,74	12.682,76	383.940,60	13.550,82

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de CONAF obtenidos desde el informe “Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

3.3.6 Niveles de actividad de Fuentes Móviles en Ruta

Los niveles de actividad en el caso de fuentes móviles en ruta corresponden a los kilómetros recorridos totales de las distintas categorías vehiculares, las siguientes:

- Particulares
- Alquiler
- Comerciales uso particular
- Camiones livianos
- Motocicletas
- Taxis colectivos
- Buses urbanos
- Camiones pesados
- Camiones medianos
- Buses interurbanos
- Buses rurales
- Buses Troncal 1 Rígidos
- Buses Troncal 1 Articulados
- Buses Alimentadora 1
- Vehículos medianos

Para la caracterización y aplicación de la metodología de cálculo de emisiones de fuentes móviles en ruta se cuenta con información de entrada (Niveles de actividad) al sistema MODEM v.6 para las ciudades con modelo de transporte. Cabe destacar que para el resto las comunas para las cuales no se disponga de información detallada para realizar la estimación de emisiones mediante la “metodología tipo arco para ciudades con modelo de transporte” se utilizó la metodología tipo zona para ciudades sin modelo de transporte.

A continuación, se describen los principales insumos utilizados por las metodologías de cálculo de fuentes móviles en ruta.

Información para ciudades o zonas con Modelo de Transporte (Metodología Tipo Arco)

Esta etapa consiste en la obtención de los archivos de corridas de transporte los cuales son proporcionados por SECTRA para correr el sistema MODEM v.6. En el caso de ciudades con modelo se cuenta con información detallada de las corridas, estas ciudades son las siguientes:

Tabla 51: Ciudades con Modelo de Transporte

Región	Ciudad
Región de Arica y Parinacota	Arica
Región de Tarapacá	Iquique
	Alto Hospicio
Región de Antofagasta	Antofagasta
	Calama
Región de Atacama	Copiapó
Región de Coquimbo	La Serena
	Coquimbo
	Ovalle
Región de Valparaíso	Valparaíso
	Concón
	Viña del Mar
	Quilpué
	Villa Alemana
Región Metropolitana de Santiago	Santiago
	Cerrillos
	Cerro Navia
	Conchalí
	El Bosque
	Estación Central
	Huechuraba
	Independencia
	La Cisterna
	La Florida
	La Granja
	La Pintana
	La Reina
	Las Condes
	Lo Barnechea
	Lo Espejo
	Lo Prado
	Macul
	Maipú
	Ñuñoa
Pedro Aguirre Cerda	
Peñalolén	
Providencia	

Región	Ciudad
	Pudahuel
	Quilicura
	Quinta Normal
	Recoleta
	Renca
	San Joaquín
	San Miguel
	San Ramón
	Vitacura
	Puente Alto
	Pirque
	Colina
	Lampa
	Tiltil
	San Bernardo
	Buín
	Calera de Tango
	Paine
	Talagante
	Isla de Maipo
	Padre Hurtado
	Peñaflor
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Rancagua
	Machalí
Región del Maule	Talca
	Curicó
	Linares
Región de Ñuble	Chillán
Región del Biobío	Concepción
	Coronel
	Chiguayante
	Florida
	Hualqui
	Lota
	Penco
	San Pedro de la Paz
	Santa Juana
	Talcahuano

Región	Ciudad
	Tomé
	Hualpén
	Los Ángeles
Región de La Araucanía	Temuco
	Padre las Casas
	Angol
Región de Los Ríos	Valdivia
Región de Los Lagos	Puerto Montt
	Osorno
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Punta Arenas

Fuente: SECTRA año 2021

Para el caso de ciudades con modelo los flujos utilizados provienen de los archivos prepara emisiones SECTRA. A continuación, se presentan los flujos horas (Horario Punta Mañana) y FP (Horario Fuera de Punta) para el año 2021 en ciudades con modelo de transporte.

Tabla 52: Flujos horas y FP, Año 2021 en Ciudades con Modelo de Transporte

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (horas)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
Arica	Buses Urbanos	29.757	40.089
	Camiones Livianos	6.134	8.212
	Camiones Pesados	996	1.831
	Colectivos	113.029	79.820
	Fijo	214.045	194.791
	Variable	343.483	178.689
Iquique	Buses Urbanos	25.390	25.109
	Camiones	8.072	8.072
	Colectivos	242.342	229.868
	Fijo	336.326	322.034
	Variable	423.619	283.470
Antofagasta	Buses Urbanos	65.855	52.898
	Camiones Livianos	15.734	22.175
	Camiones Pesados	5.355	6.738
	Colectivos	181.074	117.457
	Fijo	321.735	258.735
	Variable	918.067	392.144
Calama	Buses Urbanos	9.962	13.019
	Buses Interurbanos	666	530
	Camiones Livianos	5.875	12.512

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (horas)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
	Camiones Pesados	2.413	4.355
	Colectivos	81.048	68.596
	Fijo	154.913	161.368
	Variable	279.544	265.080
Copiapó	Buses Urbanos	11.667	7.170
	Camiones Livianos	9.161	7.327
	Camiones Pesados	3.227	3.216
	Colectivos	124.835	121.886
	Fijo	209.832	197.061
	Variable	483.913	295.766
La Serena-Coquimbo	Buses Urbanos	68.141	38.804
	Buses Interurbanos	4.011	3.836
	Camiones Pesados	6.921	4.254
	Camiones Livianos	3.841	4.298
	Colectivos	388.248	275.324
	Fijo	541.690	367.253
	Variable	1.062.029	523.820
Ovalle	Buses Urbanos	4.573	4.573
	Buses Interurbanos	921	938
	Camiones	3.749	4.342
	Colectivos	80.754	56.969
	Fijo	165.259	126.402
	Variable	151.748	61.116
Gran Valparaíso	Buses Urbanos	379.930	173.010
	Buses Interurbanos	4.853	6.133
	Buses Rurales	9.704	10.044
	Camiones Livianos	44.003	60.125
	Camiones Pesados	15.959	24.517
	Colectivos	350.329	245.389
	Fijo	998.237	858.942
	Variable	2.608.528	1.310.872
Gran Santiago	Buses Troncal 1 Articulados	14.353	93.389
	Buses Troncal 1 Rígidos	26.838	116.480
	Buses Alimentador 1	16.486	108.117
	Buses Interurbanos	1.164	1.164
	Buses Rurales	72.555	67.436
	Camiones	232.963	366.683

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (horas)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
	Colectivos	676.530	570.931
	Fijo	1.638.355	1.318.367
	Variable	20.724.994	7.673.022
Rancagua	Buses Urbanos	28.704	30.097
	Buses Rurales	4.274	4.438
	Camiones Livianos	12.157	21.004
	Camiones Pesados	2.897	3.533
	Colectivos	151.688	213.197
	Fijo	273.451	375.575
	Variable	837.175	534.632
Curicó	Buses Urbanos	9.803	9.012
	Buses Rurales	6.929	6.196
	Buses Interurbanos	2.764	1.536
	Camiones	10.354	15.517
	Colectivos	89.380	50.744
	Fijo	153.465	112.602
	Variable	278.921	189.589
Talca	Buses Urbanos	16.228	15.994
	Buses Interurbanos	488	488
	Camiones Pesados	1.860	1.860
	Camiones Livianos	6.146	6.146
	Colectivos	59.478	59.108
	Furgones Escolares	5.700	5.700
	Fijo	114.904	113.847
	Variable	504.144	280.352
Linares	Buses Urbanos	7.278	7.208
	Buses Interurbanos	3.699	4.446
	Camiones	13.006	29.414
	Colectivos	17.942	61.805
	Furgones Escolares	8.615	6.856
	Fijo	84.506	182.339
	Variable	118.260	92.807
Chillán	Buses Urbanos	25.348	16.211
	Buses Interurbanos	3.425	3.415
	Camiones Livianos	12.267	21.490
	Camiones Pesados	3.749	3.936
	Colectivos	40.277	47.750

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (horas)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
	Fijo	132.642	140.760
	Variable	388.682	260.793
Gran Concepción	Buses Urbanos	134.511	134.511
	Colectivos	66.431	66.431
	Camiones Pesados	10.216	10.216
	Camiones Livianos	11.118	11.118
	Fijo	294.467	294.467
	Variable	1.242.548	1.242.548
Los Ángeles	Buses Urbanos	14.477	12.446
	Buses Interurbanos	1.747	1.031
	Camiones	8.415	11.046
	Colectivos	102.916	94.765
	Fijo	180.022	170.466
	Variable	246.225	156.252
Temuco-PLC	Buses Urbanos	93.726	67.523
	Buses Interurbanos	924	170
	Buses Rurales	4.837	4.638
	Camiones Livianos	17.428	22.531
	Camiones Pesados	3.813	5.320
	Colectivos	220.245	220.245
	Fijo	510.737	481.046
	Variable	1.065.920	444.693
Valdivia	Buses Urbanos	22.585	12.141
	Buses Interurbanos	1.959	942
	Buses Rurales	2.283	2.268
	Camiones Livianos	3.496	6.320
	Camiones Pesados	872	1.402
	Colectivos	59.011	67.237
	Fijo	133.156	131.154
	Variable	349.566	225.535
Angol	Buses Urbanos	1.368	2.298
	Buses Interurbanos	735	478
	Camiones Pesados	3.426	3.020
	Camiones Livianos	3.326	3.882
	Colectivos	31.639	26.839
	Fijo	51.746	48.519
	Variable	90.787	48.242

Ciudad	Tipo de Flujo	Flujo Horario Punta (horas)	Flujo Horario Fuera de Punta (FP)
Osorno	Buses Urbanos	23.777	20.700
	Buses Rurales	6.943	4.247
	Camiones Pesados	5.243	6.632
	Camiones Livianos	8.739	14.967
	Colectivos	131.086	145.005
	Fijo	257.533	280.622
	Variable	284.032	186.657
Puerto Montt	Buses Urbanos	45.509	25.329
	Buses Interurbanos	6.173	5.316
	Buses Rurales	8.380	12.590
	Camiones Livianos	9.306	12.737
	Camiones Pesados	3.875	6.772
	Colectivos	139.715	144.144
	Fijo	316.568	307.479
Variable	809.109	392.185	
Punta Arenas	Buses Urbanos	5.525	5.842
	Buses Interurbanos	109	109
	Camiones Livianos	3.789	3.841
	Camiones Pesados	841	863
	Colectivos	182.807	198.669
	Furgones Escolares	2.446	3.744
	Fijo	280.651	305.223
	Variable	357.145	260.301
Totales		46.232.320	27.162.679

Fuente: SECTRA año 2021 (Archivos prepara emisiones para los horarios Punta horas y Fuera de Punta FP).

Además, se requiere de las coordenadas asociadas a los arcos de las redes viales correspondientes a la zona en estudio y los archivos de nodos. A modo de ejemplo se presenta una imagen shape para el caso de Gran Concepción.

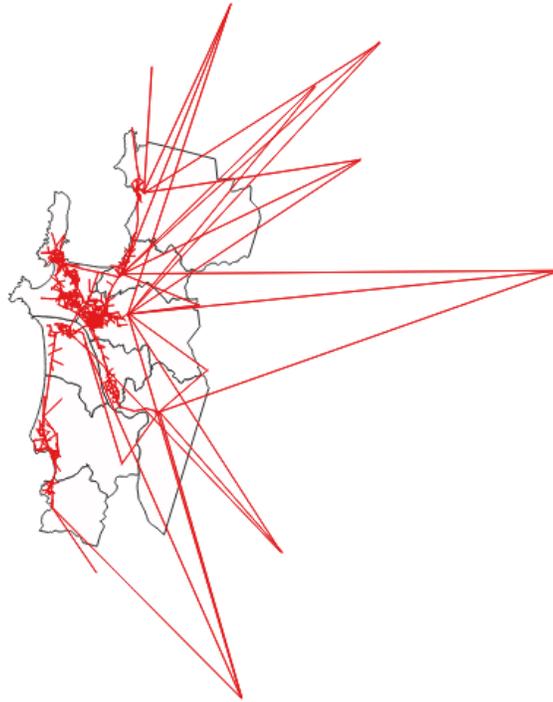


Figura 69: Red Vial Gran Concepción. Fuente: SECTRA año 2021 (Archivos shapes de redes viales)

Figura 70: Extracto Archivo Prepara Emisiones Horario Punta (horas) Gran Concepción

NA	NB	TPO_FLIBRE	F_FU	F_VAR	CAP	LONG	F_BUSU	F_COL	F_CAM_L	F_CAM_P
48010	48030	31	102	842	5200	491	272	31	9	20
61010	62050	52	349	1531	2340	789	37	12	23	91
62030	62040	25	404	935	3600	373	56	12	42	83
62030	81020	37	407	1275	2574	509	57	36	23	91
62040	62030	25	407	1029	3600	373	57	36	23	91
62040	62050	10	404	1306	3600	144	56	12	42	83
62050	61010	57	404	1357	3600	789	56	12	42	83
62050	62040	10	369	1506	3600	144	49	12	23	91
64010	61010	57	340	1105	3600	850	37	3	23	91
64010	64020	61	818	2344	3400	845	294	22	42	83
64020	64010	34	930	4621	3400	845	332	26	55	91
81020	62030	38	455	1339	3600	509	76	30	42	83
81020	82050	38	503	1046	2772	579	84	15	58	91
82050	81020	44	457	1303	2574	579	83	19	42	83
82050	100010	46	469	1045	2050	622	121	4	13	92
100020	105010	60	151	308	2050	1182	30	19	6	27
157010	203027	65	227	2126	1601	1077	214	48	13	60
161010	168010	267	228	8	1800	1706	20	15	13	60
162015	163010	37	415	1925	3600	517	214	236	13	60
163010	161010	133	246	116	1080	2100	20	34	13	60
203012	82050	1	644	821	2800	32	248	3	46	49
48010	48030	31	102	842	5200	491	272	31	9	20

Fuente: SECTRA año 2021 (Archivo prepara emisiones Horario Punta (horas))

Composiciones vehiculares y tecnológicas: Para la generación de las composiciones vehiculares y tecnológicas requeridas por la metodología es necesario descomponer las categorías vehiculares que entrega el modelo de transporte en tipos más específicos que permitan aplicar los factores de emisión, los cuales consideran el tipo de vehículo y su nivel tecnológico (categorías k en la metodología tipo arco). Para esto se utiliza la información de parque vehicular del INE en combinación con las bases de datos de revisión técnica las que permiten agrupar los vehículos en una zona dada (comuna) según su tipo y año de ingreso lo cual lleva asociada la norma que cumple (EURO I, EURO II, EURO III, etc.). En general todos los arcos de una zona dada tendrán la mismas composiciones vehicular y tecnológica.

En el caso de la composición vehicular, se consideran las categorías vehiculares CCF6 (agrupación de vehículos con características similares desde el punto de vista de su tipo y uso) para los distintos horarios de modelación (horas, FP) y para las zonas geográficas en las cuales es dividida el área de estudio.

A continuación, se presenta un extracto del archivo de composición vehicular para Gran Concepción, donde el horario de modelación corresponde al Horario Punta (horas) para las 5 zonas consideradas:

Tabla 53: Composición Vehicular Gran Concepción Horario Punta (horas)

CCF6_COD	HOR_COD	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
701001	5	0,36740598	0,50966946	0,45390447	0,55860020	0,50456767
701002	5	0,01060752	0,00764641	0,00811175	0,00544734	0,02400680
701003	5	0,24903568	0,25483473	0,27095904	0,23093430	0,21967283
701004	5	0,04435873	0,02869977	0,03819375	0,03945196	0,02124495
701005	5	0,01639344	0,01364696	0,01852220	0,00561241	0,01593372
701006	5	0,01108968	0,01268687	0,00846540	0,01271047	0,01550882
701007	5	0,00916104	0,00966946	0,00265234	0,00000000	0,00446144
701008	5	0,00289296	0,02211631	0,00053047	0,00198085	0,01125983
701009	5	0,14296046	0,08181319	0,12187521	0,13502806	0,11259826
701010	5	0,06002893	0,02842546	0,03956413	0,00115550	0,01933291
701037	5	0,00096432	0,00041147	0,00156930	0,00000000	0,00000000
701038	5	0,00096432	0,00212591	0,00302809	0,00000000	0,00233694
701039	5	0,08413693	0,02825401	0,03262383	0,00907890	0,04907584
701040	5	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000

Fuente: Permisos de circulación INE y PRT, año 2021

Donde:

CCF6_COD: Código de Clasificación de Fuentes, nivel 6.

HOR_COD: Código de horario de modelación.

Z1, Z2, Z3, Z4, Z5: Identificador de Zonas consideradas en Gran Concepción.

En el caso de la composición tecnológica, se consideran las categorías a nivel CCF8¹³, que en el caso de fuentes móviles en ruta corresponden a las características tecnológicas del vehículo asociadas a una norma de emisión, por ejemplo: Euro I, Euro II, etc., para las zonas geográficas en las cuales es dividida el área de estudio.

A continuación, se presenta un extracto del archivo de composición tecnológica para Gran Concepción, correspondientes a Vehículos Particulares para las 5 zonas consideradas:

Tabla 54: Composición Tecnológica de Vehículos Particulares Gran Concepción

CCF8_COD	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
70100101	0,17646005	0,17646005	0,17646005	0,17646005	0,17646005
70100102	0,12723510	0,12723510	0,12723510	0,12723510	0,12723510
70100103	0,01091633	0,01091633	0,01091633	0,01091633	0,01091633
70100105	0,03785494	0,03785494	0,03785494	0,03785494	0,03785494
70100106	0,15345737	0,15345737	0,15345737	0,15345737	0,15345737
70100107	0,03582529	0,03582529	0,03582529	0,03582529	0,03582529
70100108	0,04305641	0,04305641	0,04305641	0,04305641	0,04305641
70100110	0,00156800	0,00156800	0,00156800	0,00156800	0,00156800
70100111	0,08248333	0,08248333	0,08248333	0,08248333	0,08248333
70100113	0,00812257	0,00812257	0,00812257	0,00812257	0,00812257
70100114	0,22563327	0,22563327	0,22563327	0,22563327	0,22563327
70100115	0,09622923	0,09622923	0,09622923	0,09622923	0,09622923
70100121	0,00006765	0,00006765	0,00006765	0,00006765	0,00006765
70100122	0,00023878	0,00023878	0,00023878	0,00023878	0,00023878
70100123	0,00035419	0,00035419	0,00035419	0,00035419	0,00035419
70100125	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398
70100131	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398
70100133	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398	0,00000398
70100144	0,00048552	0,00048552	0,00048552	0,00048552	0,00048552

Fuente: Permisos de circulación INE y PRT, año 2021.

¹³ CCF8: Código de Clasificación de Fuentes, Nivel 8

Donde:

CCF8_COD: Código de Clasificación de Fuentes, nivel 8.

Z1, Z2, Z3, Z4, Z5: Identificador de Zonas consideradas en Gran Concepción.

Hay que destacar que una zona puede corresponder a parte de una comuna o a una agrupación de una o más comunas.

En el caso de Gran Santiago, Gran Valparaíso y Gran Concepción las zonas corresponden a agrupaciones de comunas.

Perfiles Temporales: Los modelos de transporte sólo entregan información de flujo para ciertos períodos de un día laboral (punta, fuera de punta y punta tarde), no obstante, los modelos de emisiones requieren los flujos para las 24 horas del día para todos los días de una semana y para distintos meses del año. Para esto SECTRA ha proporcionado perfiles históricos, contruidos a partir de campañas de conteos vehiculares, los cuales diferencian tipos de vehículos según sentido de circulación en una zona dada (sector). Por otra parte, en general se considera en la metodología MODEM que estos perfiles presentan una baja variabilidad y se recomienda su actualización cada 5 años y para los fines del presente estudio estos serán tomados en forma directa de las bases de datos generadas para el RETC en los años anteriores.

A continuación, se presenta el perfil mensual para las categorías vehiculares (CCF6) y un extracto del perfil semanal para Vehículos Particulares en Gran Concepción:

Tabla 55: Perfil Mensual Gran Concepción

CCF6_COD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
701001	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701002	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701003	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701004	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701005	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701006	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701007	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701008	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701009	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701010	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701037	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701038	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701039	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
701040	1,11	1,11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013.

Tabla 56: Extracto de Perfil Semanal Gran Concepción

CCF8_COD	ZONA	SENTIDO	DIA	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
701001	Z1	1	D	0,26	0,17	0,12	0,11	0,12	0,16	0,15	0,19	0,22	0,32	0,42	0,49	0,42	0,46	0,45	0,53	0,54	0,86	0,78	0,50	0,78	0,76	0,63	0,43
701001	Z1	1	LJ	0,28	0,15	0,12	0,11	0,09	0,14	0,31	0,80	1,00	0,77	0,78	0,67	0,66	0,71	0,71	0,67	0,71	0,67	0,87	0,93	0,70	0,47	0,62	0,41
701001	Z1	1	S	0,25	0,19	0,19	0,10	0,14	0,17	0,28	0,50	0,51	0,58	0,75	0,88	0,64	0,60	0,56	0,61	0,74	0,96	1,02	0,60	0,92	0,83	0,77	0,60
701001	Z1	1	V	0,36	0,25	0,16	0,10	0,13	0,14	0,29	0,77	0,91	0,63	0,67	0,61	0,55	0,69	0,73	0,56	0,68	0,67	0,97	1,23	0,81	0,56	0,94	0,74
701001	Z1	2	D	0,26	0,17	0,12	0,11	0,12	0,16	0,15	0,19	0,22	0,32	0,42	0,49	0,42	0,46	0,45	0,53	0,54	0,86	0,78	0,50	0,78	0,76	0,63	0,43
701001	Z1	2	LJ	0,28	0,15	0,12	0,11	0,09	0,14	0,31	0,80	1,00	0,77	0,78	0,67	0,66	0,71	0,71	0,67	0,71	0,67	0,87	0,93	0,70	0,47	0,62	0,41
701001	Z1	2	S	0,25	0,19	0,19	0,10	0,14	0,17	0,28	0,50	0,51	0,58	0,75	0,88	0,64	0,60	0,56	0,61	0,74	0,96	1,02	0,60	0,92	0,83	0,77	0,60
701001	Z1	2	V	0,36	0,25	0,16	0,10	0,13	0,14	0,29	0,77	0,91	0,63	0,67	0,61	0,55	0,69	0,73	0,56	0,68	0,67	0,97	1,23	0,81	0,56	0,94	0,74
701001	Z1	3	D	0,26	0,17	0,12	0,11	0,12	0,16	0,15	0,19	0,22	0,32	0,42	0,49	0,42	0,46	0,45	0,53	0,54	0,86	0,78	0,50	0,78	0,76	0,63	0,43
701001	Z1	3	LJ	0,28	0,15	0,12	0,11	0,09	0,14	0,31	0,80	1,00	0,77	0,78	0,67	0,66	0,71	0,71	0,67	0,71	0,67	0,87	0,93	0,70	0,47	0,62	0,41
701001	Z1	3	S	0,25	0,19	0,19	0,10	0,14	0,17	0,28	0,50	0,51	0,58	0,75	0,88	0,64	0,60	0,56	0,61	0,74	0,96	1,02	0,60	0,92	0,83	0,77	0,60
701001	Z1	3	V	0,36	0,25	0,16	0,10	0,13	0,14	0,29	0,77	0,91	0,63	0,67	0,61	0,55	0,69	0,73	0,56	0,68	0,67	0,97	1,23	0,81	0,56	0,94	0,74
701001	Z1	4	D	0,26	0,17	0,12	0,11	0,12	0,16	0,15	0,19	0,22	0,32	0,42	0,49	0,42	0,46	0,45	0,53	0,54	0,86	0,78	0,50	0,78	0,76	0,63	0,43
701001	Z1	4	LJ	0,28	0,15	0,12	0,11	0,09	0,14	0,31	0,80	1,00	0,77	0,78	0,67	0,66	0,71	0,71	0,67	0,71	0,67	0,87	0,93	0,70	0,47	0,62	0,41
701001	Z1	4	S	0,25	0,19	0,19	0,10	0,14	0,17	0,28	0,50	0,51	0,58	0,75	0,88	0,64	0,60	0,56	0,61	0,74	0,96	1,02	0,60	0,92	0,83	0,77	0,60
701001	Z1	4	V	0,36	0,25	0,16	0,10	0,13	0,14	0,29	0,77	0,91	0,63	0,67	0,61	0,55	0,69	0,73	0,56	0,68	0,67	0,97	1,23	0,81	0,56	0,94	0,74

Fuente: Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013.

A continuación, se presentan las fuentes de información del perfil semanal para las 22 ciudades con modelo de transporte.

Tabla 57: Fuentes de información de Perfil Semanal

Ciudad	Estudio mediciones	Año Medición	Tipo archivo
Arica	Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, Etapa III. Año 2006	2005	Perfil semanal
Iquique	Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, Etapa III. Año 2006	2005	Perfil semanal
Antofagasta	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa I. Año 2004	2003	Perfil semanal
Calama	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa II. Año 2006	2004	Perfil semanal
Copiapó	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa II. Año 2006	2004	Perfil semanal
La Serena - Coquimbo	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa I. Año 2004	2003	Perfil semanal
Ovalle	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal
Gran Valparaíso	Actualización de perfiles de flujos del modelo MODEM para el Gran Santiago y regiones. Año 2016	2015	Perfil semanal
Gran Santiago	Actualización de perfiles de flujos del modelo MODEM para el Gran Santiago y regiones. Año 2016	2015	Perfil semanal
Rancagua - Machalí	Actualización de perfiles de flujos del modelo MODEM para el Gran Santiago y regiones. Año 2016	2014	Perfil semanal
Talca	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa II. Año 2006	2004	Perfil semanal
Curicó	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal
Linares	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal
Chillán	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa I. Año 2004	2003	Perfil semanal
Gran Concepción	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal
Los Ángeles	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa II. Año 2006	2004	Perfil semanal
Angol	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal
Temuco	Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental Para Ciudades Intermedias, Etapa II. Año 2006	2004	Perfil semanal
Valdivia	Actualización de perfiles de flujos del modelo MODEM para el Gran Santiago y regiones. Año 2016	2015	Perfil semanal

Ciudad	Estudio mediciones	Año Medición	Tipo archivo
Osorno	Actualización de perfiles de flujos del modelo MODEM para el Gran Santiago y regiones. Año 2016	2015	Perfil semanal
Puerto Montt	Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, Etapa III. Año 2006	2005	Perfil semanal
Punta Arenas	Implementación del modelo de cálculo de emisiones vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito (PACIN IV). Año 2013	2012	Perfil semanal

Fuente: Estimación de Emisiones de Fuentes Difusas para la Generación del Décimo Sexto Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC”, año 2022, DICTUC.

Información para ciudades o zonas con Modelo de Transporte (Metodología Tipo Zona)

Para el caso de ciudades sin modelo de transporte, se requiere de la siguiente información:

Información de parque vehicular: Principalmente información del INE a nivel comunal, para determinar cuántos vehículos existen en un sector determinado. En general se asume que la cantidad de vehículos existentes es equivalente a la cantidad de vehículos que obtienen su permiso de circulación. Por tanto, una zona con mucho parque vehicular tendrá muchas partidas en frío durante la mañana y muchas detenciones en caliente durante la tarde.

A continuación, se presenta el parque correspondiente a las comunas con modelo de transporte consideradas en la zona en estudio:

Tabla 58: Parque INE correspondiente a las comunas con modelo de transporte consideradas en la zona en estudio, año 2021

Región	Provincia	Comuna	PARQUE
Región de Arica y Parinacota	Arica	Arica	87.627
Región de Tarapacá	Iquique	Iquique	85.045
		Alto Hospicio	37.615
Región de Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta	101.672
	El Loa	Calama	50.537
Región de Atacama	Copiapó	Copiapó	51.060
Región de Coquimbo	Elqui	La Serena	80.560
		Coquimbo	64.500
	Limarí	Ovalle	32.038
Región de Valparaíso	Valparaíso	Valparaíso	68.005
		Concón	23.671
		Viña del Mar	86.035
	Marga Marga	Quilpué	52.003
		Villa Alemana	31.189
Región Metropolitana de Santiago	Santiago	Santiago	115.544
		Cerrillos	25.415

Región	Provincia	Comuna	PARQUE
		Cerro Navia	16.623
		Conchalí	29.388
		El Bosque	33.034
		Estación Central	36.942
		Huechuraba	34.278
		Independencia	23.808
		La Cisterna	29.606
		La Florida	91.557
		La Granja	19.603
		La Pintana	23.748
		La Reina	46.371
		Las Condes	126.822
		Lo Barnechea	84.501
		Lo Espejo	14.662
		Lo Prado	20.674
		Macul	42.827
		Maipú	124.904
		Ñuñoa	53.677
		Pedro Aguirre Cerda	21.881
		Peñalolén	173.430
		Providencia	98.870
		Pudahuel	33.629
		Quilicura	53.041
		Quinta Normal	33.715
		Recoleta	31.311
		Renca	46.702
		San Joaquín	34.805
		San Miguel	32.311
		San Ramón	23.434
		Vitacura	107.035
	Cordillera	Puente Alto	136.884
		Pirque	5.524
	Chacabuco	Colina	57.835
		Lampa	30.341
		Tiltil	9.277
	Maipo	San Bernardo	60.448
		Buin	31.305
		Calera de Tango	18.776
		Paine	27.751

Región	Provincia	Comuna	PARQUE
	Talagante	Talagante	21.696
		Isla de Maipo	3.509
		Padre Hurtado	25.144
		Peñaflor	28.324
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Rancagua	95.087
		Machalí	17.994
Región del Maule	Talca	Talca	59.499
		Curicó	44.884
		Linares	28.690
Región de Ñuble	Diguillín	Chillán	50.890
Región del Biobío	Concepción	Concepción	59.630
		Coronel	34.536
		Chiguayante	36.111
		Florida	3.428
		Hualqui	6.332
		Lota	8.214
		Penco	13.956
		San Pedro de la Paz	38.409
		Santa Juana	4.887
		Talcahuano	37.854
		Tomé	14.091
		Hualpén	46.906
		Región de La Araucanía	Cautín
Temuco	73.786		
Padre las Casas	25.516		
	Malleco	Angol	17.690
Región de Los Ríos	Valdivia	Valdivia	48.421
Región de Los Lagos	Llanquihue	Puerto Montt	85.518
		Osorno	48.273
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Magallanes	Punta Arenas	65.429

Fuente: Permisos de Circulación, INE 2021

Matriz Origen - Destino: En general la cantidad de detenciones en caliente durante la mañana en una zona de determinada dependerá de cuántos viajes atrae esa zona, por otra parte, si una zona atrae muchos viajes tendrá a su vez muchas emisiones evaporativas durante el día y muchas partidas en frío durante la tarde. Para este tipo de emisiones es fundamental contar con información de movilidad del parque durante el día lo cual viene dado por las matrices origen destino que utiliza

SECTRA para generar y atraer viajes en sus modelos de transporte, la cual debe ser ingresada como una matriz al sistema MODEM v.6.0.

El cálculo de emisiones para detenciones en caliente, evaporativas durante el día y partidas en frío se realiza mediante el sistema MODEM v6.0 y por lo tanto solo aplica a las ciudades que cuentan con modelo de transporte.

A modo de ejemplo a continuación se presenta una matriz EOD para con modelo de transporte “Gran Concepción”.

Tabla 59: Matriz EOD Gran Concepción

SEC_COD	1	2	3	4	5
1	83	2	12	1	2
2	21	48	15	0	16
3	22	1	69	3	5
4	7	0	30	62	1
5	21	5	16	1	57

Fuente: SECTRA, año 2021

En el caso de Gran Concepción se definieron 5 zonas EOD identificadas con los números 1, 2, 3, 4 y 5.

Otros parámetros metodológicos: Esto se refiere a la actualización de valores que inciden directamente en las ecuaciones de cálculo y que dentro del sistema están asociados a cada tipo de vehículos entre estos tenemos el largo de un viaje promedio y el número de viajes promedio. En general estos valores se han mantenido inalterados con el tiempo ya que su actualización requiere de estudios de transporte específicos.

Otra información que se actualiza: Esto se refiere principalmente a la homologación que debe existir dentro del sistema entre las categorías para las cuales se cuenta con información de parque vehicular (categorías INE) y las categorías para las cuales se estiman las emisiones (categorías MODEM).

Finalmente, el sistema MODEM cuenta con una Matriz de decisión llamada matriz criterio Origen-Destino en la cual se definen los horarios para los cuales las emisiones evaporativas dentro de la zona de estudio están determinadas por el parque vehicular origen (parque residente en la zona) o parque vehicular destino (parque que fue atraído a la zona).

Esta matriz de decisión se considera en el cálculo de emisiones evaporativas y para cada ciudad con modelo de transporte se cuenta con una matriz independiente.

En el caso de las ciudades con modelo de transporte, cuando se quiera actualizar el inventario de emisiones, se podrá realizar una actualización de todos o algunos de los parámetros de interés tales como: flujos, arcos, composiciones, perfiles temporales, etc.

A continuación, se presenta el listado de parámetros posibles de ser modificados:

Tabla 60: Listado de parámetros MODEM

Metodología	Parámetros
Tipo Arco	Archivo entrada emisiones horas
	Archivo entrada emisiones FP
	Shape de arcos horas
	Shape de arcos FP
	Matriz horaria
	Shape de zonas
	Composición vehicular (CCF6)
	Composición Tecnológica (CCF8)
	Perfil semanal
	Perfil mensual
Tipo Zona	Parque vehicular INE
	Shape de sectores
	Matriz EOD
	Matriz criterios EOD
Información Base	Categorías vehiculares
	Categorías tecnológicas
	Factores de emisión
	Temperaturas mensuales
	Días con precipitaciones > 0,25 mm

Fuente: Manual de usuario MODEM v6.0

Información para ciudades o zonas sin Modelo de Transporte (Metodología Tipo Arco)

Para poder aplicar esta metodología se necesita contar con el parque vehicular de la zona en estudio proveniente del INE.

En general se asume que la cantidad de vehículos existentes en cada comuna es equivalente a la cantidad de vehículos que obtienen su permiso de circulación y que por lo tanto es el parque que circula diariamente. A continuación, se presenta parque vehicular para las ciudades sin modelo de transporte.

Tabla 61: Parque INE correspondiente a las comunas sin modelo de transporte consideradas en la zona en estudio, año 2021

Región	Provincia	Comuna	Parque
Región de Arica y Parinacota	Arica	Camarones	2.706
	Parinacota	General Lagos	646

Región	Provincia	Comuna	Parque
		Putre	3.017
Región de Tarapacá	El Tamarugal	Camiña	415
		Colchane	8.484
		Huara	1.141
		Pica	4.140
		Pozo Almonte	13.730
Región de Antofagasta	Antofagasta	Mejillones	5.085
		Sierra Gorda	3.148
		Taltal	4.005
	El Loa	Ollagüe	587
		San Pedro de Atacama	3.318
	Tocopilla	María Elena	1.887
Tocopilla		4.875	
Región de Atacama	Chañaral	Chañaral	5.016
		Diego de Almagro	3.977
	Copiapó	Caldera	8.194
		Tierra Amarilla	7.377
	Huasco	Alto del Carmen	3.798
		Freirina	2.117
		Huasco	4.640
		Vallenar	16.688
Región de Coquimbo	Elqui	Andacollo	4.250
		La Higuera	13.619
		Paihuano	2.148
		Vicuña	7.802
	Limarí	Combarbalá	2.839
		Monte Patria	8.351
		Punitaqui	4.195
		Río Hurtado	4.149
	Choapa	Canela	3.736
		Illapel	10.511
		Los Vilos	7.678
		Salamanca	9.745
Región de Valparaíso	Los Andes	Calle Larga	54.932
		Los Andes	19.288
		Rinconada	4.987
		San Esteban	8.679
	Petorca	Cabildo	7.058
		La Ligua	9.114

Región	Provincia	Comuna	Parque	
		Papudo	14.945	
		Petorca	8.936	
		Zapallar	17.657	
		Quillota	Hijuelas	8.939
			La Calera	12.222
			La Cruz	17.174
			Nogales	8.239
			Quillota	26.393
		San Antonio	Algarrobo	8.429
			Cartagena	5.011
	El Quisco		6.482	
	El Tabo		5.452	
	San Antonio		24.546	
	Santo Domingo		12.362	
	San Felipe de Aconcagua	Catemu	4.507	
		Llay-Llay	7.180	
		Panquehue	5.954	
		Putando	5.621	
		San Felipe	19.150	
		Santa María	14.927	
	Valparaíso	Casablanca	12.749	
		Puchuncaví	21.715	
		Quintero	12.931	
	Marga Marga	Limache	17.873	
		Olmué	7.685	
	Región Metropolitana de Santiago	Cordillera	San José de Maipo	8.678
			Melipilla	Alhué
		Curacaví	12.450	
		María Pinto	13.633	
		Melipilla	33.320	
		San Pedro	5.303	
		Talagante	El Monte	15.093
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Codegua	6.580	
		Coinco	3.772	
		Coltauco	6.465	
		Doñihue	7.531	
		Graneros	8.687	
		Las Cabras	8.717	
		Malloa	3.631	

Región	Provincia	Comuna	Parque	
		Mostazal	7.037	
		Olivar	5.263	
		Peumo	5.399	
		Pichidegua	7.080	
		Quinta de Tilcoco	6.869	
		Rengo	13.417	
		Requínoa	9.897	
		San Vicente de Tagua Tagua	16.195	
		Cardenal Caro	La Estrella	3.249
		Litueche	5.511	
	Marchigüe	42.991		
	Navidad	2.878		
	Paredones	2.907		
	Pichilemu	8.172		
	Colchagua	Chépica	5.913	
	Chimbarongo	11.228		
	Lolol	3.774		
	Nancagua	5.457		
	Palmilla	7.710		
	Peralillo	4.763		
Placilla	4.237			
Pumanque	3.075			
San Fernando	25.516			
Santa Cruz	12.052			
Región del Maule	Cauquenes	Cauquenes	13.492	
		Chanco	4.563	
		Pelluhue	5.445	
	Curicó	Hualañé	9.419	
		Licantén	5.221	
		Molina	14.098	
		Rauco	9.300	
		Romeral	11.136	
		Sagrada Familia	13.348	
		Teno	10.308	
	Vichuquén	6.393		
	Linares	Colbún	29.513	
		Longaví	10.851	
		Parral	17.506	
		Retiro	6.498	

Región	Provincia	Comuna	Parque
	Talca	San Javier	17.102
		Villa Alegre	5.625
		Yerbas Buenas	7.565
		Constitución	16.575
		Curepto	4.422
		Empedrado	2.880
		Maule	19.130
		Pelarco	22.702
		Pencahue	8.654
		Río Claro	29.433
		San Clemente	14.452
		San Rafael	4.959
		Región de Ñuble	Itata
Coelemu	5.600		
Ninhue	2.319		
Portezuelo	1.511		
Quirihue	4.144		
Ránquil	4.332		
Trehuaco	2.500		
Diguillín	Bulnes		6.426
	Chillán Viejo		12.003
	El Carmen		5.911
	Pemuco		7.237
	Pinto		5.599
	Quillón		6.814
	San Ignacio		7.518
Punilla	Yungay		6.360
	Coihueco		8.234
	Ñiquén		4.672
	San Carlos		14.475
	San Fabián		2.875
	San Nicolás		13.985
Región del Biobío	Arauco	Arauco	11.266
		Cañete	10.052
		Contulmo	2.327
		Curanilahue	9.168
		Lebu	5.751
		Los Álamos	6.032
		Tirúa	2.729

Región	Provincia	Comuna	Parque
	Biobío	Alto Biobío	1.921
		Antuco	4.058
		Cabrero	10.795
		Laja	7.119
		Mulchén	8.458
		Nacimiento	7.970
		Negrete	6.138
		Quilaco	2.057
		Quilleco	3.174
		San Rosendo	1.717
		Santa Bárbara	5.495
		Tucapel	6.167
		Yumbel	7.771
		Región de La Araucanía	Provincia de Cautín
Cholchol	5.864		
Cunco	5.152		
Curarrehue	1.883		
Freire	5.539		
Galvarino	2.660		
Gorbea	4.625		
Lautaro	19.787		
Loncoche	5.209		
Melipeuco	1.643		
Nueva Imperial	7.969		
Perquenco	1.802		
Pitrufquén	6.041		
Pucón	10.503		
Puerto Saavedra	2.554		
Teodoro Schmidt	3.063		
Toltén	2.617		
Vilcún	7.698		
Villarrica	19.422		
Provincia de Malleco	Collipulli		6.038
	Curacautín		5.397
	Ercilla		1.589
	Lonquimay		2.557
	Los Sauces		3.339
	Lumaco		2.683
	Purén		3.396

Región	Provincia	Comuna	Parque
		Renaico	2.650
		Traiguén	4.543
		Victoria	9.969
Región de Los Ríos	Provincia de Valdivia	Mariquina	5.854
		Lanco	4.863
		Máfil	3.073
		Corral	952
		Paillaco	6.236
		Los Lagos	7.250
		Panguipulli	10.293
	Provincia del Ranco	La Unión	10.940
		Río Bueno	9.854
		Lago Ranco	10.196
		Futrono	7.722
Región de Los Lagos	Chiloé	Ancud	16.010
		Castro	15.230
		Chonchi	5.460
		Curaco de Vélez	1.388
		Dalcahue	7.040
		Puqueldón	1.894
		Queilén	1.397
		Quemchi	2.566
		Quellón	8.518
		Quinchao	2.364
	Llanquihue	Calbuco	7.283
		Cochamó	1.104
		Fresia	3.893
		Frutillar	8.481
		Llanquihue	7.144
		Los Muermos	6.394
		Mauullín	4.204
		Puerto Varas	16.829
	Osorno	Puerto Octay	3.251
		Purranque	8.267
		Puyehue	6.952
		Río Negro	4.746
		San Juan de la Costa	3.974
		San Pablo	5.766
	Palena	Chaitén	1.839

Región	Provincia	Comuna	Parque
		Futaleufú	1.661
		Hualaihué	4.479
		Palena	946
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Aysén	Cisnes	1.905
		Guaitecas	2.370
		Aysén	9.443
	Capitán Prat	Cochrane	1.574
		O'Higgins	206
		Tortel	424
	Coyhaique	Coyhaique	26.879
		Lago Verde	1.646
	General Carrera	Chile Chico	1.913
		Río Ibáñez	1.891
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	Antártica Chilena	Cabo de Hornos	703
	Magallanes	Laguna Blanca	692
		Río Verde	1.892
		San Gregorio	284
	Tierra del Fuego	Porvenir	2.860
		Primavera	347
		Timaukel	413
		Natales	9.511
		Torres del Paine	1.551

Fuente: Permisos de Circulación, INE 2021

Nota: El parque se asume como flujo diario en el caso de ciudades sin modelo.

Otra información que es necesaria procesar en el caso de las ciudades sin modelo de transporte es la siguiente:

- Descomposición de los tipos de vehículos por tecnología para lo cual se utiliza la misma metodología utilizada en las ciudades con modelo de transporte para generar las composiciones vehiculares.

La norma de emisión por tecnología se asigna a cada vehículo considerando su categoría vehicular (CCF6), año de fabricación y tipo de combustible.

En el caso de los camiones se considera también la tara para asignar su norma de emisión y en el caso de las motocicletas se considera la marca y modelo.

- Obtención de kilómetros recorridos promedio por cada categoría vehicular, lo cual debe ser determinado a partir de ciudades que cuentan con modelos de transporte. Por tanto, en el

marco del presente estudio deberán ser actualizadas las tablas de kilómetros recorridos por tipo de vehículos según tamaño del parque.

Tabla 62: Kilómetros recorridos anuales por tipo de vehículo [km/veh]

Tipo de vehículo	km/veh
Buses	69.848
Camión Mediano	39.180
Camión Pesado	48.700
Camiones livianos	20.827
Motos	9.630
Taxis colectivos	44.650
Vehículos comerciales	25.985
Vehículos de alquiler	40.465
Vehículos particulares	17.004

Fuente: Tabla 4-8 “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas” desarrollado por el MMA.

- Obtención de velocidades promedio de circulación por tipo de vehículos que también es obtenida de las ciudades que cuentan con modelo de transporte según el tamaño del parque vehicular y al igual que en el caso de los kilómetros promedios también deberán ser actualizadas.

Tabla 63: Velocidad promedio por tipo de vehículo [km/h]

Tipo Vehículo	Tamaño del parque vehicular	
	<=25.000	>25.000 <= 50.000
Bus	20	23
Camión Liviano	31	38
Camión Mediano	31	38
Camión Pesado	35	47
Comerciales	36	37
Motos	35	37
Particulares	35	37
Alquiler	35	37
Taxi colectivo	27	29

Fuente: “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

- Factores de emisión los cuales serán tomados directamente de los factores actualizados para ciudades con modelo de transporte.

Información para ciudades o zonas sin Modelo de Transporte (Metodología Tipo Zona)

En general para esta metodología los requerimientos de información son idénticos a la de la metodología tipo arco, pero en este caso se requiere estimar factores de emisión por tipo de vehículo.

Lo que se utiliza en este caso son factores evaluados a una velocidad promedio, la cual se obtiene de estadísticas de ciudades con modelo de transporte de acuerdo con el tamaño del parque vehicular, para las ciudades sin modelo de transporte el factor de emisión depende del CCF8 y de la velocidad promedio.

3.3.7 Niveles de actividad de Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Maquinarias)

Los niveles de actividad de maquinarias corresponden a las horas de operación anual de estas mismas. Se consideraron los siguientes sectores:

- Agrícola-Forestal
- Construcción
- Industrial
- Minería

A continuación, se presentan los principales niveles de actividad por región y sector, todo ellos obtenidos en base al procesamiento de la información contenida en el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, año 2014, GEASUR.

Tabla 64: Cantidad de maquinarias por región, Año 2021

Región	Agrícola - Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	6	66	14	1
Tarapacá	6	297	27	324
Antofagasta	6	453	68	1.680
Atacama	6	401	27	232
Coquimbo	36	371	52	318
Valparaíso	48	826	179	182
Metropolitana de Santiago	219	4.745	1.220	229
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	710	422	90	259
Maule	1.222	659	111	0
Ñuble	706	196	79	0
Biobío	1.187	794	212	0
Araucanía	2.669	314	128	0
Los Ríos	291	75	65	0
Los Lagos	338	190	166	0
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	6	18	16	0

Región	Agrícola - Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Magallanes y de la Antártica Chilena	6	53	16	0
Total	7.463	9.880	2.470	3.224

Fuente: Elaboración propia en base a estudio "Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país", año 2014, GEASUR.

Tabla 65: Horas de funcionamiento anual (hrs) por región, Año 2021

Región	Agrícola - Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	1.241	41.273	10.747	289
Tarapacá	1.230	185.258	21.494	263.038
Antofagasta	1.238	282.757	53.734	1.363.915
Atacama	1.253	250.196	21.494	188.366
Coquimbo	7.401	231.761	40.838	258.391
Valparaíso	9.705	515.445	141.858	147.395
Metropolitana de Santiago	44.366	2.961.242	965.062	186.036
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	143.931	263.237	70.929	210.561
Maule	247.677	411.528	88.124	0
Ñuble	143.188	122.352	62.514	0
Biobío	240.760	495.532	167.467	0
Araucanía	541.164	195.913	101.020	0
Los Ríos	58.942	46.942	51.585	0
Los Lagos	68.617	118.481	131.111	0
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	1.240	10.932	12.896	0
Magallanes y de la Antártica Chilena	1.250	33.223	12.896	0
Total	1.513.204	6.166.073	1.953.767	2.617.991

Fuente: Elaboración propia en base a estudio "Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país", año 2014, GEASUR.

A continuación, se presentan el consumo de combustible (diésel) por región.

Tabla 66: Consumo de combustible (m3) por región, Año 2021

Región	Agrícola - Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	567	6.810	1.113	49
Tarapacá	607	33.043	2.407	47.776
Antofagasta	628	51.810	6.182	254.489
Atacama	608	43.891	2.367	33.649
Coquimbo	3.597	40.715	4.504	46.224
Valparaíso	4.574	87.537	15.126	25.490
Metropolitana de Santiago	20.507	494.774	101.238	31.653
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	62.671	41.434	7.009	33.750

Región	Agrícola - Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Maule	101.028	60.680	8.158	0
Ñuble	52.858	20.881	6.082	0
Biobío	88.878	84.571	16.293	0
Araucanía	207.740	27.186	8.801	0
Los Ríos	23.563	6.783	4.680	0
Los Lagos	28.579	17.838	12.394	0
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	555	1.768	1.310	0
Magallanes y de la Antártica Chilena	569	5.466	1.332	0
Total	597.527	1.025.189	198.999	473.080

Fuente: Elaboración propia en base a estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, año 2014, GEASUR.

Para la distribución a nivel comunal se utilizaron las siguientes fuentes de información según sector:

- Agrícola-Forestal: Tamaño UPA¹⁴ por comuna, Censo agropecuario 2021 (<https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>).
- Construcción: Estadísticas de empresas por tamaño según ventas, región y comuna, SII (https://www.sii.cl/estadisticas/tamano/PUB_Tram_Reg_Com.xlsx)
- Industrial: Superficie industrial por comuna en base a shape de “catastro de uso de suelo y vegetación”, IDE, MMA (<https://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion>)
- Minería: Anuario de la Minería de Chile, año 2021, SERNAGEOMIN.

3.3.8 Niveles de actividad de Fuentes Móviles Fuera de Ruta (Puertos y Aeropuertos)

Los niveles de actividad de puertos corresponden a las cargas totales (ton) consideradas en el tráfico nacional e internacional considerando de salidas y entradas a los puertos. Estos fueron obtenidos desde el estudio “Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II”, año 2022, SECTRA, el que a su vez se basó en los boletines estadísticos históricos de DIRECTEMAR.

¹⁴ La Unidad Productiva Agropecuaria (UPA), la cual se define como una unidad económica de producción agrícola y/o ganadera y/o forestal, bajo gestión única por una persona productora, sin consideración de tenencia y/o tamaño, que comprende todo el ganado mantenido en ella y toda la tierra dedicada total o parcialmente a fines agrícolas. Una UPA puede comprender un predio agrícola o varios predios colindantes o separados, que pueden estar ubicados en una misma o distinta comuna y/o región.

Tabla 67: Carga marítima movilizada por región, Año 2021

Región	Carga (ton)
Arica y Parinacota	7.892.515
Tarapacá	16.632.027
Antofagasta	29.073.847
Atacama	26.977.010
Coquimbo	16.051.427
Valparaíso	94.975.726
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	28.550.263
Biobío	49.980.655
Los Ríos	2.073
Los Lagos	14.703.456
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	1.335.115
Magallanes y de la Antártica Chilena	5.724.614
Total	291.898.728

Fuente: Elaboración propia en base a estudio "Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II", año 2022, SECTRA.

Los niveles de actividad de aeropuertos corresponden a los ciclos LTO¹⁵ consideradas en el tráfico nacional e internacional considerando de salidas y llegadas a los aeropuertos. Estos fueron obtenidos desde el estudio "Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II", año 2022, SECTRA, el que a su vez se basó en estadísticas históricas de DGAC.

Tabla 68: Operaciones o ciclos de aterrizaje-despegue por región, Año 2021

Región	LTO
Arica y Parinacota	4.373
Tarapacá	6.882
Antofagasta	20.848
Atacama	2.879
Coquimbo	5.517
Valparaíso	1.389
Metropolitana de Santiago	72.277
Biobío	7.082
Araucanía	4.793
Los Ríos	1.299
Los Lagos	10.115
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	3.158
Magallanes y de la Antártica Chilena	6.641
Total	147.253

¹⁵ LTO: Landing, take-off, movimientos aéreos bajo 3000 pies de altura.

Fuente: Elaboración propia en base a estudio “Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II”, año 2022, SECTRA.

El detalle para la desagregación a nivel comunal corresponde a la asignación espacial de las comunas en las que se ubican cada puerto y aeropuerto respectivamente, la cual se presenta en la planilla Excel denominada “Puertos y Aeropuertos” contenida en el **Anexo 2: Planillas Excel Calculo de Emisiones**.

3.3.9 Niveles de actividad Polvo Resuspendido desde Calles

Para el caso de Polvo resuspendido desde calles no pavimentadas el nivel de actividad viene dado por el peso promedio del parque vehicular, también es necesario cuantificar el flujo, tipo de vehículos, longitud del arco, velocidad y el tipo de carpeta donde se realiza dicha actividad, además de algunas variables físicas de la superficie de tránsito tales como la humedad y contenido de silt.

El detalle del parque vehicular en el caso de ciudades sin modelo de transporte y flujos utilizados en el caso de ciudades con modelo de transporte es el mismo presentado en la **sección 3.3.6 Niveles de actividad de Fuentes Móviles en Ruta** del presente informe.

A continuación, se presentan los pesos promedios por defecto de los vehículos que se utilizan en ciudades con modelo de transporte (MODEM) y también en ciudades sin modelo de transporte para el cálculo de las emisiones de polvo resuspendido en calles.

Tabla 69: Peso promedio por categoría vehicular

Categoría Vehicular (CCF6)	Peso Promedio en Movimiento (ton)
Vehículos particulares	1,2
Vehículos de alquiler	1,2
Vehículos comerciales de uso particular	2,0
Camiones livianos	7,5
Camiones medianos	12,0
Motocicletas	0,2
Buses interurbanos	14,0
Taxis colectivos	1,20
Buses licitados urbanos	14,0
Camiones pesados	45,0
Buses rurales	14,0
Buses particulares e institucionales	14,0
Vehículos comerciales de uso de empresas	2,0
Vehículos Medianos	12,0

Fuente: “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

A continuación, se presentan los contenidos de finos para los distintos tipos de carpeta:

Tabla 70: Contenido de finos en Calles Pavimentadas

Flujo [veh/día]	<500	500-5.000	5.000-10.000	>10.000
Sp [g/m ²]	0,6	0,2	0,06	0,03

Fuente: “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

Tabla 71: Contenido de finos en Calles No Pavimentadas

Contenido de Finos (%)
1,8-35

Fuente: “Manual para desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas”, año 2017, Ministerio del Medio Ambiente.

3.3.10 Niveles de actividad de Construcción de Caminos y Edificios

En el caso de construcción de caminos el nivel de actividad viene dado por la superficie construida (expresada en m²), la cual se obtuvo desde información proporcionada por el MOP en base a obras y contratos válidos para el año 2021 a nivel de provincia y comuna.

Tabla 72: Superficies construidas en caminos por región, año 2021.¹⁶

Región	Superficie Construcción Caminos (m ²)
Arica y Parinacota	147
Antofagasta	436.366
Coquimbo	82.271
Valparaíso	45.143
Metropolitana de Santiago	11.186
Maule	242.060
Ñuble	13.503
Biobío	115.465
Araucanía	23.926
Los Ríos	77.000

¹⁶ Las regiones que no presentan información es porque las estadísticas utilizadas año base 2021 proporcionadas por el MOP no registraron datos para dichas regiones

Región	Superficie Construcción Caminos (m2)
Los Lagos	281.120
Magallanes y de la Antártica Chilena	66.430
Total	1.394.617

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas de obras 2021 del MOP.

En el caso de construcción de edificios el nivel de actividad viene dado por la superficie construida (expresada en m²), la cual se obtuvo desde cuadros edificación del anuario 2021, INE y considera edificios y viviendas.

Tabla 73: Superficies construidas en edificios por región, año 2021.

Región	Superficie Construcción Edificios (m2)
Arica y Parinacota	185.080
Tarapacá	342.102
Antofagasta	730.993
Atacama	248.222
Coquimbo	643.394
Valparaíso	1.234.629
Metropolitana de Santiago	7.838.752
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	721.380
Maule	801.422
Ñuble	441.021
Biobío	1.340.233
Araucanía	826.730
Los Ríos	292.751
Los Lagos	583.999
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	64.076
Magallanes y de la Antártica Chilena	101.953
Total	16.396.737

Fuente: Elaboración propia en base a cuadros estadísticos 2021, anuario INE.

Las superficies de construcción regionales se distribuyen a nivel comunal en base a los porcentajes de distribución de población de cada región obtenidos de las proyecciones de población 2002-2035 del Censo INE 2017.

3.3.11 Niveles de actividad de Fuentes Fugitivas de Minerías

En el caso de fuentes fugitivas de minerías tal como se explicó anteriormente en la sección **3.2.10 Metodología Fuentes Fugitivas de Minerías**, se realizó una estimación de las emisiones en base a un indicador promedio de las emisiones fugitivas de algunas minerías en las cuales se contaba con

información de emisiones y se construyó un indicador en base a la producción de dichas mineras y del año base del cálculo de dichas emisiones, por lo tanto para calcular las emisiones año 2021 se utilizó la producción 2021 como nivel de actividad.

Tabla 74: Producción minera por región (TM), año 2021.

Región	Minera	Cobre	Litio	Molibdeno	Oro	Plata
Tarapacá	Cía. Minera Cerro Colorado Ltda. - Cerro Colorado	68.900				
Tarapacá	Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. - Rosario	629.100		4.696		
Tarapacá	Cía. Minera Teck Quebrada Blanca S.A. - Quebrada Blanca	13.400				
Antofagasta	Albemarle Ltda. - Pozos y Pozas		140.000			
Antofagasta	Centinela	246.800				
Antofagasta	Cía. Minera Zaldívar SPA - Zaldívar	96.500				
Antofagasta	Codelco Chuquicamata	400.700				
Antofagasta	Codelco Ministro Hales	260.600				
Antofagasta	Codelco Radomiro Tomic	170.600				
Antofagasta	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Gabriela Mistral	102.100				
Antofagasta	El Abra - El Abra	71.900				
Antofagasta	Guanaco Compañía Minera Ltda. - Guanaco				0,48	1,13
Antofagasta	Lomas Bayas - Lomas Bayas	73.900				
Antofagasta	Mantos Copper S.A. - Mantos Blancos	39.300				
Antofagasta	Minera Antucoya Ltda. - Mina Antucoya	79.300				
Antofagasta	Minera Escondida Ltda. - Escondida	1.187.300				
Antofagasta	Minera Las Cenizas S.A. - Altamira	3.000				
Antofagasta	Minera Las Cenizas S.A. - Las Luces	3.000				
Antofagasta	Minera Meridian limitada - El Peñón				4,69	
Antofagasta	S.Q.M. Salar - Pozas Salar		101.000			
Antofagasta	Sierra Gorda SCM	156.100				
Antofagasta	Sociedad Contractual Minera Franke - Mina Franke	19.025				
Antofagasta	Spence	146.700				
Atacama	C.C.M. Ojos del Salado - Santos	29.000				
Atacama	Cía. Contractual Minera Candelaria - Candelaria	94.800				
Atacama	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Quebrada M	56.300		500		
Atacama	Mantos Copper S.A. - Manto Verde	39.300				
Atacama	Minera Lumina Copper Chile Ltda. - Caserones	126.400		2.287		
Atacama	Soc. Contractual Minera Carola S.A. - Socavón Carola	25.000				
Atacama	Soc. Minera Punta del Cobre - Punta del Cobre	44.000				
Atacama	Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan - Atacama Kozan	12.455				
Coquimbo	Cía. Minera San Gerónimo - Mina 21 de Mayo	15.000				
Coquimbo	HMC Gold S.C.M. - Tambo de Oro				0,85	
Coquimbo	Minera Dragones	8.000				
Coquimbo	Minera Los Pelambres - Mina Los Pelambres	629.100		9.275		
Coquimbo	Minera Teck-CDA	57.400				
Coquimbo	S.C.M. Tres Valles - Papomono	7.054				
Valparaíso	Anglo American Sur - Mina Rajo El Soldado	35.200				
Valparaíso	Compañía Minera Pullalli SPA. - Pullalli (Soc. Sur)				0,71	
Valparaíso	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Sur Sur	184.500		1.495		
Valparaíso	Minera Las Cenizas S.A. - Mina Sauce	8.500				
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Codelco Chile División - El Teniente	443.200		6.980		
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Minera Valle Central S.A.	25				
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Minera Valle Central S.A. - Planta Molibdeno			611		

Región	Minera	Cobre	Litio	Molibdeno	Oro	Plata
Metropolitana de Santiago	Anglo American Sur - Mina Los Bronces	242.800				
Metropolitana de Santiago	Minera Florida Ltda. - Pedro Valencia				0,51	
Arica y Parinacota	Pampa Camarones - Mina Pampa Camarones	8.500				
Total		5.834.759	241.000	25.844	7,25	1,13

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas COCHILCO y otras páginas web internet.

El detalle de las fuentes de información de las producciones, así como las comunas a las que pertenece cada una de las mineras se presenta en la planilla Excel "Fugitivas Mineras" del **Anexo 2: Planillas Excel Calculo de Emisiones**.

3.4 Emisiones, año base 2021

En base a las metodologías de cálculo de emisiones presentadas en la sección **3.2 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión** y los niveles de actividad presentados en la sección **3.3 Niveles de actividad, año base 2021**, se confeccionó un inventario de emisiones detallado por tipo de fuente y contaminante para el año 2021 a nivel comunal para las 16 regiones de Chile.

El inventario de emisiones es entregado resumido en formato Excel a nivel comunal y regional para todos los tipos de fuentes según la estructura definida para el inventario en la sección **3.1 Estructura del inventario de emisiones**. También se entregan las planillas Excel trazables para cada tipo de fuente indicando claramente los niveles de actividad, factores de emisión y parámetros utilizados. Estas planillas se presentan en el **Anexo 2: Planillas Excel Calculo de Emisiones**, el cual contiene lo siguiente:

A continuación, se presentan algunos de los principales resultados del inventario de emisiones Año 2021, según la estructura del inventario definida en la sección **3.1 Estructura del inventario de emisiones**.

3.4.1 Resumen de emisiones

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales por Grupo y contaminante.

Tabla 75: Emisiones totales por Grupo, año 2021 en miles de t/año.

GRUPO	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
FUENTES AREALES	191	176	165	16	2	30	3.174	1.787	2	3.474	8	0,4	3.812
FUENTES FIJAS	147	72	50	10	235	182	175	5	1	111.164	3	2,9	112.101
FUENTES MÓVILES	12	11	11	5	1	142	227	33	1	32.067	1	1,0	34.528
POLVO FUGITIVO	868	262	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
Total general	1.218	522	260	30	238	354	3.576	1.825	3	146.705	13	4,3	150.440

Fuente: Elaboración Propia.

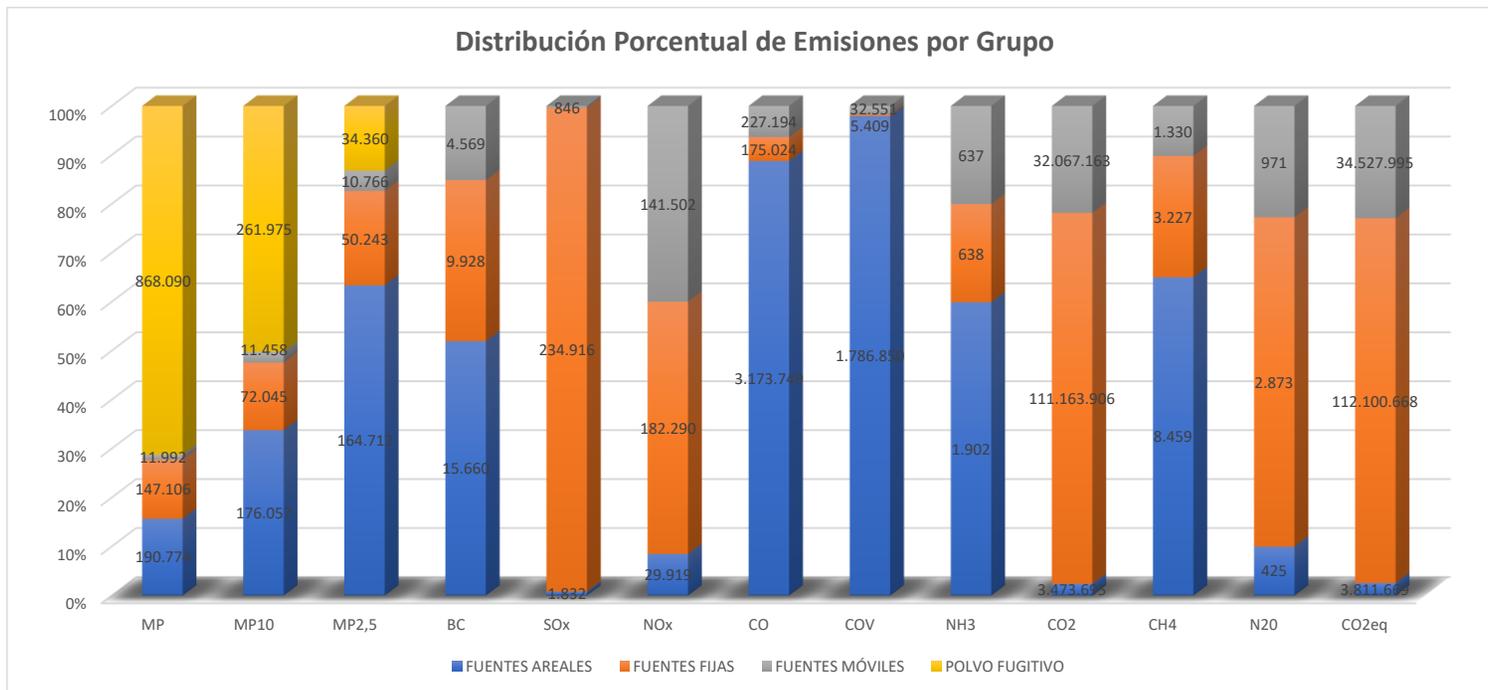


Figura 71: Distribución Porcentual de Emisiones por Grupo, Año 2021

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales por Grupo, Sub-Grupo y contaminante.

Tabla 76: Emisiones totales por Grupo y Sub-Grupo, año 2021 en t/año.

GRUPO	SUB-GRUPO	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
FUENTES AREALES	Otras	38.558	30.230	23.021	1.502	1.000	6.674	199.453	3.403	1.894	3.460.330	8.312	423	3.794.253
FUENTES AREALES	Residencial	152.216	145.828	141.691	14.157	832	23.245	2.974.296	1.783.448	8	13.365	146	1	17.416
Total FUENTES AREALES		190.774	176.057	164.712	15.660	1.832	29.919	3.173.749	1.786.850	1.902	3.473.695	8.459	425	3.811.669
FUENTES FIJAS	Combustión	29.357	8.668	7.150	1.405	47.830	139.336	81.576	2.615	261	90.164.393	2.719	2.838	91.077.988
FUENTES FIJAS	Procesos	117.749	63.377	43.093	8.523	187.085	42.954	93.448	2.794	377	20.999.514	509	35	21.022.680
Total FUENTES FIJAS		147.106	72.045	50.243	9.928	234.916	182.290	175.024	5.409	638	111.163.906	3.227	2.873	112.100.668
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles en ruta	6.269	5.952	5.425	3.027	242	94.404	178.406	25.143	626	25.413.113	940	710	27.786.648
FUENTES MÓVILES	Fuentes móviles fuera de ruta	5.724	5.506	5.340	1.543	605	47.099	48.788	7.408	11	6.654.050	389	260	6.741.347
Total FUENTES MÓVILES		11.992	11.458	10.766	4.569	846	141.502	227.194	32.551	637	32.067.163	1.330	971	34.527.995
POLVO FUGITIVO	Construcción y Demolición	880	439	51										
POLVO FUGITIVO	Polvo Resuspendido de calles	62.071	11.914	2.883										
POLVO FUGITIVO	Fugitivas Mineras	805.140	249.621	31.427										
Total POLVO FUGITIVO		868.090	261.975	34.360										
Total general		1.217.963	521.535	260.081	30.157	237.594	353.711	3.575.967	1.824.811	3.177	146.704.764	13.015	4.268	150.440.331

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales por región y contaminante.

Tabla 77: Emisiones Totales por Región, año 2021 en t/año

Región	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Arica y Parinacota	2.059	643	212	53	20	1.342	3.088	703	8	257.158	14	8	268.158
Tarapacá	96.998	30.195	4.145	136	121	5.307	5.692	890	15	967.004	34	28	1.009.835
Antofagasta	461.849	140.977	20.300	1.257	59.908	40.031	22.442	1.811	38	27.093.564	387	1.315	27.534.497
Atacama	69.305	24.935	5.826	592	39.984	15.681	6.350	1.125	15	9.220.155	117	90	9.325.906
Coquimbo	93.165	29.567	5.007	234	140	8.155	23.832	6.087	70	2.384.718	262	55	2.493.027
Valparaíso	93.821	58.098	41.102	6.765	29.904	31.467	153.270	38.924	378	14.616.701	1.155	201	15.015.635
Metropolitana de Santiago	59.549	23.219	11.109	2.086	12.344	62.749	175.448	46.128	454	33.597.286	974	659	34.014.480
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	90.380	37.594	12.249	1.251	36.833	14.415	125.336	63.693	122	3.717.448	593	95	4.017.134
Maule	38.897	18.540	16.587	1.827	1.412	19.740	293.880	152.544	175	6.646.051	942	222	7.021.742
Ñuble	24.419	14.472	13.249	1.517	1.643	11.469	239.149	125.785	233	6.573.690	1.025	269	6.884.764
Biobío	56.678	38.816	33.903	4.484	49.774	48.099	599.847	296.711	491	23.953.187	2.007	645	24.335.805
Araucanía	60.291	50.521	45.564	4.450	815	24.523	791.640	412.410	1.022	6.275.405	4.368	386	6.710.669
Los Ríos	25.286	16.702	15.848	1.752	175	9.752	380.373	240.546	43	5.115.984	407	204	5.275.568
Los Lagos	35.617	29.396	27.745	2.966	3.885	43.204	599.054	349.341	83	3.787.147	611	61	3.969.313
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	5.505	4.673	4.418	443	60	2.024	108.810	65.994	12	403.635	57	11	444.936
Magallanes y de la Antártica Chilena	4.145	3.187	2.815	343	575	15.754	47.756	22.119	18	2.095.631	61	19	2.118.863
Total	1.217.963	521.535	260.081	30.157	237.594	353.711	3.575.967	1.824.811	3.177	146.704.764	13.015	4.268	150.440.331

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2 Emisiones Regionales

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales por comuna y contaminante para cada región.

Tabla 78: Emisiones Totales por comuna para cada región, año 2021 en t/año

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Arica y Parinacota	Arica	678	233	145	50	20	1.140	2.888	639	7	218.380	12	7	220.719
Arica y Parinacota	Camarones	1.200	367	50	1	0,17	53	47	14	0,166	13.192	0,471	0,406	15.583
Arica y Parinacota	General Lagos	48	11	4	1	0,06	35	30	12	0,061	5.194	0,263	0,157	6.748
Arica y Parinacota	Putre	134	33	14	2	0,35	115	123	37	0,383	20.392	2	1	25.107
Tarapacá	Alto Hospicio	233	77	46	17	3	395	779	134	2	96.996	3	3	97.979
Tarapacá	Camíña	49	10	3	0,225	0,030	11	16	7	0,022	2.347	0,070	0,078	2.774
Tarapacá	Colchane	369	76	23	4	1	329	134	23	1	55.900	2	2	68.406
Tarapacá	Huara	64	32	21	5	30	496	158	17	0,180	25.322	1	0,301	26.472
Tarapacá	Iquique	642	266	182	68	36	1.835	3.175	505	8	439.385	14	13	443.522
Tarapacá	Pica	86.262	26.817	3.473	32	38	1.512	1.057	140	2	210.987	9	7	218.100
Tarapacá	Pozo Almonte	9.378	2.917	397	10	13	729	372	64	2	136.068	4	4	152.582
Antofagasta	Antofagasta	181.246	57.635	9.228	1.086	12.910	11.732	8.897	920	19	8.158.926	134	31	8.171.629
Antofagasta	Calama	133.916	38.317	5.081	84	17.769	3.070	3.155	466	8	577.145	23	16	582.402
Antofagasta	María Elena	10.711	3.325	437	5	3	221	205	24	2	85.454	3	2	89.496
Antofagasta	Mejillones	2.262	229	131	17	25.841	17.406	7.507	80	5	14.503.933	157	1.222	14.885.126
Antofagasta	Ollagüe	35	7	2	0,357	0,189	31	16	3	0,058	4.903	0,197	0,149	6.318
Antofagasta	San Pedro de Atacama	32.381	10.082	1.327	18	40	1.030	654	112	0,351	100.541	4	3	105.721
Antofagasta	Sierra Gorda	97.330	30.256	3.927	37	28	1.576	1.223	161	2	256.838	12	8	267.256
Antofagasta	Taltal	3.526	1.087	152	4	14	374	186	20	0,485	94.501	4	1	100.818
Antofagasta	Tocopilla	443	38	14	5	3.305	4.590	599	24	1	3.311.322	50	31	3.325.730
Atacama	Alto del Carmen	285	75	35	5	8	327	367	139	1	38.158	3	1	47.772
Atacama	Caldera	267	64	27	5	18	432	260	68	1	72.072	2	2	82.655
Atacama	Chañaral	5.453	1.679	228	5	2	247	192	29	1	46.038	2	1	53.655
Atacama	Copiapó	9.594	6.388	3.077	528	26.924	2.012	2.598	380	6	689.602	11	8	692.249
Atacama	Diego de Almagro	7.921	2.618	544	8	8.680	6.369	666	32	2	3.024.589	51	3	3.030.887

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Atacama	Freirina	51	17	10	1	3	78	138	57	0,182	12.972	0,397	0,313	14.970
Atacama	Huasco	757	120	40	10	4.337	4.921	623	55	1	5.094.325	35	67	5.131.940
Atacama	Tierra Amarilla	44.843	13.918	1.826	22	12	974	826	129	1	146.855	9	5	163.074
Atacama	Vallenar	134	56	40	8	2	321	679	236	2	95.544	4	3	108.704
Coquimbo	Andacollo	1.092	261	41	4	2	186	269	86	0,350	36.473	2	1	41.213
Coquimbo	Canela	121	43	28	3	0	94	466	239	0,297	22.415	1	1	27.106
Coquimbo	Combarbalá	115	50	38	4	1	108	650	348	0,252	20.657	1	1	24.632
Coquimbo	Combarbalá á	0,067	0,043	0,004										
Coquimbo	Coquimbo	2.751	913	268	47	50	1.682	4.355	1.020	12	385.872	14	10	389.204
Coquimbo	Illapel	111	49	37	6	1	214	675	312	1	58.689	2	2	69.085
Coquimbo	La Higuera	112	31	16	4	3	337	301	73	1	77.840	2	2	92.476
Coquimbo	La Serena	871	340	228	57	10	1.318	6.275	1.489	17	415.308	19	13	419.537
Coquimbo	Los Vilos	1.078	710	497	28	46	726	4.389	207	29	120.274	166	11	134.874
Coquimbo	Monte Patria	240	99	65	7	1	234	866	334	2	63.101	8	2	72.207
Coquimbo	Ovalle	339	210	176	24	12	1.481	2.057	742	3	852.963	21	2	854.217
Coquimbo	Paiguano	53	21	15	2	0	47	257	131	0,162	12.171	0,418	0,335	14.222
Coquimbo	Punitaqui	111	42	28	3	1	100	436	191	1	26.157	2	1	30.733
Coquimbo	Río Hurtado	162	37	14	2	0	134	149	50	0,381	27.233	1	1	33.979
Coquimbo	Salamanca	85.814	26.685	3.501	35	12	1.294	1.843	471	3	208.100	20	8	225.364
Coquimbo	Vicuña	195	78	54	7	1	200	843	393	1	57.465	3	1	64.177
Valparaíso	Algarrobo	234	125	97	9	2	104	1.448	598	2	40.898	9	1	45.977
Valparaíso	Cabildo	1.366	446	112	8	2	202	1.039	464	1	44.589	2	1	52.120
Valparaíso	Calera	38.282	33.455	28.675	4.774	4.433	2.475	1.635	664	2	486.733	7	2	495.671
Valparaíso	Calle Larga	371	148	105	15	3	624	2.045	746	4	254.244	6	6	296.135
Valparaíso	Cartagena	217	92	67	7	1	134	1.021	473	1	31.257	2	1	37.233
Valparaíso	Casablanca	165	145	132	14	3	102	2.040	889	2	37.608	10	2	38.460

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Valparaíso	Catemu	265	126	94	10	7.954	170	1.460	692	1	55.340	2	1	61.675
Valparaíso	Concón	8.378	5.695	3.861	1.056	436	2.565	44.823	1.697	170	852.634	20	5	854.713
Valparaíso	El Quisco	195	101	83	9	1	104	1.364	653	1	31.455	1	1	35.911
Valparaíso	El Tabo	171	79	61	7	1	101	979	462	0,455	28.027	1	1	32.481
Valparaíso	Hijuelas	331	123	84	10	1	282	1.213	543	1	96.947	3	2	107.903
Valparaíso	Isla de Pascua	331	244	190	11	8	79	1.927	279	10	29.412	55	4	31.918
Valparaíso	Juan Fernández	9	8	8	1	0	3	135	68	0,001	180	0,018	0,008	182
Valparaíso	La Cruz	174	93	77	10	1	251	1.356	591	1	81.895	3	2	95.113
Valparaíso	La Ligua	422	223	172	15	4	235	2.268	787	5	63.442	26	3	73.162
Valparaíso	Limache	225	188	174	20	2	536	2.392	1.042	1	19.592	12	1	20.141
Valparaíso	Llaillay	269	138	114	12	95	721	1.868	857	3	164.937	3	2	170.629
Valparaíso	Los Andes	25.261	8.074	1.344	51	6	2.463	4.688	1.961	3	1.501.039	28	6	1.523.940
Valparaíso	Nogales	5.013	1.582	271	12	2	377	1.290	544	1	69.297	4	2	80.005
Valparaíso	Olmué	264	138	113	12	1	159	1.863	891	1	41.353	2	1	47.878
Valparaíso	Panquehue	282	141	101	8	3	155	1.207	349	4	41.490	20	2	48.567
Valparaíso	Papudo	87	39	30	4	1	113	574	223	1	61.828	2	1	69.043
Valparaíso	Petorca	244	101	73	8	1	180	1.216	546	1	49.369	2	2	61.266
Valparaíso	Puchuncaví	466	209	119	17	14.010	5.234	2.120	763	4	4.529.103	37	47	4.554.356
Valparaíso	Putendo	237	146	127	14	1	403	1.838	870	0,472	292.247	5	1	297.459
Valparaíso	Quillota	448	298	262	33	2.728	2.386	6.040	2.085	2	2.743.038	176	4	2.770.255
Valparaíso	Quilpué	1.048	643	507	75	10	870	7.163	2.179	17	204.183	75	10	208.905
Valparaíso	Quintero	193	150	107	12	26	639	1.562	558	1	469.021	30	2	470.250
Valparaíso	Rinconada	217	113	92	10	1	311	1.300	611	0,420	211.406	4	1	216.703
Valparaíso	San Antonio	645	372	315	42	48	1.397	5.105	2.364	3	203.035	9	6	242.661
Valparaíso	San Esteban	314	170	140	15	1	171	2.273	1.091	1	48.558	2	1	55.897
Valparaíso	San Felipe	405	310	285	32	3	408	4.802	2.278	2	107.282	6	3	120.543
Valparaíso	Santa María	186	121	107	12	1	225	1.883	865	1	72.163	2	2	83.928

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Valparaíso	Santo Domingo	187	104	86	11	2	273	1.447	644	1	68.282	3	2	81.556
Valparaíso	Valparaíso	4.407	2.680	1.905	174	99	3.198	19.900	2.475	102	679.388	546	45	706.495
Valparaíso	Villa Alemana	596	298	235	50	2	659	3.958	1.502	4	158.243	7	4	159.649
Valparaíso	Viña del Mar	1.769	906	718	178	10	2.936	12.960	4.177	23	665.313	30	22	672.489
Valparaíso	Zapallar	150	74	60	8	1	222	1.068	446	1	81.870	2	2	94.365
Metropolitana de Santiago	Alhué	293	108	72	12	6	607	1.262	422	2	170.913	4	5	204.163
Metropolitana de Santiago	Buín	697	419	357	49	6	627	6.093	2.738	4	147.822	7	4	149.327
Metropolitana de Santiago	Calera de Tango	273	169	145	21	169	304	2.613	1.136	1	62.919	3	2	63.491
Metropolitana de Santiago	Cerrillos	413	182	133	32	101	891	3.588	323	28	989.506	10	22	996.380
Metropolitana de Santiago	Cerro Navia	186	80	57	11	1	223	1.133	397	1	51.302	2	1	51.762
Metropolitana de Santiago	Colina	1.291	516	352	74	822	1.709	6.651	2.179	11	1.351.518	18	12	1.355.417
Metropolitana de Santiago	Conchalí	269	97	60	23	2	576	1.442	235	4	156.110	7	5	157.677
Metropolitana de Santiago	Curacaví	496	328	264	22	7	374	3.352	1.020	9	104.812	50	5	119.211
Metropolitana de Santiago	El Bosque	208	101	75	16	1	347	1.525	504	2	82.446	3	2	83.175
Metropolitana de Santiago	El Monte	255	146	123	15	2	325	2.095	958	1	87.104	3	2	100.159
Metropolitana de Santiago	Estación Central	413	161	105	41	4	997	2.668	421	8	265.542	11	8	268.126
Metropolitana de Santiago	Huechuraba	391	168	125	42	4	1.022	2.273	393	5	239.525	12	8	242.161
Metropolitana de Santiago	Independencia	248	100	66	25	2	613	1.629	280	4	167.468	7	5	169.100
Metropolitana de Santiago	Isla de Maipo	196	168	157	17	2	123	2.644	1.264	2	59.328	2	1	59.728
Metropolitana de Santiago	La Cisterna	263	110	77	24	4	564	1.694	407	3	130.871	5	4	132.108
Metropolitana de Santiago	La Florida	735	302	204	68	5	1.468	5.489	1.153	12	426.887	17	12	430.801
Metropolitana de Santiago	La Granja	260	98	62	25	2	532	1.752	284	5	155.185	6	5	156.716
Metropolitana de Santiago	La Pintana	364	155	109	29	2	597	2.290	638	4	173.603	7	5	175.178

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Metropolitana de Santiago	La Reina	280	97	58	23	2	544	1.585	268	4	149.152	6	4	150.535
Metropolitana de Santiago	Lampa	922	531	449	67	9	1.213	8.149	3.018	25	964.267	13	19	970.315
Metropolitana de Santiago	Las Condes	1.208	757	653	158	18	5.992	7.919	1.283	15	4.437.721	90	42	4.452.431
Metropolitana de Santiago	Lo Barnechea	32.813	10.285	1.453	48	13	1.267	2.980	811	3	307.609	13	9	310.701
Metropolitana de Santiago	Lo Espejo	252	94	61	15	1	578	1.018	207	3	294.395	6	3	295.322
Metropolitana de Santiago	Lo Prado	128	45	27	10	1	268	715	134	2	65.881	3	2	66.482
Metropolitana de Santiago	Macul	399	217	176	30	6	644	3.143	470	44	1.449.540	24	32	1.459.713
Metropolitana de Santiago	Maipú	1.240	390	248	77	271	2.342	5.625	1.205	16	644.555	23	15	649.742
Metropolitana de Santiago	María Pinto	893	221	99	25	3	2.191	1.176	297	3	273.140	12	6	344.691
Metropolitana de Santiago	Melipilla	1.173	635	418	53	67	5.162	7.366	2.693	45	1.570.516	57	35	1.631.695
Metropolitana de Santiago	Ñuñoa	449	225	171	53	6	1.164	3.886	839	7	383.186	15	10	386.665
Metropolitana de Santiago	Padre Hurtado	196	111	88	14	71	593	1.632	561	3	219.004	5	3	220.042
Metropolitana de Santiago	Paine	828	525	455	53	8	773	7.173	3.249	4	252.576	17	4	254.126
Metropolitana de Santiago	Pedro Aguirre Cerda	170	71	49	13	1	263	1.117	313	2	67.414	3	2	68.042
Metropolitana de Santiago	Peñaflor	390	195	154	20	1	333	2.579	1.162	1	66.051	3	2	66.595
Metropolitana de Santiago	Peñalolén	364	141	91	30	3	694	2.442	600	5	177.402	8	5	179.093
Metropolitana de Santiago	Pirque	334	214	187	23	2	235	3.212	1.489	1	42.738	2	1	43.186
Metropolitana de Santiago	Providencia	631	364	299	102	11	2.306	5.240	860	10	771.272	29	22	778.696
Metropolitana de Santiago	Pudahuel	649	255	170	55	9	1.286	3.509	696	9	369.375	15	10	372.730
Metropolitana de Santiago	Puente Alto	844	382	270	80	7	1.879	6.678	1.614	15	571.125	21	14	575.912
Metropolitana de Santiago	Quilicura	1.017	574	468	72	1.301	2.266	6.851	841	28	4.084.529	100	88	4.113.254
Metropolitana de Santiago	Quinta Normal	443	259	218	27	4	613	3.325	423	14	2.143.301	51	47	2.158.479
Metropolitana de Santiago	Recoleta	296	119	79	27	2	713	1.801	307	4	249.016	9	5	250.778

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Metropolitana de Santiago	Renca	892	514	277	45	17	1.504	2.787	467	10	1.055.676	33	10	1.059.457
Metropolitana de Santiago	San Bernardo	1.022	440	314	74	73	1.839	5.829	1.722	11	616.297	19	12	620.397
Metropolitana de Santiago	San Joaquín	200	71	43	16	3	384	1.157	190	3	111.279	4	3	112.300
Metropolitana de Santiago	San José de Maipo	277	150	124	19	2	567	1.872	806	1	86.605	4	2	99.893
Metropolitana de Santiago	San Miguel	268	105	68	24	2	568	1.676	282	4	186.779	7	5	188.509
Metropolitana de Santiago	San Pedro	430	163	112	13	2	305	1.645	753	1	59.923	3	2	70.110
Metropolitana de Santiago	San Rafael	121	38	22	10	1	202	645	106	2	58.365	2	2	58.908
Metropolitana de Santiago	San Ramón	29	26	24	3	0	41	350	164	0,008	20.777	1	0,184	20.845
Metropolitana de Santiago	Santiago	1.278	786	667	134	72	4.287	11.180	1.529	31	4.736.314	121	105	4.770.683
Metropolitana de Santiago	Talagante	672	255	166	38	3	1.137	2.551	702	5	579.438	22	9	582.526
Metropolitana de Santiago	Tiltil	661	323	240	28	9.206	5.524	3.072	784	7	1.132.285	37	5	1.134.737
Metropolitana de Santiago	Vitacura	529	234	169	61	5	1.174	3.370	528	9	576.921	21	16	582.206
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Chépica	301	202	179	20	2	158	3.042	1.717	2	37.570	8	1	43.337
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Chimbarongo	416	339	318	35	3	341	5.775	3.354	1	70.499	3	2	81.745
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Codegua	295	157	129	14	1	181	2.251	1.296	1	38.123	2	1	45.083
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Coinco	228	109	85	9	1	138	1.453	833	0,465	25.551	1	1	31.393
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Coltauco	455	248	205	22	2	282	3.533	2.034	1	48.486	3	1	58.664
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Doñihue	491	249	190	28	526	411	2.946	1.655	1	117.080	3	2	127.630
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Graneros	374	232	202	22	3	245	3.586	2.074	1	63.992	2	2	71.024
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	La Estrella	145	75	59	6	2	103	899	454	1	27.247	4	1	31.267
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Las Cabras	536	352	312	33	3	294	5.541	3.233	1	56.146	3	2	65.920
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Litueche	267	129	101	12	1	264	1.572	860	1	115.855	4	1	123.486
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Lolol	184	120	104	11	1	115	1.754	970	1	25.200	4	1	29.157

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Machalí	76.387	28.453	4.589	396	28.876	1.238	3.632	1.350	4	239.579	12	9	242.435
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Malloa	246	169	152	16	1	141	2.714	1.589	0,358	24.875	1	1	29.136
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Marchihue	295	144	113	15	3	462	2.149	996	3	194.021	7	5	220.995
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Mostazal	346	220	187	22	6	692	3.203	1.731	1	395.252	17	2	401.925
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Nancagua	297	209	188	20	2	134	3.297	1.908	1	31.528	5	1	36.111
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Navidad	179	136	124	13	1	66	2.209	1.276	1	15.686	2	1	18.160
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Olivar	394	173	139	23	1	233	2.432	1.259	1	36.054	1	1	70.906
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Palmilla	357	208	177	20	2	201	2.973	1.666	2	48.472	8	1	56.635
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Paredones	168	116	101	11	1	91	1.689	924	1	19.837	5	1	23.076
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Peralillo	230	152	134	15	2	178	2.259	1.267	1	81.289	4	1	85.660
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Peumo	258	142	118	13	1	152	2.056	1.185	1	32.643	2	1	38.350
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Pichidegua	416	266	233	25	3	217	4.015	2.314	1	54.827	5	2	62.718
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Pichilemu	326	210	184	20	2	172	3.228	1.837	1	46.838	4	1	53.425
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Placilla	241	130	108	12	1	154	1.873	1.083	0,388	28.108	1	1	33.694
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Pumanque	131	76	65	7	1	79	1.095	608	1	18.464	2	1	21.579
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Quinta de Tilcoco	307	165	136	14	120	224	2.350	1.346	1	69.390	2	1	76.627
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Rancagua	1.303	735	610	138	6.778	3.489	10.425	4.782	9	513.358	16	10	516.836
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Rengo	558	451	402	41	359	828	6.581	3.506	5	148.621	25	4	159.135
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Requínoa	1.338	920	686	48	57	522	8.041	2.509	28	128.008	161	11	145.061
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	San Fernando	1.799	1.376	1.045	77	26	906	11.961	3.652	41	314.006	243	20	339.933
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	San Vicente	578	479	450	51	37	746	8.088	4.676	2	129.773	8	4	143.815
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Santa Cruz	534	450	422	43	5	956	6.713	3.747	4	521.067	23	3	532.217
Maule	Cauquenes	844	734	691	74	7	505	12.649	6.937	5	98.245	17	4	111.713

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Maule	Chanco	332	218	191	20	2	176	3.452	1.890	1	32.245	4	1	38.566
Maule	Colbún	597	481	445	48	5	395	8.341	4.528	4	137.044	12	4	152.658
Maule	Constitución	14.176	504	456	100	668	1.907	10.091	4.304	6	1.517.624	75	71	1.560.979
Maule	Curepto	357	246	220	25	3	250	3.978	2.177	1	39.238	4	1	45.732
Maule	Curicó	1.803	1.480	1.375	167	11	996	25.156	13.789	5	176.150	21	7	178.676
Maule	Empedrado	263	156	127	15	7	185	1.898	801	4	28.773	7	1	34.354
Maule	Hualañé	397	238	202	22	2	217	3.593	1.941	2	52.549	6	2	60.681
Maule	Licantén	1.095	147	125	29	1	629	3.380	1.261	1	553.055	43	26	568.035
Maule	Linares	2.040	1.722	1.618	180	13	1.277	29.815	16.763	3	123.458	20	4	125.197
Maule	Longaví	737	649	617	66	6	420	11.495	6.394	3	75.958	10	2	88.287
Maule	Maule	1.147	491	473	48	3	144	8.991	5.129	0,490	14.833	3	0,467	15.041
Maule	Molina	952	843	802	86	7	776	15.128	8.533	2	143.744	7	3	157.020
Maule	Parral	1.011	890	845	91	8	552	15.756	8.778	5	116.505	15	4	132.963
Maule	Pelarco	289	203	183	21	2	276	3.440	1.816	2	105.076	6	3	119.823
Maule	Pelluhue	291	195	173	18	2	133	3.210	1.788	1	31.108	2	1	36.746
Maule	Pencahue	364	227	196	22	3	239	3.412	1.810	2	56.439	7	2	64.852
Maule	Rauco	541	253	197	21	2	330	3.472	1.902	1	63.878	3	2	79.435
Maule	Retiro	586	459	422	48	108	257	7.759	4.322	2	61.742	8	2	68.078
Maule	Río Claro	623	388	331	38	5	748	5.988	3.136	4	166.751	16	4	200.089
Maule	Romeral	315	289	280	35	314	299	4.950	2.736	0,275	59.427	3	1	59.943
Maule	Sagrada Familia	488	394	366	41	4	924	6.171	3.302	2	625.297	15	3	639.976
Maule	San Clemente	1.189	1.060	1.001	108	33	932	18.533	10.253	5	114.782	18	3	129.379
Maule	San Javier	794	656	611	67	10	936	10.779	5.837	4	427.271	21	4	445.197
Maule	San Rafael	310	211	186	19	2	177	3.383	1.860	1	33.405	5	1	38.950
Maule	Talca	2.187	1.724	1.596	190	58	1.462	31.283	16.596	11	385.903	17	10	389.430
Maule	Teno	3.444	2.668	1.996	129	119	3.501	22.478	5.644	91	901.063	532	34	939.207
Maule	Vichuquén	459	180	127	14	1	281	2.088	1.124	1	47.536	3	1	60.782

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Maule	Villa Alegre	489	355	323	33	3	182	5.992	3.379	1	34.952	5	1	41.580
Maule	Yerbas Buenas	778	481	412	52	3	633	7.219	3.812	3	422.003	35	19	438.372
Ñuble	Bulnes	778	613	568	60	6	292	10.470	6.029	5	58.847	15	2	66.669
Ñuble	Chillán	4.179	3.056	2.902	319	21	2.290	56.474	31.910	15	897.309	39	9	900.987
Ñuble	Chillán Viejo	767	588	540	61	6	654	10.192	5.661	6	52.579	12	2	149.521
Ñuble	Cobquecura	299	225	204	21	2	126	3.739	2.117	1	22.430	5	1	26.310
Ñuble	Coelemu	690	541	489	50	4	323	9.315	5.327	1	142.745	12	6	151.611
Ñuble	Coihueco	1.171	980	917	99	13	471	16.470	9.157	15	86.242	44	3	97.317
Ñuble	El Carmen	790	647	598	70	19	360	9.164	4.140	36	99.852	96	4	111.157
Ñuble	Ninhue	416	324	273	24	5	150	4.295	2.084	6	30.208	33	2	34.762
Ñuble	Ñiquén	730	602	530	50	8	205	8.883	4.613	10	46.642	49	3	52.842
Ñuble	Pemuco	547	425	391	51	21	415	6.185	2.655	24	236.423	74	10	246.639
Ñuble	Pinto	574	453	420	47	7	445	6.970	3.678	12	226.144	35	2	234.008
Ñuble	Portezuelo	229	194	181	19	4	89	3.316	1.836	2	12.923	3	0,435	14.910
Ñuble	Quillón	1.436	1.119	909	70	17	311	13.235	5.825	25	90.471	149	9	103.770
Ñuble	Quirihue	700	557	479	43	6	229	7.745	4.020	7	62.822	41	4	69.441
Ñuble	Ránquil	6.615	327	280	135	10	3.005	10.786	2.573	5	3.386.697	236	166	3.446.196
Ñuble	San Carlos	1.559	1.402	1.347	147	1.460	734	24.893	14.391	8	237.799	26	5	252.386
Ñuble	San Fabián	249	195	179	22	2	226	3.048	1.659	2	35.367	7	1	38.795
Ñuble	San Ignacio	734	612	577	61	8	233	10.506	5.872	11	56.257	29	2	63.490
Ñuble	San Nicolás	519	452	426	45	8	270	7.363	3.934	11	82.235	26	2	92.455
Ñuble	Treguaco	508	361	294	25	2	252	3.989	2.173	0,294	153.623	12	7	159.835
Ñuble	Yungay	929	800	749	99	15	388	12.111	6.131	29	556.076	81	27	571.661
Biobío	Alto Biobío	315	274	260	27	2	115	4.982	2.928	0,322	16.253	2	1	18.687
Biobío	Antuco	283	190	169	19	2	197	3.066	1.749	1	33.367	2	1	38.606
Biobío	Arauco	2.560	1.341	1.277	151	776	2.053	26.187	14.087	8	1.751.629	84	84	1.789.892
Biobío	Cabrero	1.508	1.235	973	86	7	1.483	17.048	8.686	2	1.068.313	90	52	1.101.229

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Biobío	Cañete	2.542	2.165	1.878	161	35	667	29.826	14.541	42	158.638	224	14	177.511
Biobío	Chiguayante	999	826	775	102	6	603	14.952	8.420	4	134.251	6	4	135.675
Biobío	Concepción	4.199	1.711	1.555	245	19	2.693	28.927	15.460	12	574.573	24	15	579.674
Biobío	Contulmo	1.498	1.178	886	56	23	281	10.307	2.955	39	96.037	230	13	108.272
Biobío	Coronel	2.719	1.915	1.661	214	5.648	8.499	29.270	16.257	10	5.765.961	69	51	5.782.906
Biobío	Curanilahue	1.508	1.228	1.115	108	11	562	19.451	11.214	3	168.293	20	7	179.716
Biobío	Florida	468	446	431	44	4	234	8.267	4.860	1	9.122	4	0,362	9.321
Biobío	Hualpén	8.099	5.708	4.071	1.015	19.149	3.843	58.131	10.084	175	1.083.755	9	6	1.085.816
Biobío	Hualqui	575	504	473	50	6	179	8.749	4.952	3	24.627	12	1	25.326
Biobío	Laja	1.422	846	782	139	296	1.864	18.381	8.698	5	1.715.834	139	79	1.750.964
Biobío	Lebu	998	867	824	83	8	291	15.671	9.140	3	42.586	12	2	47.666
Biobío	Los Álamos	920	765	714	72	6	291	13.386	7.717	3	46.750	16	2	53.706
Biobío	Los Angeles	6.059	5.265	4.931	508	34	2.310	93.506	53.736	15	461.324	63	20	468.942
Biobío	Lota	639	539	499	56	5	387	9.389	5.371	1	148.064	11	6	150.081
Biobío	Mulchén	1.624	1.357	1.232	127	27	648	19.981	10.008	38	141.918	130	8	156.783
Biobío	Nacimiento	4.315	1.686	1.379	271	819	2.736	29.882	9.211	43	4.654.486	556	222	4.743.533
Biobío	Negrete	744	416	346	35	3	360	6.196	3.545	2	56.482	9	2	70.973
Biobío	Penco	934	612	552	79	216	1.907	9.955	5.472	6	403.908	12	6	406.019
Biobío	Quilaco	262	215	198	22	4	170	3.385	1.786	4	28.538	13	1	31.482
Biobío	Quilleco	456	377	354	39	4	261	6.356	3.554	5	40.730	14	1	45.479
Biobío	San Pedro de la Paz	1.703	1.327	1.196	182	24	1.517	21.852	11.631	11	411.259	29	15	416.474
Biobío	San Rosendo	171	136	122	12	1	54	2.197	1.220	1	11.802	6	1	13.455
Biobío	Santa Bárbara	715	550	503	54	6	320	9.155	5.152	6	52.756	18	2	61.321
Biobío	Santa Juana	524	499	481	50	4	161	9.179	5.398	1	12.114	4	1	12.410
Biobío	Talcahuano	4.261	1.710	1.588	206	22.594	11.484	25.379	13.227	13	4.085.294	53	13	4.090.627
Biobío	Tirúa	953	754	658	54	12	232	10.206	4.847	15	55.371	85	6	62.367
Biobío	Tomé	1.002	876	826	93	8	1.032	14.804	8.399	4	564.795	23	3	566.127

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Bióbio	Tucapel	814	561	499	53	7	370	8.635	4.702	11	66.348	30	2	78.932
Bióbio	Yumbel	891	740	692	70	5	295	13.188	7.703	2	68.009	9	2	75.837
Araucanía	Angol	2.259	1.923	1.755	172	21	664	32.344	17.880	19	106.071	103	8	110.918
Araucanía	Carahue	1.633	1.423	1.318	130	15	505	24.657	13.834	14	77.952	67	5	86.156
Araucanía	Cholchol	1.330	1.041	864	71	15	376	13.744	6.564	21	84.017	120	8	96.311
Araucanía	Collipulli	2.214	1.680	1.482	215	32	1.339	29.191	12.348	41	673.201	329	109	721.151
Araucanía	Cunco	1.614	1.486	1.433	156	13	3.216	24.313	13.780	16	74.411	81	3	82.291
Araucanía	Curacautín	1.504	1.368	1.312	141	17	638	24.632	14.041	20	92.575	52	4	99.751
Araucanía	Curarrehue	546	497	478	50	5	191	9.728	5.820	0,175	20.402	1	1	22.347
Araucanía	Ercilla	1.458	1.142	944	69	26	315	12.206	4.290	44	103.091	213	13	113.773
Araucanía	Freire	1.817	1.600	1.490	152	20	671	26.585	14.805	28	233.032	86	11	244.117
Araucanía	Galvarino	2.761	2.239	1.742	123	51	533	21.651	6.977	83	177.090	426	23	197.783
Araucanía	Gorbea	936	825	784	84	10	328	14.732	8.244	16	60.757	45	2	67.040
Araucanía	Lautaro	3.370	2.172	1.976	203	31	2.456	34.070	18.465	47	884.390	143	15	908.608
Araucanía	Loncoche	1.270	1.122	1.064	110	8	429	20.946	12.368	4	88.121	15	3	94.267
Araucanía	Lonquimay	848	768	738	84	6	551	14.339	8.385	1	63.217	8	3	66.879
Araucanía	Los Sauces	5.580	4.043	3.061	165	106	1.081	30.183	4.230	174	419.669	974	60	467.758
Araucanía	Lumaco	2.650	2.049	1.576	102	45	579	18.855	5.615	70	178.266	401	24	199.449
Araucanía	Melipeuco	461	418	402	42	3	176	8.106	4.830	0,245	21.390	2	1	23.394
Araucanía	Nueva Imperial	1.815	1.605	1.516	154	15	528	29.271	16.892	16	123.292	51	4	133.040
Araucanía	Padre Las Casas	2.457	2.235	2.117	215	19	598	41.646	23.971	19	86.441	70	5	89.583
Araucanía	Perquenco	755	704	670	78	21	278	9.762	4.188	50	119.323	130	5	125.971
Araucanía	Pitrufquén	1.409	1.216	1.154	120	10	419	22.752	13.299	10	72.927	28	2	81.470
Araucanía	Pucón	1.521	1.414	1.362	145	9	676	27.482	16.344	1	108.930	6	3	117.800
Araucanía	Purén	1.451	1.187	967	75	17	318	14.543	6.515	27	91.376	161	10	101.679
Araucanía	Renaico	537	479	456	48	5	156	8.941	5.226	3	24.617	11	1	27.389
Araucanía	Saavedra	769	695	667	68	4	211	13.633	8.169	0,399	23.806	2	1	26.829

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Araucanía	Temuco	6.115	5.232	4.940	530	148	3.600	99.552	57.720	38	1.450.917	55	25	1.459.726
Araucanía	Teodoro Schmidt	923	846	814	85	6	264	16.354	9.686	3	32.891	10	1	36.266
Araucanía	Toltén	591	529	505	54	4	254	10.086	5.970	1	30.812	4	1	33.727
Araucanía	Traiguén	1.935	1.654	1.469	139	34	549	22.671	10.362	65	164.214	234	12	177.425
Araucanía	Victoria	3.086	2.731	2.496	250	58	933	37.276	17.213	130	322.055	389	16	344.734
Araucanía	Vilcún	1.998	1.714	1.620	175	25	783	28.567	15.318	55	108.709	133	5	177.834
Araucanía	Villarrica	2.677	2.482	2.393	247	17	904	48.821	29.061	6	157.440	18	4	175.203
Los Ríos	Corral	313	285	271	27	2	95	6.378	4.104	1	20.044	4	1	21.130
Los Ríos	Futroneo	1.363	874	770	79	7	546	17.802	11.472	2	69.877	8	2	90.024
Los Ríos	La Unión	2.395	2.115	1.987	204	19	915	45.072	28.530	11	360.665	53	16	378.777
Los Ríos	Lago Ranco	696	616	589	61	5	312	14.179	9.141	1	61.255	3	2	74.260
Los Ríos	Lanco	953	844	807	82	6	335	19.232	12.477	1	135.547	5	1	139.830
Los Ríos	Los Lagos	1.232	1.066	1.009	104	9	380	23.905	15.344	2	108.451	13	4	115.655
Los Ríos	Máfil	459	382	359	37	3	146	8.407	5.372	2	23.845	7	1	27.415
Los Ríos	Mariquina	7.467	1.204	1.136	225	14	3.195	32.634	16.883	9	3.324.140	248	162	3.383.474
Los Ríos	Paillaco	1.167	1.016	966	99	9	296	22.951	14.776	4	42.917	12	1	49.087
Los Ríos	Panguipulli	2.065	1.907	1.838	188	14	689	44.181	28.661	2	133.539	8	2	146.713
Los Ríos	Río Bueno	1.979	1.736	1.657	169	13	521	39.658	25.681	3	73.543	11	2	83.174
Los Ríos	Valdivia	5.196	4.658	4.459	477	74	2.322	105.974	68.104	4	762.160	35	10	766.029
Los Lagos	Ancud	1.406	1.267	1.211	125	32	819	28.195	16.703	1	111.071	5	2	123.874
Los Lagos	Calbuco	1.793	1.404	1.270	144	372	1.080	26.866	15.438	7	515.816	46	5	526.404
Los Lagos	Castro	1.565	1.408	1.343	137	19	673	31.024	18.272	3	121.295	16	4	134.767
Los Lagos	Chaitén	312	261	243	30	24	557	5.156	2.960	0,212	41.011	2	1	43.187
Los Lagos	Chonchi	772	642	606	60	8	748	13.500	7.967	1	337.966	7	1	343.946
Los Lagos	Cochamó	281	242	220	23	23	385	4.686	2.660	1	22.035	7	1	23.571
Los Lagos	Curaco de Vélez	196	162	152	16	2	83	3.536	2.097	0,206	10.055	1	0,292	11.746
Los Lagos	Dalcahue	791	579	529	54	5	328	12.008	7.055	2	60.241	7	2	70.091

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Los Lagos	Fresia	591	504	477	49	5	164	10.874	6.341	4	28.349	12	1	32.593
Los Lagos	Frutillar	930	748	700	71	5	305	16.002	9.439	3	56.274	9	2	64.409
Los Lagos	Futaleufú	204	172	162	17	2	75	3.762	2.232	0,157	10.449	1	0,308	12.011
Los Lagos	Hualaihué	571	479	447	49	39	698	10.146	5.965	0,342	45.594	1	1	49.448
Los Lagos	Llanquihue	834	624	571	59	6	376	12.896	7.571	3	71.641	9	2	81.257
Los Lagos	Los Muermos	839	696	655	67	5	246	15.214	9.026	1	38.538	4	1	45.246
Los Lagos	Maullín	708	600	562	56	4	237	12.769	7.565	0,394	56.441	4	2	61.192
Los Lagos	Osorno	4.981	4.361	4.118	439	1.051	2.639	92.522	54.114	12	688.847	45	10	692.854
Los Lagos	Palena	223	183	157	14	4	78	2.910	1.476	3	12.848	18	1	14.489
Los Lagos	Puerto Montt	9.083	6.938	6.603	704	336	6.051	152.710	89.738	10	677.598	32	11	681.726
Los Lagos	Puerto Octay	449	379	358	37	6	284	8.119	4.797	0,476	115.153	4	1	118.362
Los Lagos	Puerto Varas	1.524	1.334	1.277	133	1.771	1.386	29.476	17.374	3	172.342	11	3	184.116
Los Lagos	Puqueldón	209	172	161	16	5	108	3.680	2.167	0,393	12.576	2	0,357	14.498
Los Lagos	Purranque	996	837	791	81	7	311	18.074	10.623	5	71.042	13	2	78.248
Los Lagos	Puyehue	721	510	462	49	11	413	10.509	6.203	1	51.394	3	1	61.254
Los Lagos	Queilén	254	220	208	22	8	168	4.808	2.847	0,207	12.346	1	0,266	13.801
Los Lagos	Quellón	1.138	941	879	100	89	1.708	20.147	11.783	1	199.037	6	2	207.255
Los Lagos	Quemchi	433	369	344	36	15	313	7.896	4.669	0,455	26.269	2	0,483	28.899
Los Lagos	Quinchao	396	331	311	32	15	322	7.119	4.199	0,415	23.993	2	1	26.868
Los Lagos	Río Negro	2.265	2.125	2.088	259	5	22.148	16.035	7.605	4	64.060	303	1	77.353
Los Lagos	San Juan de la Costa	498	378	347	36	3	287	7.905	4.661	1	81.703	4	1	87.793
Los Lagos	San Pablo	654	530	494	54	8	215	10.507	5.795	14	51.164	37	2	58.054
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Aisén	1.480	1.266	1.202	122	19	618	30.273	18.620	1	161.151	4	1	168.813
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Chile Chico	338	295	282	28	2	79	7.147	4.400	0,188	10.582	1	0,342	12.354
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Cisnes	401	351	334	34	9	186	8.425	5.177	0,203	14.451	1	0,317	16.202
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Cochrane	472	359	325	27	9	118	6.367	3.286	8	31.410	38	3	34.831

Región	Comuna	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Coihaique	2.208	2.002	1.925	196	16	794	48.116	29.376	2	147.065	8	4	165.737
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Guaitecas	135	91	81	8	3	89	1.998	1.215	0,113	14.354	0,271	0,448	17.408
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Lago Verde	103	59	46	4	1	46	942	516	1	10.188	4	0,473	12.368
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	O'Higgins	58	39	35	3	0	11	858	528	0,020	1.326	0,101	0,044	1.564
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Río Ibáñez	201	163	153	16	1	63	3.866	2.372	0,179	10.452	1	0,337	12.404
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Tortel	109	47	36	3	0	19	818	502	0,034	2.656	0,153	0,080	3.253
Magallanes y de la Antártica Chilena	Antártica	2	2	2	0,215	0,047	1	41	21	0,0001	128	0,002	0,001	128
Magallanes y de la Antártica Chilena	Cabo de Hornos	57	44	40	5	8	138	748	365	0,050	8.576	0,172	0,110	9.066
Magallanes y de la Antártica Chilena	Laguna Blanca	46	23	18	2	0	24	323	162	0,057	4.095	0,182	0,121	5.167
Magallanes y de la Antártica Chilena	Natales	887	676	597	57	29	1.126	10.203	4.755	6	135.509	33	4	143.885
Magallanes y de la Antártica Chilena	Porvenir	283	218	201	21	9	582	3.745	1.861	0,465	74.820	2	1	77.806
Magallanes y de la Antártica Chilena	Primavera	89	65	60	4	1	1.947	1.108	490	1	115.064	0,162	1	115.632
Magallanes y de la Antártica Chilena	Punta Arenas	1.875	1.603	1.507	173	21	2.116	27.940	13.585	9	632.991	21	10	636.438
Magallanes y de la Antártica Chilena	Río Verde	90	36	24	3	7	164	373	168	0,141	15.070	0,396	0,323	17.686
Magallanes y de la Antártica Chilena	San Gregorio	109	55	45	3	1	1.919	789	332	1	100.345	0,438	1	101.074
Magallanes y de la Antártica Chilena	Timaukel	106	60	42	3	0	92	365	138	0,024	43.700	3	2	44.837
Magallanes y de la Antártica Chilena	Torres del Paine	601	406	278	71	499	7.646	2.121	241	0,109	965.333	0,351	0,250	967.144
	Total	1.217.963	521.535	260.081	30.157	237.594	353.711	3.575.967	1.824.811	3.177	146.704.764	13.015	4.268	150.440.331

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3 Emisiones Fuentes Fijas

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales de fuentes fijas por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría.

Tabla 79: Emisiones Totales Fuentes Fijas por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Combustión	Combustión Externa Puntual	Antorcha	8	8	8	0,120	4	119	35	3	0,204	47.894	0,148	0,140	47.940
Combustión	Combustión Externa Puntual	Antorcha Gas Coque	1	1	1	0,018	0,417	10	2	0,145		6.273			6.273
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Agua Caliente	4.512	4.290	4.156	356	0,037	44.948	16.355	625	81	28.945.703	869	269	29.047.544
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera de Fluido Térmico	142	108	82	10	0,074	676	667	18	2	596.070	25	13	600.617
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera de Generación Eléctrica	3.317	531	261	74	41.420	34.748	14.985	196	8	34.970.551	435	1.612	35.461.792
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	3.649	2.365	1.692	440	4.615	14.390	25.462	810	165	16.189.756	809	585	16.384.198
Combustión	Combustión Externa Puntual	Caldera Recuperadora	15.833	21	17	282	0,000	6.268	16.465	466	4	7.275.060	580	359	7.396.525
Combustión	Combustión Externa Puntual	Calentador	1	0,276	0,246	0,021		6	2	0,039	0,123	6.168	0,089	0,032	6.180
Combustión	Total Combustión Externa Puntual		27.463	7.325	6.216	1.162	46.040	101.164	73.974	2.117	261	88.037.475	2.719	2.838	88.951.068
Combustión	Combustión Interna	Grupo Electrónico	1.794	1.263	864	224	1.640	29.603	6.260	242	0,000	1.824.020	0,001	0,001	1.824.020
Combustión	Combustión Interna	Motor Generación Eléctrica	101	81	69	19	151	8.569	1.342	256	0,007	302.898	0,008	0,004	302.900
Combustión	Total Combustión Interna		1.895	1.344	934	243	1.791	38.172	7.603	498	0,007	2.126.918	0,010	0,006	2.126.920
Total Combustión			29.357	8.668	7.150	1.405	47.830	139.336	81.576	2.615	261	90.164.393	2.719	2.838	91.077.988
Procesos	Baterías de Coque	Batería de Coque	56	56	56	0,170	32	150	90			59.755	0,054		59.757
Procesos	Total Baterías de Coque		56	56	56	0,170	32	150	90			59.755	0,054		59.757
Procesos	Convertidores	Convertidor Pierce Smith (CPS)	13.254	7.806	1.621	270,2	3.577	135	14	0,414	1	61.167	1	1	61.439
Procesos	Convertidores	Convertidor Teniente (CT)	10.812	6.367	1.322	220,3	3.979	9	1	0,000	0,170	5.526	0,161	0,084	5.555
Procesos	Total Convertidores		24.066	14.173	2.943	490	7.556	143	15	0,414	2	66.693	2	1	66.994
Procesos	Fugitivas Fundición	Fugitiva Fundición					81.533								0
Procesos	Total Fugitivas Fundición						81.533								0
Procesos	Hornos	Estufa alto horno	762	57	57	0,207	28	135	168	6	1	157.626	2	2	158.348
Procesos	Hornos	Horno	425	371	369	2	51.510	20.161	878	119	5	5.530.981	83	4	5.534.143

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Procesos	Hornos	Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	3	2	1	0,137		17	26	1	1	37.090	1	1	37.341
Procesos	Hornos	Horno Calcinadores	0,26	0,256	0,256	0,012		1	2	0,010	0,162	4.959	0,048	0,039	4.972
Procesos	Hornos	Horno de Cal	14.307	56	44	9	2.472	1.678	682	0,379	19	1.132.440	23	12	1.136.678
Procesos	Hornos	Horno de Coccion	0,00	0,000	0,000	0,000		0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0
Procesos	Hornos	Horno de Cocción	47	10	10	0,057		182	277	33	0,336	217.953	2	0,231	218.078
Procesos	Hornos	Horno de Fusión	202	24	17	1	788	1.973	220	39	7	424.404	6	5	425.922
Procesos	Hornos	Horno de Fusión Flash	861	0,072	0,072	0,008	1.467	24	9	1	0,373	16.324	0,249	0,236	16.401
Procesos	Hornos	Horno de Panadería	76	72	69	4,981		748	288	12	1	947.452	15	5	949.285
Procesos	Hornos	Horno de Refino	9	8	7	1		63	50	2	3	100.229	3	2	100.900
Procesos	Hornos	Horno de Refino /Fusión Scrap	0,32	0,285	0,222	0,026		3	0,343		0,055	1.841	0,069	0,036	1.853
Procesos	Hornos	Horno de Reformador	5	5	2	0,013			26	5	1	32.556	1	1	32.780
Procesos	Hornos	Horno de Tostación	10.672	1	0,488	0,028	3.320	6	2	0,013	0,267	7.934	0,022	0,005	7.936
Procesos	Hornos	Horno Palanquillas	31	29	12	0,326	3	198	41	8	1	2.049.303	1	1	2.049.574
Procesos	Hornos	Horno Planta Regeneradora de Ácido Sulfúrico (SAR)	0,25	0,249	0,249	0,004	0,138	4	1	0,080		1.395			1.395
Procesos	Hornos	Horno Precalcinador	31	27	23	4	44	1.312	1.782	3	0,002	755.853			755.853
Procesos	Hornos	Horno Precalentador	2.928	2.562	2.196	366	5.656	956	356	3	0,007	845.318			845.318
Procesos	Hornos	Horno Proceso	71	69	69	1	38	1.089	283	22	0,403	391.763	0,290	0,277	391.852
Procesos	Hornos	Horno Reverbero	34	34	34	0,258	0,000	350	95			624.404	10		624.653
Procesos	Hornos	Horno Rotatorio	0,38	0,001	0,001	0,000		20	0,001		0,000	6	0,000	0,000	6
Procesos	Hornos	Horno Rotatorio ¹⁷	43.385	33.351	28.581	4.762,592	13.718	2.928	215	13	1	980.173	1	1	980.417
Procesos	Hornos	Horno Rotatorio Secador	0,08	0,083	0,083	0,002	0,000	2	0,269	0,000	0,010	1.659	0,023		1.660
Procesos	Hornos	Horno Secador	25	14	14	0,082		220	30	0,032	0,018	197.290	3	0,013	197.373

¹⁷ La fuente Horno Rotatorio CEMENTO MELÓN PLANTA LA CALERA (HR-PCM-2168) tiene emisiones elevadas que se escapan del orden de magnitud de las otras. Tiene una emisión de proceso de 32.388 ton de MP, calculada por RUEA y no tiene equipo de control asociado. Dentro de la información compartida no se dispone del nivel de actividad. Se recomienda solicitar aclaración a la fuente de información (RETC).

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Procesos	Hornos	Horno Vertical	2.094	2	2	0,046	168	95	56	0,379		57.418			57.418
Procesos	Total Hornos		75.971	36.695	31.510	5.153	79.211	32.164	5.487	268	42	14.516.373	151	34	14.530.157
Procesos	Incineradores	Incinerador	2	2	2	0,040	0,335	21	10	1,077	0,275	17.759	0,202	0,165	17.813
Procesos	Incineradores	Incinerador Subproductos	0,12	0,105	0,093	0,002	0,036	1	0,191	0,012		535			535
Procesos	Total Incineradores		2	2	2	0,042	0,371	22	10	1,077	0,275	18.293	0,202	0,165	18.347
Procesos	Marmitas de Calcinación	Marmita de Calcinación	0,19	0,019	0,019	0,002		3	0,124	0,256	0,149	4.839	0,107	0,102	4.872
Procesos	Total Marmitas de Calcinación		0,19	0,019	0,019	0,002		3	0,124	0,256	0,149	4.839	0,107	0,102	4.872
Procesos	Molinos	Molino de Rodillo	0,22	0,059	0,059	0,000			1	0,052	0,030	984	0,022	0,021	991
Procesos	Total Molinos		0,22	0,059	0,059	0,000			1	0,052	0,030	984	0,022	0,021	991
Procesos	Reactor Noranda	Reactor Noranda					12.234								0
Procesos	Total Reactor Noranda						12.234								0
Procesos	Regeneradores Cracking Catalítico (FCCU)	Regenerador Cracking Catalítico (FCCU)	14.640	10.204	6.876	1.923	3.763	1.333	84.474	1.360	333	316.044			316.044
Procesos	Total Regeneradores Cracking Catalítico (FCCU)		14.640	10.204	6.876	1.923	3.763	1.333	84.474	1.360	333	316.044			316.044
Procesos	Secadores	Secador	7	1	1	0,103	0,000	13	9	0,471	0,487	16.046	0,463	0,330	16.155
Procesos	Secadores	Secador Concentrado Mineral	1.943	1.438	1.341	948									0
Procesos	Total Secadores		1.950	1.438	1.341	948,0	0,000	13	9	0,471	0,487	16.046	0,463	0,330	16.155
Procesos	Turbinas	Turbina a Vapor	251	190	86	1	0,000	641							0
Procesos	Turbinas	Turbina de Gas	813	617,719	277,975	9	2.755	8.484	3.363	88		6.000.486	355		6.009.362
Procesos	Total Turbinas		1.063	808,198	363,690	9	2.755	9.125	3.363	88		6.000.486	355		6.009.362
Total Procesos			117.749	63.377	43.093	8.523	187.085	42.954	93.448	2.794	377	20.999.514	509	35	21.022.680
Total general			147.106	72.045	50.243	9.928	234.916	182.290	175.024	5.409	638	111.163.906	3.227	2.873	112.100.668

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4 Emisiones Fuentes Areales

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales de fuentes areales por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría.

Tabla 80: Emisiones Totales Fuentes Areales por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Otras	Quemas	Incendios forestales	32.604	24.275	17.388	795	642	4.778	148.162		1.098	2.332.017	6.302	371	2.600.134
Otras	Quemas	Quemas agrícolas	5.954	5.954	5.634	708	358	1.896	51.291	3.403	796	1.128.312	2.011	52	1.194.120
Otras	Total Quemas		38.558	30.230	23.021	1.502	1.000	6.674	199.453	3.403	1.894	3.460.330	8.312	423	3.794.253
Total Otras			38.558	30.230	23.021	1.502	1.000	6.674	199.453	3.403	1.894	3.460.330	8.312	423	3.794.253
Residencial	Combustión externa residencial	Gas Licuado	43	43	43		2	1.397	284	112					284
Residencial	Combustión externa residencial	Gas Natural	75	75	75		6	925	394	54					394
Residencial	Combustión externa residencial	Kerosene	0,13	0,13	0,13		12	6	2	1					2
Residencial	Combustión externa residencial	Leña	152.098	145.710	141.573	14.157	812	20.917	2.973.617	1.783.281	8	13.365	146	1	17.416
Residencial	Total Combustión externa residencial		152.216	145.828	141.691	14.157	832	23.245	2.974.296	1.783.448	8	13.365	146	1	17.416
Total Residencial			152.216	145.828	141.691	14.157	832	23.245	2.974.296	1.783.448	8	13.365	146	1	17.416
Total general			190.774	176.057	164.712	15.660	1.832	29.919	3.173.749	1.786.850	1.902	3.473.695	8.459	425	3.811.669

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5 Emisiones Fuentes Móviles

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales de fuentes móviles por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría.

Tabla 81: Emisiones Totales Fuentes Móviles por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Fuentes móviles en ruta	Desgaste de frenos	Ciudades con modelo	660	647	257										
Fuentes móviles en ruta	Total Desgaste de frenos		660	647	257										
Fuentes móviles en ruta	Desgaste de neumáticos	Ciudades con modelo	760	456	319										
Fuentes móviles en ruta	Total Desgaste de neumáticos		760	456	319										
Fuentes móviles en ruta	Detenciones en caliente	Ciudades con modelo								2.121					
Fuentes móviles en ruta	Total Detenciones en caliente									2.121					
Fuentes móviles en ruta	Durante el día	Ciudades con modelo								1.422					
Fuentes móviles en ruta	Total Durante el día									1.422					
Fuentes móviles en ruta	Durante el recorrido	Ciudades con modelo								288					
Fuentes móviles en ruta	Total Durante el recorrido									288					
Fuentes móviles en ruta	Partidas en frío	Ciudades con modelo	56	56	56			648	11.356	1.650	5				
Fuentes móviles en ruta	Total Partidas en frío		56	56	56			648	11.356	1.650	5				
Fuentes móviles en ruta	Tubo de escape	Ciudades con modelo	4.153	4.153	4.153	2.604	142	53.641	140.767	17.544	468	15.007.682	607	439	15.153.732
Fuentes móviles en ruta	Tubo de escape	Ciudades sin modelo	640	640	640	423	100	40.115	26.283	2.120	153	10.405.431	333	271	12.632.916
Fuentes móviles en ruta	Total Tubo de escape		4.793	4.793	4.793	3.027	242	93.756	167.050	19.663	621	25.413.113	940	710	27.786.648
Total Fuentes móviles en ruta			6.269	5.952	5.425	3.027	242	94.404	178.406	25.143	626	25.413.113	940	710	27.786.648
Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Agrícola - Forestal	1.663	1.600	1.552	444	40	11.234	11.315	1.828	2	1.318.329	88	55	1.336.876
Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Construcción	2.450	2.357	2.286	654	85	18.649	21.797	3.332	4	2.784.220	176	115	2.822.776
Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Industrial	487	469	455	130	16	3.394	4.699	654	1	534.112	33	22	541.481
Fuentes móviles fuera de ruta	Maquinaria vehicular	Minería	1.059	1.019	988	283	44	9.123	9.470	1.371	2	1.438.156	92	61	1.458.533

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5	BC	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2	CH4	N2O	CO2eq
Fuentes móviles fuera de ruta	Total Maquinaria vehicular		5.660	5.445	5.281	1.510	186	42.401	47.280	7.185	9	6.074.816	389	252	6.159.665
Fuentes móviles fuera de ruta	Puertos y Aeropuertos	Aeropuertos	10	10	9	7	106	1.611	1.268	167		396.295			396.295
Fuentes móviles fuera de ruta	Puertos y Aeropuertos	Puertos	54	52	50	25	312	3.087	240	56	1	182.938		8	185.387
Fuentes móviles fuera de ruta	Total Puertos y Aeropuertos		64	62	59	32	418	4.698	1.508	223	1	579.233		8	581.682
Total Fuentes móviles fuera de ruta			5.724	5.506	5.340	1.543	605	47.099	48.788	7.408	11	6.654.050	389	260	6.741.347
Total general			11.992	11.458	10.766	4.569	846	141.502	227.194	32.551	637	32.067.163	1.330	971	34.527.995

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.6 Emisiones Polvo Fugitivo

En la siguiente tabla se presenta las emisiones totales de polvo fugitivo por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría.

Tabla 82: Emisiones Totales Polvo Fugitivo por Sub-Grupo, Categoría y Sub-Categoría, año 2021 en t/año

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5
Construcción y Demolición	Construcción de caminos	Construcción de caminos	53	34	3
Construcción y Demolición	Total Construcción de caminos		53	34	3
Construcción y Demolición	Construcción de edificios	Construcción de edificios y viviendas	826	405	48
Construcción y Demolición	Total Construcción de edificios		826	405	48
Total Construcción y Demolición			880	439	51
Polvo Resuspendido de calles	Calles Pavimentadas	Ciudades con modelo	29.420	5.647	1.366
Polvo Resuspendido de calles	Calles Pavimentadas	Ciudades sin modelo	32.651	6.267	1.516
Polvo Resuspendido de calles	Total Calles Pavimentadas		62.071	11.914	2.883
Total Polvo Resuspendido de calles			62.071	11.914	2.883
Fugitivas Mineras	Cobre	Anglo American Sur - Mina Los Bronces	32.458	10.066	1.268
Fugitivas Mineras	Cobre	Anglo American Sur - Mina Rajo El Soldado	4.706	1.459	184
Fugitivas Mineras	Cobre	C.C.M. Ojos del Salado - Santos	3.877	1.202	151
Fugitivas Mineras	Cobre	Centinela	32.993	10.232	1.289
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Contractual Minera Candelaria - Candelaria	12.673	3.930	495
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Cerro Colorado Ltda. - Cerro Colorado	9.211	2.857	360
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. - Rosario	84.099	26.082	3.285
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera San Gerónimo - Mina 21 de Mayo	2.005	622	78
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Teck Quebrada Blanca S.A. - Quebrada Blanca	1.791	556	70
Fugitivas Mineras	Cobre	Cía. Minera Zaldívar SPA - Zaldívar	12.900	4.001	504
Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Chile División - El Teniente	59.248	18.375	2.314
Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Chuquicamata	53.566	16.613	2.092
Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Ministro Hales	34.837	10.804	1.361
Fugitivas Mineras	Cobre	Codelco Radomiro Tomic	22.806	7.073	891
Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Gabriela Mistral	13.649	4.233	533
Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Quebrada M	7.526	2.334	294
Fugitivas Mineras	Cobre	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Sur Sur	24.664	7.649	963
Fugitivas Mineras	Cobre	El Abra - El Abra	9.612	2.981	375

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5
Fugitivas Mineras	Cobre	Lomas Bayas - Lomas Bayas	9.879	3.064	386
Fugitivas Mineras	Cobre	Mantos Copper S.A. - Mantos Blancos	5.254	1.629	205
Fugitivas Mineras	Cobre	Mantos Copper S.A. - Manto Verde	5.254	1.629	205
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Antucoya Ltda. - Mina Antucoya	10.601	3.288	414
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Dragones	285	65	8
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Escondida Ltda. - Escondida	158.720	49.224	6.199
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Altamira	401	124	16
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Las Luces	401	124	16
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Las Cenizas S.A. - Mina Sauce	1.136	352	44
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Los Pelambres - Mina Los Pelambres	84.099	26.082	3.285
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Lumina Copper Chile Ltda. - Caserones	16.897	5.240	660
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Teck-CDA	689	158	11
Fugitivas Mineras	Cobre	Minera Valle Central S.A.	3	1	0,13
Fugitivas Mineras	Cobre	Pampa Camarones - Mina Pampa Camarones	1.136	352	44
Fugitivas Mineras	Cobre	S.C.M. Tres Valles - Papomono	943	292	37
Fugitivas Mineras	Cobre	Sierra Gorda SCM	20.868	6.472	815
Fugitivas Mineras	Cobre	Soc. Contractual Minera Carola S.A. - Socavón Carola	3.342	1.036	131
Fugitivas Mineras	Cobre	Soc. Minera Punta del Cobre - Punta del Cobre	5.882	1.824	230
Fugitivas Mineras	Cobre	Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan - Atacama Kozan	1.665	516	65
Fugitivas Mineras	Cobre	Sociedad Contractual Minera Franke - Mina Franke	2.543	789	99
Fugitivas Mineras	Cobre	Spence	19.611	6.082	766
Fugitivas Mineras	Total Cobre		772.231	239.415	30.141
Fugitivas Mineras	Litio	Albemarle Ltda. - Pozos y Pozas	18.715	5.804	731
Fugitivas Mineras	Litio	S.Q.M. Salar - Pozas Salar	13.502	4.187	527
Fugitivas Mineras	Total Litio		32.217	9.992	1.258
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. - Rosario	126	39	5
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Codelco Chile División - El Teniente	187	58	7
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Quebrada M	13	4	1
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Corporación Nacional del Cobre (Codelco) - Mina Sur Sur	40	12	2
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Los Pelambres - Mina Los Pelambres	248	77	10
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Lumina Copper Chile Ltda. - Caserones	61	19	2
Fugitivas Mineras	Molibdeno	Minera Valle Central S.A. - Planta Molibdeno	16	5	1
Fugitivas Mineras	Total Molibdeno		691	214	27
Fugitivas Mineras	Oro	Compañía Minera Pullalli SPA. - Pullalli (Soc. Sur)	0,09	0,03	0,00
Fugitivas Mineras	Oro	Guanaco Compañía Minera Ltda. - Guanaco	0,06	0,02	0,00
Fugitivas Mineras	Oro	HMC Gold S.C.M. - Tambo de Oro	0,11	0,04	0,00
Fugitivas Mineras	Oro	Minera Florida Ltda. - Pedro Valencia	0,07	0,02	0,00
Fugitivas Mineras	Oro	Minera Meridian limitada - El Peñón	0,63	0,19	0,02
Fugitivas Mineras	Total Oro		0,97	0,30	0,04

SUB-GRUPO	CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	MP	MP10	MP2,5
Fugitivas Mineras	Plata	Guanaco Compañía Minera Ltda. - Guanaco	0,15	0,05	0,01
Fugitivas Mineras	Total Plata		0,15	0,05	0,01
Total Fugitivas Mineras			805.140	249.621	31.427
Total general			868.090	261.975	34.360

Fuente: Elaboración Propia.

4 ANEXO IV - INVENTARIO DE EMISIONES (Anexo Digital)

Anexo 1: Documentos Metodológicos

Contiene los estudios e informes donde se encuentran las metodologías bases, así como los factores de emisión utilizados para elaborar el inventario de emisiones atmosféricas.

Anexo 2: Planillas Excel Cálculo de Emisiones.

Contiene las planillas Excel trazables con los cálculos de emisiones para cada tipo de fuente.

5 ANEXO V: Propuesta de escenarios normativos para la temporalidad diaria y anual

En Nazarenko et al., 2021 se encuentra una revisión de los estándares disponibles de $MP_{2,5}$ en el mundo entero que se encuentra actualizado hasta el año 2020. Se incluye información de 58 países que entrega un rango amplio de evaluación que van desde los 20 minutos (Rusia, $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 24 horas, anual y trianual. En el resumen ejecutivo de este documento se resumen gráficamente los diferentes estándares anual y diario incluidos en esa sección.

Para el estándar anual se encuentra que los valores se encuentran entre 8 (Australia) y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Egipto). El límite actual de Chile es $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y existen varios países que tienen estándares más bajos (Sudáfrica, Argentina, Bolivia, Canadá, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, México, Paraguay, Perú, Trinidad y Tobago, Estados Unidos de América, Bangladesh, Noruega, Suiza, Pakistán, Arabia Saudita, Australia, China, China, Taiwán, Japón, República de Corea, Singapur), con valores más frecuentes entre 12 y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto del estándar de 24 hrs (o diario), los valores en el mundo varían entre 25 y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$; entre los países que tienen valores más estrictos que Chile ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) destacan Sudáfrica, Bolivia, Canadá, México, Paraguay, Perú, Estados Unidos de América, Estados miembros de la Unión Europea (28 países), Ucrania, Noruega, Rusia, Pakistán, Australia, China, Taiwán, Japón y Singapur. Australia, Canadá, Perú y Bolivia tienen los valores más bajos ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en tanto que nuevamente Egipto tiene los valores más altos ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la Tabla 83 y Tabla 84 se incluye un listado de Instituciones/Países con sus respectivos estándares anual y de 24 horas. Cabe mencionar que en Europa solamente Rusia tiene un estándar de 24 horas.

Tabla 83: Estándares y normas de MP_{2,5} recopilados por Nazarenko et al., 2021

Institución/País	Valor Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
OMS	5 (a)
Australia	8
Canadá	8,8 (b)
Bolivia, La Paz	10
Suiza	10 (c)
México	12 (d)
Estados Unidos	12 (e)
Noruega	12
Singapur	12
Argentina, Buenos Aires	15
República Dominicana	15
Ecuador	15
El Salvador	15
Paraguay	15
Perú	15
Trinidad and Tobago	15
Estados Unidos	15 (f)
Bangladesh	15
Pakistán	15
Arabia Saudita	15
China	15 (g)
China, Taiwán	15
Japón	15
South África	20
Chile	20 (h)
República de Corea	20
Colombia	25
Unión Europea (28 países) y Ucrania	25
Rusia	25
Vietnam	25
China	35 (i)
China, Hong Kong SAR	35
India	40
Egipto	50

(a) Valor Guía/ (b)Promedio trianual del promedio anual de todos los valores de 1 hora/ (c)Promedio Aritmético/ (d)Promedio de concentración de 24 horas sobre al menos 1 año; al menos 75% de las muestra de 24 horas deben ser validas en los cuatro cuartiles del año/ (e)Primario (Protección de la salud pública)/ (f)Anual, secundario (Protector de la naturaleza)/ (g)Zona de primera clase (residencial)/ (h) Promedio aritmético trianual/ (i)Zona de segunda Clase (comercial).

Tabla 84: Estándares y normas de MP_{2.5} recopilados por Nazarenko et al., 2021.

Institución/País	Diario (µg/m ³)
WHO	15 (a)
Bolivia, La Paz	25
Canadá, Provincia de Ontario	25 (b)
Perú	25
Australia	25
Canadá	27 (c)
Canadá, Provincia de Quebec	30
Canadá, Provincia de Ontario	30 (d)
Paraguay	30
Estados Unidos	35 (e)
Rusia	35 (f)
Pakistán	35 (g)
China	35 (h)
China, Taiwán	35
Japón	35 (i)
Singapur	37,5
South África	40
México	45 (j)
Chile	50 (k)
Colombia	50
República de Corea	50 (l)
Vietnam	50
India	60 (m)
Argentina, Buenos Aires	65
República Dominicana	65
Ecuador	65
El Salvador	65
Trinidad and Tobago	65
Bangladesh	65
Arabia Saudita	65 (n)
China	75 (o)
China, Hong Kong SAR	75 (p)
Egipto	80

(a) Valores límites/ (b) Para fuentes individuales/ (c) Promedio de 3 años del percentil 98 anual de las concentraciones promedio diarias de 24 horas/ (d) Promedio de 3 años del percentil 98 anual de las concentraciones promedio diarias de 24 horas/ (e) Percentil 98 promediado a lo largo de 3 años/ (f) Percentil 99 anual/ (g) Percentil 98 de 3 años/ (h)

Zona de primera clase (residencial)/ (i) Percentil 98 anual/ (j) Media aritmética con al menos 75% de concentraciones horarias válidas, 18 registros/ (k) Percentil 98 anual/ (l) Percentil 98 anual/ (m) Percentil 98 anual/ (n) las superaciones de cualquiera de los estándares “como resultado de concentraciones de fondo naturales anormales no se considerarán una violación del estándar”/ (o) Zona de Segunda Clase (comercial)/ (p) Tolerancia de 9 excedencias en el año.

Cabe mencionar que preferentemente los países suelen utilizar percentil 98 para el estándar de 24 hrs. y el promedio aritmético para el estándar anual. Sin embargo, hay otros que utilizan el percentil 99 (como el caso de Rusia) o bien utilizar un número de excedencias por sobre el valor (como el caso de Hong Kong). La OMS en su guía del año 2021 también propone un percentil 99 para la norma de 24 hrs.

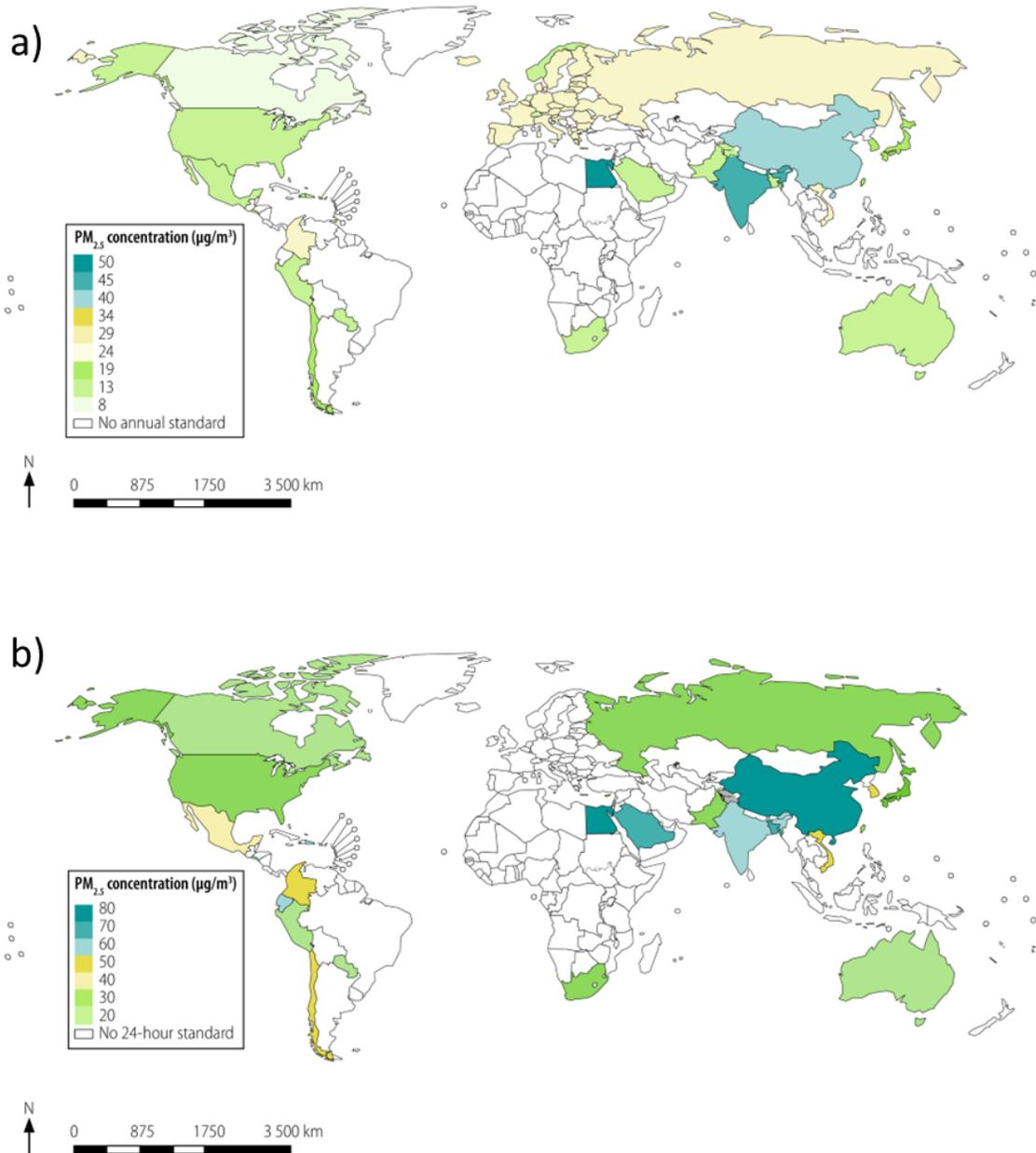


Figura 72: Estándares de calidad del aire en el mundo. a) estándar anual, b) estándar 24 horas. Obtenido desde Nazarenko Y, Pal D, Ariya PA. Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. *Bull World Health Organ.* 2021 Feb 1;99(2):125-137D. doi: 10.2471/BLT.19.245704. Epub 2020 Dec 15. PMID: 33551506; PMCID: PMC7856362.

Existen otras fuentes de información que ya disponen de un compilado de información de estándares de calidad del aire que ha sido aplicado, como por ejemplo el grupo Swiss THP dispone de una buena base de datos de consultas de todos los países con regulaciones¹⁸.

A nivel mundial, los estándares para el promedio anual de $MP_{2.5}$ se encuentran en un rango que abarca entre 8 y 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En varios países del mundo no existen estándares de calidad del aire para $MP_{2.5}$, sino que están orientados para MP_{10} únicamente. También se observa que en la mayoría de los países los estándares se enfocan más hacia los promedios anuales, en contraste a estándares de 24 horas. Un caso relevante es la Unión Europea, en donde no existen estándares para 24 horas de $MP_{2.5}$ (por el contrario, sí existe para MP_{10}). Esto responde a que el efecto en salud del $MP_{2.5}$ (y en general para el MP_{10} también) se asocia más bien a la exposición a largo plazo, en tanto que la evidencia científica en condiciones de tiempo de menor alcance (por ejemplo 24 horas) es más reducido. Por ejemplo, la UE especifica que los estándares de calidad del aire “se aplican durante diferentes períodos de tiempo porque los impactos observados en la salud asociados con los diversos contaminantes ocurren durante diferentes tiempos de exposición”¹⁹.

A modo de resumen, se comenta que el efecto en salud se asocia a la disminución en la expectativa de vida de una persona producto del aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias que se producen a mayor edad, y que se han evidenciado principalmente a través de investigaciones realizadas en el área de la epidemiología. Por lo mismo, en de opinión de este equipo consultor y en línea con argumentos internacionales, se puede inferir que a nivel normativo resulta más adecuado regular el $MP_{2.5}$ mediante un estándar anual en lugar de un estándar de 24 horas, esto sin perjuicio de que sigan existiendo regulaciones para los niveles que definan episodios de emergencia.

5.1 Estándar en la UE

Para la UE, el estándar de $MP_{2.5}$ anual se determina en función del promedio calculado durante 3 años, siendo este valor límite igual a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ desde el año 2020 (anteriormente fue de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, la UE está ad-portas de actualizar su directiva de calidad del aire, y con ello también los estándares que aplican a los diferentes contaminantes. El año 2022 se anunció que la revisión de las directivas permitirá establecer estándares provisionales (objetivos interinos) para el año 2030, que estén más alineados con las directrices de la Organización Mundial de la Salud. Para esto se ha propuesto llegar a un nuevo estándar de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir un valor que considera reducir a más de la mitad el valor límite actual²⁰.

En Europa, solo Rusia tiene un estándar de 24 horas en la región europea, y también tiene un estándar de $MP_{2.5}$ de 20 minutos además de los estándares anuales. La mayoría de los demás países

¹⁸ [Grenzwerte \(https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/grenzwerte/\)](https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/grenzwerte/)

¹⁹ https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en

²⁰ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6278

de la antigua Unión Soviética no tienen estándares MP_{2.5}. Ucrania, que tiene un acuerdo de asociación con la UE, adoptó el estándar MP_{2.5} de la UE para que entre en vigencia en 2018. La UE apoyó la creación de la infraestructura de monitoreo de la calidad del aire y la implementación del estándar en Ucrania desde 2015, pero la red de monitoreo no está vigente ni se completó a partir de 2020. Mayor información se encuentra en los siguientes enlaces.

- https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en
- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_22_6283
- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_22_6283

5.2 Estándar en EEUU

En EE.UU., existen estándares primarios y secundarios. El estándar primario permite un margen de seguridad adecuado para proteger la salud pública, considerando las incertidumbres de la información técnica y científica disponible. El estándar secundario no tiene una fecha límite de cumplimiento y se basa en los efectos adversos conocidos o anticipados en el bienestar público, incluidos los ecosistemas, los edificios y los monumentos.

En forma similar, la EPA de Estados Unidos ha anunciado que reducirá el actual estándar primario de MP_{2.5} de 12 µg/m³ en su promedio anual, valor que a su vez fue actualizado por última vez el año 2012. Para esto se propone considerar un valor que se encuentre en el rango de 8 a 11 µg/m³, según las sugerencias el último informe del Comité Asesor Científico de Aire Limpio (CASAC)[3] y comentarios recibidos de consultas públicas[4]. A modo de comentario, esto significa un cambio en la opinión de la EPA, ya que la administración del 2020 había determinado no cambiar el estándar establecido el año 2012.

Para la propuesta actual, la EPA está considerando información científica (incluyendo las nuevas recomendaciones de la OMS), y también los comentarios públicos que se recopilarán durante este año. Se espera que el nuevo estándar anual de MP_{2.5} se encuentre publicado dentro del 2023. En el caso del estándar de 24 horas, se ha anunciado que la actualización propondrá mantener el valor actual de 35 µg/m³, sin perjuicio de recibir comentarios en la consulta pública que lleven a considerar una disminución a 25 µg/m³. La EPA también propone revisar otros aspectos

Actualmente, el estándar secundario para MP_{2.5} es 15 µg/m³ como promedio anual, y de 35 µg/m³ como promedio de 24 horas (estimado del percentil 98 durante 3 años). La EPA ha propuesto que estos estándares secundarios (así como los estándares del MP₁₀), no serán reevaluados en la actual revisión de norma.

5.3 América Latina y Caribe

En Latino América y el Caribe se destaca que no todos los países cuentan con un estándar para MP_{2.5}. Por ejemplo, hoy en día los países que cuentan con normativa en calidad del aire para MP_{2.5}, corresponden a Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Paraguay, México y Brasil. En el caso de este último, la inclusión del MP_{2.5} en normativa ocurrió recién en el año 2018, y en el caso de Perú el MP_{2.5} se incluyó en la actualización de normativa del año 2017. En el caso de Argentina, se destaca que no existe una norma de MP_{2.5} a nivel nacional, sino que solamente a nivel municipal desde el año 2018, en la cual solo 1 municipio ha adoptado un estándar para este contaminante (Bahía Blanca, Bs. As. provincia).

Adicionalmente, el monitoreo de calidad del aire en América Latina y el Caribe es escaso, excepto en países como México y Brasil. El resto de los países no posee monitoreo suficiente de calidad del aire. Se incluye la fuente de información en donde es posible obtener información.

- <https://edition.cnn.com/2023/01/06/health/epa-air-pollution-standards-climate/index.html>
- <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/PfgQRYrhznqJ6P7NHpjSkgG/?lang=en>
- <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Proyecto-de-DS-ECA-AIRE.pdf>
- <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>
- https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/235-A-RINCON-41_48.pdf
- https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_guideline
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34662007/>
- <https://ww2.arb.ca.gov/es/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>
- https://www.researchgate.net/figure/Annual-PM-25-ambient-air-quality-standards-and-population-density-worldwide_fig2_348924159
- <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.2c00203>
- <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
- <https://www.airclim.org/air-quality-standards-worldwide#:~:text=Areas%20of%20low%20population%20density,25%20%C2%B5g%2Fm3>).

6 ANEXO VII: Análisis de la pertinencia de incorporar las concentraciones background en la presente revisión normativa y de ser pertinente, realizar una recomendación para cuantificarlo.

Este es un aspecto importante para tener consideración en el estudio. La concentración background de $MP_{2,5}$ se deben a fuentes naturales que siempre estarán presentes y por lo tanto siempre habrá un nivel de concentración mayor que cero. Para el caso de $MP_{2,5}$ estas fuentes naturales pueden corresponder a fuentes como sales marinas, orgánicos secundarios biogénicos, etc. Conforme con recomendaciones de la OMS, la identificación del background y su posibilidad de transposición de fronteras debe ser considerada a la hora de establecer valores límites. Un aspecto importante es que las guías OMS no toman en cuenta los valores background de contaminación, ya que están basadas cabalmente en efectos en salud. En algunos casos hay estándares de calidad del aire que pueden estar corregidos (como el caso de MP_{10} en Europa).

Dentro de la revisión de los valores internacionales, en la mayoría de los países no se informa de la cuantificación del aporte background (nivel basal o de fondo) en la definición de los estándares para $MP_{2,5}$. En el caso de la actualización de la normativa propuesta por la U.S. EPA durante el año en curso, el documento disponible en el registro federal²¹ que establece un capítulo dedicado al MP background (capítulo 6), en el cual se define a éste como “cualquier MP formado a partir de emisiones que no sean antropogénicas, es decir, de fuentes naturales o de MP que existiría en ausencia de emisiones antropogénicas o precursores de MP y fuentes transfronterizas que se originan fuera de las fronteras de los EE. UU”. El Informe Policy Assessment for the Reconsideration of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter (EPA 2022) contiene un análisis detallado de lo que significa el MP background para la EPA (sección 2.4). **A modo de resumen, se puede establecer la consideración de un background por fuentes naturales y de un background regional producido por el transporte del MP proveniente de otros países (transfronterizo).**

Si bien el aporte background en los EE.UU. se ha estimado bastante inferior en comparación la contribución antropogénica ($MP_{2,5}$ background anual entre 0,5 y 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), se ha determinado que la magnitud y las fuentes pueden variar ampliamente según la región y la época del año. Por ejemplo, los sitios costeros suelen experimentar una contribución constante de MP proveniente del aerosol marino (y en menor medida de sulfato secundario provenientes del dimetilsulfuro), mientras que otras áreas con mayor cobertura de vegetación suelen verse afectadas por la producción de polen y aerosoles biogénicos, especialmente durante las temporadas de primavera y verano que se asocian a mayor actividad metabólica de las plantas.

²¹ 5. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/01/27/2023-00269/reconsideration-of-the-national-ambient-air-quality-standards-for-particulate-matter>

Las fuentes MP background también varían según escalas de tiempo. Mientras algunas fuentes, como el aerosol biogénico, varían dependiendo si se estiman a partir de escalas mensuales o estacionales, muchas fuentes background son de naturaleza episódica. Estas fuentes episódicas, por ejemplo, incendios forestales, se pueden caracterizar por contribuciones poco frecuentes y en eventos de alta concentración, que ocurren en períodos de tiempo cortos (horas a días). Tales eventos episódicos son esporádicos y no necesariamente ocurren en todos años, no obstante, pueden conducir a superaciones del estándar diario de MP_{2.5}.

Así, la U.S. EPA establece que las contribuciones las concentraciones background en EE.UU. provienen principalmente de fuentes dentro del país (suspensión de polvo de desierto, sal marina y oxidación de terpenos biogénicos). Sin embargo, también se han documentado eventos intercontinentales, por ejemplo, el transporte de tormentas de polvo que ocurren en el desierto del Sahara, aunque estos eventos son menos frecuentes y representan una fracción mínima del MP background. Por ello, el raciocinio de la EPA para establecer el nuevo estándar es que el nivel de MP_{2.5} a regular se debe orientar no en concentraciones background, o en un estándar de “cero riesgo”, sino más bien en un valor que permita reducir el riesgo a un nivel suficiente para proteger la salud pública, incluyendo a grupos sensibles, dentro de un margen adecuado de seguridad. Cabe mencionar que, en el Informe antes mencionado, se comenta que la EPA puede considerar “la proximidad relativa a concentraciones de fondo” como un factor para decidir cómo revisar la norma primaria de calidad del aire, dentro del rango de valores razonables respaldados por los criterios científicos.

Para el caso de Chile, en la actualización de la normativa se podría seguir el ejemplo de la U.S. EPA, y para ello en primer lugar se sugiere que el texto regulatorio considere la definición del nivel “background natural”, que a modo de ejemplo se puede entender localmente como toda contribución de MP_{2.5} que no proviene de la acción humana, es decir, el aporte que se origina naturalmente producto de erosión del suelo (polvo en suspensión), formación secundaria de MP por COVs biogénicos, o bien contribución de sal marina, factor que resulta considerable en la mayoría de las ciudades costeras, y que incluso se ha evidenciado que llegan a formar parte del MP en ciudades más alejadas de la línea de costa. Este último factor se ha determinado en variados estudios científicos desarrollados anteriormente, y en los cuales se estima que puede alcanzar entre el 5 al 16% del MP_{2.5} (estudios Contribución por Fuentes: Jorquera et al., 2008, Barraza et al., 2017). También resulta conveniente que se defina el concepto de “background regional”, que incluye todo el MP producido a larga distancia y que pueda alcanzar los sitios de medición, como, por ejemplo, sulfatos secundarios producidos por actividades industriales.

Así como destaca la EPA en su informe, estimar el nivel background es complejo. Muchos de los procesos implicados en la biogenia y la formación de orgánicos secundarios no son simples de resumir y los mecanismos químicos no son del todo conocidos. Para esto se pueden usar técnicas de radiocarbono en muestras de material particulado, para distinguir las fracciones de carbono

modernas (biogénicas o incendios) de las fósiles (antropogénicas) que componen el aerosol orgánico.

Para estimar el nivel background se puede seguir el método usado en Estados Unidos, para el cual es importante contar con estaciones remotas o localizadas en sitios sin impacto de fuentes humanas (estaciones background). En estas estaciones se colecta MP y se envía a análisis químico para especiación de elementos (fluorescencia de rayos X) con el objeto de determinar la contribución de polvo mineral y sal marina. La especiación también considera la determinación de sulfato de amonio, que a criterio de la EPA, fue observado en este tipo de sitios como resultado de las emisiones antropogénicas de largo alcance. En el caso de las contribuciones de nitrato de amonio y carbono elemental, se estima que pueden provenir de fuentes antropogénicas o fuentes naturales, pero juntos suelen representar menos de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en EE.UU. Cabe mencionar que, en el caso de Chile, las redes de monitoreo de calidad del aire para MP2.5 están localizadas en zonas urbanas y no se cuenta con estaciones de tipo background, las cuales podrían ser incorporadas como una exigencia en la revisión de la norma, de forma tal de contar con esta información para el próximo proceso de revisión.

Existen varios métodos para estimar el nivel background de MP2.5, estos incluyen:

- 1) **Balance de masa química (CMB):** es un modelo de receptor que estima las contribuciones de diferentes fuentes a MP2.5. Para ello requiere un análisis de composición química de las muestras. Luego de aplicar el CMB se identifican las fuentes de MP2.5 y se estima sus contribuciones a la masa total. La masa restante se considera como el aporte background o de fondo.
- 2) **Modelos de receptor híbrido:** estos modelos utilizan modelos de receptor y de dispersión para estimar el nivel background. Con este modelo se pueden separar las contribuciones de fuentes locales y regionales y estimar los niveles de fondo.
- 3) **Análisis de trayectoria:** el análisis de trayectoria implica identificar la trayectoria inversa de la masa de aire, lo que proporciona información sobre el origen de la masa de aire y las fuentes de MP2.5. Al analizar la trayectoria, es posible estimar el nivel de fondo de MP2.5 (el aporte regional o de larga distancia).
- 4) **Modelo estadístico:** la modelación con métodos estadísticos involucra el uso de modelos de regresión para relacionar las concentraciones de MP2.5 con variables meteorológicas y otros factores. Al analizar los residuos del modelo, es posible estimar el nivel de fondo de MP2.5.
- 5) **Modelación de "zero-out":** implica el uso de modelos de calidad del aire para estimar el nivel de fondo mediante la simulación de un escenario donde todas las fuentes locales de MP2.5 se eliminan. En este proceso se realizan dos modelaciones regionales, una donde se incluyen las fuentes locales en un área urbana de interés, y otra modelación que se realiza para las fuentes locales en esa área urbana si se pusieran a emisión cero. En otras palabras, para obtener información sobre las concentraciones background, se comparan las dos simulaciones: una para el caso base, en la que se incluyen todas las fuentes de emisión; y uno en el que se excluyen las emisiones utilizadas en el modelo a escala local, que se refiere como el enfoque de "cero" que estima las concentraciones de fondo (Theobald et al., 2019).

7 ANEXO VIII: Criterios utilizados a nivel internacional y los recomendados por organizaciones de renombre para establecer los valores de excedencia.

El nivel de excedencia de $MP_{2.5}$ se refiere al umbral en el que la concentración de partículas en el aire supera los límites aceptables o regulados por los estándares de calidad del aire. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) son dos fuentes de referencia común para estos límites²². En el caso de la OMS, se consideran varios criterios clave, que incluyen: estudios epidemiológicos, toxicológicos y clínicos que evalúan los impactos sobre la salud a la exposición a $PM_{2.5}$. Consideran los efectos tanto a corto como a largo plazo, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de la función pulmonar y aumento de la mortalidad. Otros antecedentes que utiliza la OMS y otras agencias ambientales para definir valores de excedencia consideran:

- **Función exposición-respuesta:** se evalúa la relación entre las concentraciones de $MP_{2.5}$ y los efectos observados en la salud. Esto ayuda a determinar los niveles en los que es probable que se produzcan efectos adversos.
- **Escalas temporales:** Se pueden establecer valores de excedencia para diferentes periodos de tiempo, como promedios de 24 horas (exposición de corto plazo) y promedios anuales (exposición de largo plazo). Esto se debe a que los efectos sobre la salud pueden variar según la duración de la exposición.
- **Incertidumbre científica:** las instituciones incorporan márgenes de seguridad para dar cuenta de las incertidumbres en la evidencia científica, como limitaciones en los datos disponibles o lagunas en el conocimiento.
- **Factibilidad y practicidad:** al establecer valores de excedencia, las organizaciones pueden considerar la viabilidad de implementar y lograr estos estándares, teniendo en cuenta los avances tecnológicos, las consideraciones económicas y la efectividad de las medidas de control.
- **Revisión de los estándares existentes:** las organizaciones internacionales a menudo revisan y actualizan sus pautas en función de nueva evidencia científica o avances en la gestión de la calidad del aire.

A nivel internacional se observa que los niveles de excedencia se enfocan en los efectos agudos del $MP_{2.5}$, es decir por exposiciones que se relacionan a periodos cortos de tiempo. En el caso de la EPA de EE.UU., se han establecidos los índices AQI (Air Quality Index) mediante los cuales se puede evaluar la calidad del aire en general. Estos valores son utilizados para referenciar niveles que suponen riesgos en salud, especialmente en individuos que pertenecen a poblaciones sensibles, como por ejemplo recién nacidos, adultos mayores o personas con enfermedad respiratoria. De hecho, la EPA no tiene una definición formal de una persona sensible, sin embargo, se conoce por

²² Organizaciones Internacionales de renombre.

estudios científicos de que existe una variabilidad inter-individuos respecto a las distintas respuestas que pueda provocar la contaminación del aire. Por ejemplo, dos personas podrían responder de manera diferente al mismo nivel de contaminación; una persona con asma puede experimentar problemas respiratorios y ser susceptible a un ataque de asma, mientras que otro asmático expuesto al mismo nivel puede no reaccionar en lo absoluto²³.

Así los niveles de excedencia, o índices de calidad del aire, se originan como una forma de advertir a las personas altamente sensibles sobre la posibilidad de tener una reacción negativa producto de un empeoramiento en la calidad del aire. Esto se evidencia en el documento “Guidance for Inhalation Exposures to Particulate Matter” [9] año 2022, de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR), del Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, en la cual se utilizan los siguientes criterios para categorizar los distintos niveles de excedencias en concentración de MP:

- Definición de grupo sensible/altamente sensible
- Evidencias de efectos sobre la salud
- Categoría AQI y rangos de MP asociados

Se considera que las personas de menores recursos económicos tienen mayor incidencia en ser un grupo sensible de la población, debido a que tienen menor acceso a la atención médica y suelen vivir en áreas proclives a mayores niveles de MP, por ejemplo, en cercanía a grandes carreteras o industrias (Pratt et al. 2015).

Cabe recalcar que el AQI es una herramienta usada por la EPA para categorizar las amenazas en salud, respecto a la calidad del aire, en tiempo real y a nivel local. Por lo mismo solicita a cada ciudad con más de 350 mil habitantes que deben mantener una plataforma en internet para indicar la calidad del aire en tiempo real, basado en este sistema de clasificación.

También es importante señalar que ni la EPA ni la OMS han desarrollado estándares o directrices para exposiciones de MP que consideren una duración inferior a 24 horas. Sin embargo, la misma EPA señala que los estándares de 24 horas son comparables con duraciones tan cortas como de 1 hora (para términos de evaluar un potencial daño en la salud).

En general, se definen estos valores para poblaciones susceptibles, es decir, el grupo de población con mayor sensibilidad de, como niños, ancianos y personas con afecciones respiratorias o cardiovasculares preexistentes.

²³ https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-63760-9_16

Tabla 85: Niveles de excedencia para MP_{2.5} en EEUU

Categoría	Concentración de MP _{2.5} en 24 horas (µg/m ³)	Conclusión sobre exposición en este rango	Recomendación
Bueno	0 – 12	Ninguna	Ninguna
Moderado	12.1 – 35.4	<ul style="list-style-type: none"> • Síntomas respiratorios en individuos inusualmente sensibles • Exacerbación de enfermedad cardiorrespiratoria 	Personas inusualmente sensibles debe considerar reducir ejercicio fuerte o prolongado
No saludable para grupos sensibles	35.5 – 55.4	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de síntomas respiratorios en grupos sensibles • Exacerbación de síntomas o muerte por enfermedad cardiorrespiratoria preexistente 	Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, niños y personas de menor nivel socioeconómico deberían reducir el ejercicio intenso.
No saludable	55.5 – 150.4	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor probabilidad de síntomas respiratorios en grupos sensibles • Exacerbación de síntomas o muerte por síntomas preexistentes • Mayor probabilidad de efectos respiratorios en el público en general. 	Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, niños y personas de menor nivel socioeconómico deben evitar esfuerzo físico pesado; todos los demás deberían reducir el esfuerzo prolongado o pesado
Muy no saludable	150.5 – 250.4	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor probabilidad de síntomas respiratorios en grupos sensibles • Exacerbación significativa de los síntomas o muerte por enfermedad cardiopulmonar preexistente • Aumento significativo de los efectos respiratorios en la población general 	Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, niños y personas de menor nivel socioeconómico deben evitar todo tipo de actividad física al aire libre. Todos los demás deben evitar el esfuerzo prolongado o intenso.
Peligroso	250.5– 500.4	<ul style="list-style-type: none"> • Empeoramiento grave de los síntomas respiratorios en grupos sensibles • Exacerbación grave de los síntomas o muerte por síntomas preexistentes. • Riesgo grave de efectos respiratorios en la población general. 	Todos deben evitar toda actividad física. Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, niños y personas de menor nivel socioeconómico deben permanecer en el interior de los hogares y mantener bajos los niveles de actividad física

8 ANEXO VIII: Propuesta de nuevos escenarios normativos para el período anual y diario.

En la selección de los escenarios normativos se considerará la revisión de los antecedentes internacionales más importantes regulatorios. En las bases técnicas se referencia las guías de la OMS (los valores guías junto con los valores intermedios) y los valores respectivos de las normas de la UE, EEUU.

Para establecer la presente propuesta de escenarios normativos se han considerado los siguientes criterios:

- Principio de no regresión, es decir, no se pueden establecer niveles menos exigentes que los actuales.
- Nivel de avance en la implementación de las actuales medidas de los Planes de descontaminación.
- Nivel de cumplimiento actual de la norma a nivel nacional.
- Población expuesta a valores sobre los límites predefinidos.
- Guías de la OMS publicadas el año 2022.
- Costos de cumplimiento para cada uno de los escenarios propuestos.
- Factibilidad técnica.
- Normativa utilizada en países con economías equivalentes.
- Para la definición de los niveles que generan episodios de contaminación atmosférica, se revisarán los valores establecidos en las respectivas normas internacionales (UE, EEUU, México, etc). Se realizarán estimaciones de cuanto aumentarían los días episodios (en tiempo y espacialmente) para cada escenario normativo considerando el último año de datos proporcionado por la contraparte técnica del estudio.

8.1 Principales Referencias

8.1.1 Valores Guía de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local (OMS, Guía 2005 y Guía 2021). El MP_{2,5} se regula con una norma diaria (24 horas) para prevenir impactos agudos y con una norma anual, orientada a prevenir impactos crónicos en la salud. La OMS establece valores guía de concentración ambiental para ambos periodos y objetivos intermedios para que los gobiernos gradualmente puedan ir ajustándose a esas metas.

La norma vigente en Chile se encuentra entre los objetivos intermedios (OI-2) y (OI-3) (Estos es: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en su norma anual. En cuanto a la norma de 24 horas, Chile se ubica exactamente en el objetivo intermedio 2 (OI-2). Se destaca que la actualización de la Guía OMS si bien propone valores finales más bajos para el valor anual y diario, mantiene sin cambios las metas intermedias.

Tabla 86: Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire y metas intermedias (Guías OMS 2005-2021)

Contaminante	Tiempo Promedio	Meta intermedia				Nivel propuesto
		1	2	3	4	
MP _{2,5} Guía 2005	Anual	35	25	15	10	10
	24 horas ^a	75	50	37,5	25	25
MP _{2,5} Guía 2021	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas ^a	75	50	37,5	25	15

a: Percentil 99

8.1.2 Norma USA EPA

La EPA ha establecido Estándares Nacionales de calidad del aire ambientales (basadas en la salud) y secundarios (basados en el bienestar) para PM_{2.5}. Este incluye dos estándares primarios de MP_{2.5}, un estándar promedio anual con un nivel de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un estándar de 24 horas con una forma de percentil 98 y un nivel de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para los estándares primarios de MP_{2.5}, el administrador – EPA, concluye que hay incertidumbres importantes en la evidencia de efectos adversos para la salud por debajo de los estándares actuales y en el potencial daño para la salud pública. La adición mejoras al reducir las concentraciones ambientales de MP_{2.5} por debajo de los estándares, basado las pruebas disponibles, la EPA concluyó que la norma primaria actual de MP_{2.5} son un requisito para proteger salud pública, con un margen adecuado de seguridad, de los efectos de MP_{2.5} en aire ambiente y debe ser mantenido, sin revisión. Por lo tanto, la EPA mantuvo esos estándares anuales y de 24 horas sin revisión. (Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, 18 de diciembre de 2020)

El **6 de enero de 2023**, después de revisar cuidadosamente la evidencia científica y la información técnica disponibles más recientes, y consultar con los asesores científicos independientes de la Agencia, la EPA anunció su decisión de revisar el estándar primario anual de MP_{2.5} (basado en la salud) de su actual nivel de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dentro del rango de 9,0 a 10,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la EPA propuso revisiones a otros aspectos clave relacionados con MP NAAQS, incluidas revisiones al Índice de calidad del aire (AQI) y requisitos de monitoreo.

Tabla 87: Estándar vigente de MP_{2,5} y revisión en curso EEUU - EPA

Contaminante	Tiempo Promedio	Valores $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP _{2,5} Revisión Anterior (concluida en diciembre 2020)	Anual	12
	24 horas ^a	35
MP _{2,5} Revisión en curso (Iniciada en enero 2023)	Anual	9-10
	24 horas ^a	35

8.1.3 Unión Europea (UE)

La UE con respecto a las normas de MP_{2,5}, la revisión se realizará con vistas a establecer obligaciones nacionales jurídicamente vinculantes de reducción de la exposición, para sustituir el objetivo nacional de reducción de la exposición y para revisar la obligación en materia de concentración de la exposición, que establece el artículo 15, teniendo en cuenta, entre otras cosas, los siguientes elementos:

- La información científica más reciente de la OMS y demás organizaciones pertinentes, las distintas situaciones de la calidad del aire y los potenciales de reducción en los Estados miembros
- La revisión de la Directiva 2001/81/CE sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.

La UE no tiene norma de MP_{2,5} para 24 horas, solo tiene una norma anual de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la protección de la salud humana, sin embargo, en el proceso de revisión actual se está evaluando incorporar una norma de 24 horas, además de reducir la norma anual.

Tabla 88 Estándar vigente de MP_{2,5} y revisión en curso UE

Contaminante	Tiempo Promedio	Valores $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP _{2,5} Norma Vigente	Anual	25
		Desde el año 2020 bajó a 20
	24 horas ^a	No tiene
MP _{2,5} Revisión en curso	Anual	10
	24 horas ^a	25

8.2 Escenarios Propuestos

Basados en las referencias destacadas y en los niveles actuales de MP_{2,5} en nuestro país, hemos elaborado una propuesta de escenarios que permitirá generar las curvas concentración vs costos o concentración versus beneficios y la relación B/C (beneficios/costos):

- **El primer escenario** corresponde a la evaluación de los esfuerzos necesarios para alcanzar el cumplimiento de la **norma vigente**. No se puede perder de vista que la norma actual no se cumple en las principales ciudades desde la Región Metropolitana al sur. Por lo anterior, es importante que el primer escenario permita dimensionar los costos/beneficios de cumplir con la norma que está vigente desde 2012. Como se observa en la Figura 74 (norma anual) y en la Figura 75 (norma diaria) se observa con claridad que las concentraciones actuales aun superan ampliamente la norma vigente, por lo cual es relevante evaluar como primer escenario alcanzar el cumplimiento.
- **El segundo escenario** corresponde a **la meta intermedia 3 que recomienda la OMS**. Actualmente la norma vigente en Chile es más exigente que la meta intermedia 2, por lo cual avanzar hacia la meta 3 es un esfuerzo significativo en ambos parámetros (diario y anual).
- **El tercer escenario** corresponde a la **norma vigente en Estados Unidos**, revisada el 2020 sin modificaciones. Representa una reducción significativa de los parámetros diario y anual.
- **El cuarto y último escenario** representa una reducción del 50% de los valores actuales de la norma (diario y anual). Corresponde a la **meta 4 propuesta por la guía OMS** publicada el 2021. También corresponde a la propuesta que está evaluando la Unión Europea, norma en revisión que actualmente no cuenta con parámetros diario y que el límite anual es más laxo que el de Chile.

Tabla 89: Resumen de los escenarios propuestos para evaluar

Escenarios	Valores ug/m ³		Observación
	Anual	24 horas	
1	20	50	<ul style="list-style-type: none"> Alcanzar el cumplimiento de la norma vigente. (Chile) Este escenario no significa que el equipo consultor recomiende no modificar la norma vigente, sino mas bien evaluar los costos/beneficios de cumplir con ella, dado que actualmente la mayor parte de las ciudades supera ampliamente estos niveles.
2	15	37,5	<ul style="list-style-type: none"> Meta intermedia 3 de la última guía de la OMS (OMS 3)
3	12	35	<ul style="list-style-type: none"> Norma vigente en Estados Unidos. (EPA)
4	10	25	<ul style="list-style-type: none"> Meta intermedia 4 de la última guía de la OMS (OMS 4) Valores propuestos en la revisión de la norma de la Unión Europea.

El gráfico siguiente compara los escenarios para los valores de norma diario y anual, incorporando los porcentajes de reducción respecto de la norma vigente en Chile para MP_{2,5}.

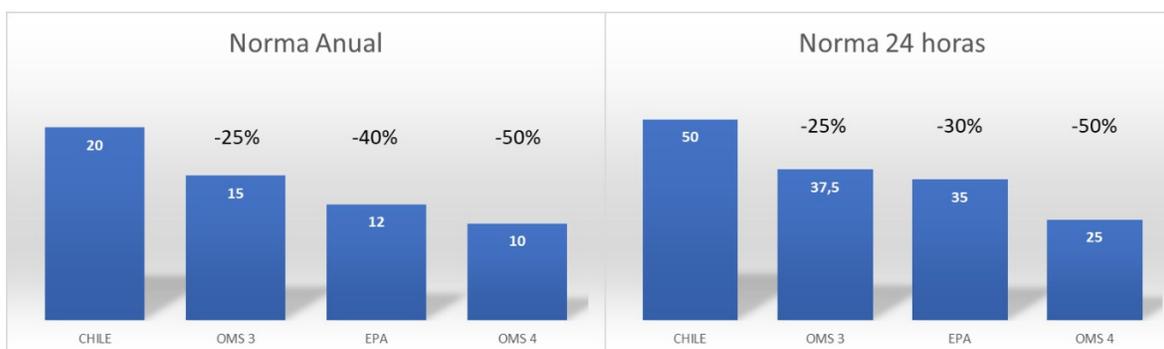


Figura 73: Reducción de niveles diario y anual respecto de la norma vigente

8.2.1 Escenarios de norma propuestos comparados con los actuales niveles de MP_{2,5}

La norma primaria vigente para $MP_{2,5}$ entró en vigencia el 1 de enero del año 2012. A la fecha, después de poco más de una década de implementación se observan avances importantes en el monitoreo de este contaminante, en la dictación de normas de emisión orientadas a reducir emisiones directas de MP y de los gases precursores, y en la dictación de zonas saturadas con sus respectivos planes de descontaminación.

En términos de los resultados a la fecha, el análisis de tendencias presentado en el informe 1 del presente estudio permite aseverar que todas las ciudades con planes de descontaminación muestran avances en reducción de los niveles de $MP_{2,5}$ (diario y anual) que son atribuibles a las medidas implementadas. No obstante, los avances, los niveles diario y anual siguen superando ampliamente los estándares vigentes para este contaminante.

Para dimensionar los esfuerzos necesarios para cumplir la norma vigente y los escenarios de norma propuestos, se presentan en la tabla siguiente las ciudades ordenadas de norte a sur, la población, los niveles diarios (P98) y anual (promedio trianual) para el año 2021, de forma tal de establecer cómo se comparan dichos niveles respecto de los escenarios normativos (Norma Vigente en Chile, OMS 3, EPA y OMS 4). Para simplificar el análisis se realiza la comparación en porcentaje, dado que nuestra normativa establece que la saturación corresponde a valores $>100\%$ y la latencia, a valores $80\% < x < 100\%$. Se destacan en naranja, aquellas ciudades en estado de latencia para la norma respectiva y en rojo, las que se encontrarían en saturación.

Se observa con claridad que la norma vigente se encuentra actualmente superada en las ciudades desde Valparaíso hasta Aysén. Los niveles de saturación aumentan en la medida en que se contrastan los niveles actuales con diferentes escenarios normativos.

Para efectos del análisis tomaremos en consideración en dos zonas relevantes. La Región Metropolitana, por ser la más poblada y la ciudad de Coyhaique, por ser aquella que presenta los niveles más elevados:

Región Metropolitana:

- Respecto de la norma vigente: diaria 214% y anual 150%
- Respecto de la norma OMS 3: diaria 285% y anual 200%
- Respecto de la norma EPA: diaria 306% y anual 250%
- Respecto de la norma OMS 4: diaria 428% y anual 300%

Coyhaique:

- Respecto de la norma vigente: diaria 501% y anual 185%
- Respecto de la norma OMS 3: diaria 675% y anual 247%
- Respecto de la norma EPA: diaria 723% y anual 308%
- Respecto de la norma OMS 4: diaria 1.012% y anual 370%

Tabla 90: Porcentaje de las concentraciones diaria y anual año 2021 en relación con los escenarios de norma propuestos

e Region	Nombre Provincia	Poblacion 2021	N° de estaciones	N° de estacione según UE	Norma Anual 2021-2019	Norma Diaria 2021	Chile Anual (20)	Chile Diaria (50)	OMS 3 Anual (15)	OMS 3 Diaria (37,5)	EPA Anual (12)	EPA Diaria (35)	OMS 4 Anual (10)	OMS 4 Diario (25)
Arica y Parinacota	Arica	252.034	1	2	11	19	57%	37%	76%	50%	96%	53%	115%	74%
Tarapacá	Iquique	361.212	1	2	11	21	56%	41%	74%	55%	93%	59%	111%	83%
Antofagasta	Antofagasta	464.458	2	2	11	24	53%	47%	71%	63%	89%	68%	106%	95%
Antofagasta	El Loa	204.301	4	1	10	26	50%	52%	66%	69%	83%	74%	99%	103%
Antofagasta	Tocopilla	34.987	2	1	14	31	72%	62%	96%	83%	120%	88%	144%	124%
Atacama	Copiapó	207.239	1	1	12	26	60%	51%	80%	69%	100%	73%	119%	103%
Atacama	Huasco	82.091	4	1	15	29	76%	58%	101%	77%	126%	83%	151%	116%
Coquimbo	Elqui	567.232	2	2	12	31	59%	62%	79%	82%	99%	88%	118%	124%
Coquimbo	Choapa	95.474	1	1	s.i.	11	s.i.	22%	s.i.	29%	s.i.	31%	s.i.	43%
Valparaíso	Valparaíso	816.244	10	2	16	55	81%	111%	108%	148%	135%	158%	162%	222%
Valparaíso	Quillota	221.082	1	2	s.i.	52	s.i.	105%	s.i.	139%	s.i.	149%	s.i.	209%
Metropolitana de Santiago	Santiago	6.075.403	8	15	29	107	144%	213%	193%	284%	241%	305%	289%	427%
Metropolitana de Santiago	Cordillera	705.084	1	3	22	60	109%	120%	145%	160%	182%	172%	218%	241%
Metropolitana de Santiago	Talagante	343.209	1	3	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	712.411	3	3	26	103	129%	205%	172%	273%	215%	293%	258%	410%
Libertador General Bernardo O'Higgins	Colchagua	239.520	1	2	21	82	106%	164%	141%	218%	177%	234%	212%	327%
Maule	Talca	454.238	3	3	27	124	133%	249%	178%	331%	222%	355%	267%	497%
Maule	Curicó	316.202	1	3	24	93	121%	186%	162%	248%	202%	265%	243%	372%
Maule	Linares	310.813	1	3	28	138	140%	276%	186%	368%	233%	394%	279%	551%
Ñuble	Diguillín	344.251	2	3	29	144	145%	289%	194%	385%	242%	413%	291%	578%
Biobío	Concepción	1.068.338	12	6	26	105	128%	211%	170%	281%	213%	301%	256%	422%
Biobío	Arauco	176.990	1	2	20	79	100%	158%	134%	210%	167%	225%	201%	315%
Biobío	Biobío	425.262	3	3	28	179	139%	358%	185%	477%	232%	511%	278%	716%
La Araucanía	Cautín	803.872	3	4	37	161	184%	322%	245%	429%	307%	460%	368%	643%
Los Ríos	Valdivia	309.728	2	3	28	114	142%	228%	189%	304%	237%	326%	284%	456%
Los Ríos	Ranco	98.090	1	2	25	111	125%	223%	167%	297%	209%	318%	250%	446%
Los Lagos	Llanquihue	447.281	3	3	27	152	134%	303%	179%	404%	224%	433%	269%	606%
Los Lagos	Osorno	248.663	1	2	34	180	171%	360%	228%	480%	285%	514%	342%	720%
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Coyhaique	62.415	2	2	39	253	197%	506%	263%	674%	329%	723%	394%	1012%
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Aysén	32.534	1	2	23	68	116%	135%	155%	180%	194%	193%	233%	270%
Magallanes y de la Antártica Chilena	Magallanes	144.350	1	1	5	9	23%	18%	30%	24%	38%	26%	45%	36%

Escenarios de Norma Anual (ver Figura 74)

Desde la Región Metropolitana hasta Aysén, todas las Provincias registran niveles que al 2021 todavía superan ampliamente el límite anual vigente para $MP_{2,5}$. Por eso es importante contemplar el escenario de cumplimiento de la norma anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ porque significa un esfuerzo de control significativo.

Al incorporar límites anuales menores, se incorporan a la superación del estándar algunas provincias de la región de Valparaíso y Coquimbo. Con límites como EPA y OMS 4, salvo un par de excepciones, todas las provincias entrarían en estado de saturación por norma anual.

Escenarios de Norma Diaria (ver Figura 75)

El desafío de alcanzar el cumplimiento pleno de la norma diaria vigente es aún mayor que lo que se observa respecto de la norma anual. En la gráfica se observan varias provincias donde los niveles diarios triplican el límite vigente (Biobío, Cautín, Osorno y Coyhaique). Desde la región de Valparaíso hasta Aysén se observan niveles de latencia o superación de la norma diaria vigente.

Al incorporar estándares más exigentes como OMS 3 y EPA, sólo las provincias de la zona norte de nuestro país alcanzarían niveles de cumplimiento. La norma OMS 4 dejaría prácticamente a todas las provincias de nuestro país que cuentan con monitoreo en incumplimiento.

La tabla siguiente entrega un resumen de todos los escenarios propuestos, evaluados en términos del porcentaje que las concentraciones actuales representan respecto de la norma. En naranja se destacan las zonas latentes y en rojo los valores que se asocian con saturación.

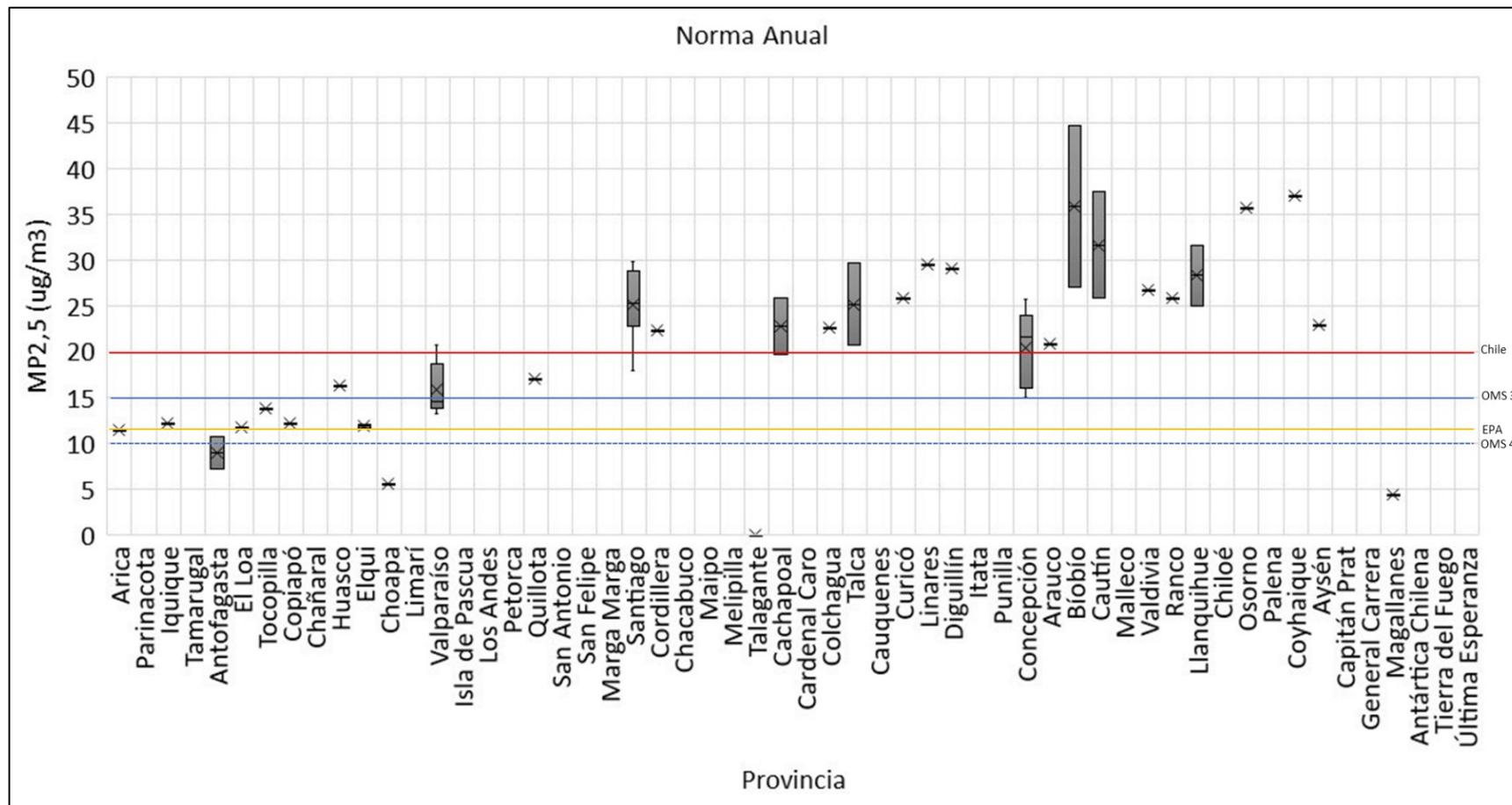


Figura 74: Comparación de los niveles anuales de MP_{2,5} en provincias de Chile con escenarios propuestos

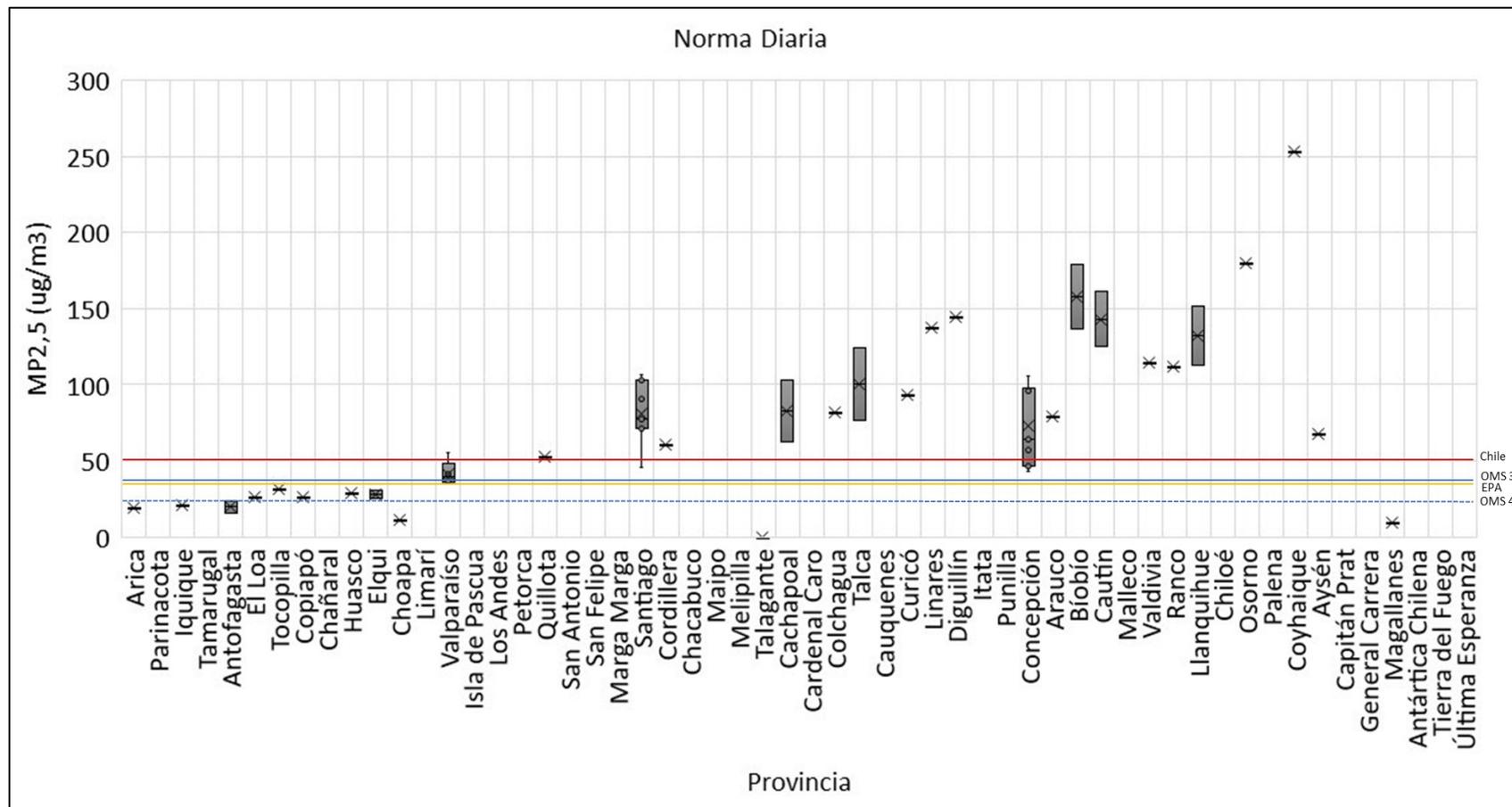


Figura 75: Comparación de los niveles Diarios de MP_{2,5} en provincias de Chile con escenarios propuestos

9 ANEXO IX: Medidas de control de emisiones

A continuación, se lista medidas de control consideradas en el presente estudio como base para la selección de las mismas.

Medidas de Control	Grupo	Sector
Add-On Controls	Wood Furniture Surface Coating	Otra
Add-on control-work practices-material-reformulation-substitution	Lithographic Printing & Letterpress Printing	Fuentes Industriales
Add-on control-work practices-material-reformulation-substitution	Flexible Package Printing	Industriales
Add-on Scrubber at 10% RP	Commercial Cooking	Otra
Add-on Scrubber at 25% RP	Commercial Cooking	Fuentes Otra
Adjust Air to Fuel Ratio	Internal Combustion Engines - Gas	Industriales
Adjust Air to Fuel Ratio and Ignition Retard	Internal Combustion Engines - Gas	Industriales
Agricultura orgánica	Agropecuario	Agropecuario
Air to Fuel Ratio Controller	Lean Burn ICE - NG	O
Aislación térmica	Comercial, Publico y Residencial	Industriales
Annual tune-up at 10% RP	Small Boilers	Energía
Annual tune-up at 25% RP	Small Boilers	Otra
Apply Gravel at 10% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Apply Gravel at 25% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Apply Water at 10% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Apply Water at 25% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
BARCT	Automobile Refinishing	Fuentes Otra
Biennial tune-up at 10% RP	Small Boilers	Fuentes Otra
Biennial tune-up at 25% RP	Small Boilers	Fuentes Otra
Biodigestores	Agropecuario	Agropecuario
Calefacción distrital	Comercial, Publico y Residencial	O
Calefacción eléctrica residencial	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Calificación energética viviendas existentes	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Cambio modal transporte	Transporte	Energía
Captura biogás	Residuos	Residuos
Carbon Adsorber	Generic NonEGU	Industriales
Catalyst Additive	Petroleum Refinery Catalytic and Thermal Cracking Units	Industriales
Catalytic Ceramic Filter	Glass Manufacturing - Flat	Industriales
Catalytic Combustion	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Catalytic Oxidizer	Generic NonEGU	Industriales
Catalytic oxidizers at 10% RP	Commercial Cooking	Otra
Catalytic oxidizers at 25% RP	Commercial Cooking	Fuentes Otra
		Fuentes

Medidas de Control	Grupo	Sector
Chemical Additives to Waste	Residential Nonpoint Source	Otra
Chemical Additives to Waste	Poultry Operations	Fuentes Agropecuario
Chemical Additives to Waste	Cattle Feedlots	Otro
Chemical Additives to Waste	Hog Operations	Agropecuario
Chemical Stabilizer at 10% RP	Unpaved Roads	Otra
Chemical Stabilizer at 10% RP	Construction Activities	Fuentes Otra
Chemical Stabilizer at 25% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Chemical Stabilizer at 25% RP	Construction Activities	Fuentes Otra
Coating Reformulation	Miscellaneous Metal and Plastic Parts Coatings	Industriales
Compostaje domiciliario	Residuos	Residuos
Compostaje en ferias	Residuos	Residuos
Compostaje en planta	Residuos	Residuos
Control Technology Guidelines	Wood Furniture Surface Coating	Otra
Convert to Gas Logs at 25% RP	Fireplaces	Fuentes Otra
Convert to Gas Logs at 10% RP	Fireplaces	Fuentes Otra
Cullet Preheat	Glass Manufacturing - Container or Pressed	Industriales
Curtailment Program, aka Burn Ban at 10% RP	Fireplaces, Hydronic Heaters, Wood Stoves	Otra
Curtailment Program, aka Burn Ban at 25% RP	Fireplaces, Hydronic Heaters, Wood Stoves	Fuentes Otra
Dry Low NOx Combustion	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Dry Scrubber	ICI Boilers - Coal	Industriales
Dry Scrubber	ICI Boilers - Oil	Industriales
Dry Scrubber	ICI Boilers - Gas	Industriales
Dust Control Plan at 10% RP	Construction Activities	Otra
Dust Control Plan at 25% RP	Construction Activities	Fuentes Otra
Dust Suppressants at 10% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Dust Suppressants at 25% RP	Unpaved Roads	Fuentes Otra
Eficiencia energética en calderas	Industria y minería	Energía
Electric Boost	Glass Manufacturing - General	Industriales
Electrificación motriz - comercial	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Electrificación motriz - industria	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Electrificación motriz - minería cobre	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Electrificación motriz - resto minería	Industria y minería	Energía
Electrificación térmica	Industria y minería	Energía
Electromovilidad - particular liviano 58%	Transporte	Energía
Electromovilidad - particular mediano 58%	Transporte	Energía
Electromovilidad - taxis	Transporte	Energía
Electromovilidad - transporte público	Transporte	Energía
Electrostatic Precipitator at 10% RP	Commercial Cooking	Otra
Electrostatic Precipitator at 25% RP	Commercial Cooking	Fuentes Otra
Electrostatic Precipitator-All Types	ICI Boilers and Heaters - Gas and Oil	Fuentes Industriales
Electrostatic Precipitator-All Types	ICI Boilers and Heaters - Wood	Industriales
Electrostatic Precipitator-All Types	ICI Boilers and Heaters - Solid Fuels	Industriales

Medidas de Control	Grupo	Sector
Electrostatic Precipitator-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 10.0 microns	Industriales
Electrostatic Precipitator-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 1.0 microns	Industriales
Electrostatic Precipitator-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 5.0 microns	Industriales
Emergent Control	Hog Operations	Agropecuaria
Emergent Control	Dairy Operations	Agropecuaria
EMx	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
EMx and Dry Low NOx Combustion	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
EMx and Water Injection	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Energy audit at 10% RP	Small Boilers	Otra
Energy audit at 25% RP	Small Boilers	Fuentes
EPA Phase 2 Qualified Units at 10% RP	Fireplaces	Otra
EPA Phase 2 Qualified Units at 25% RP	Fireplaces	Fuentes
EPA-certified wood stove at 10% RP	Wood Stoves	Otra
EPA-certified wood stove at 25% RP	Wood Stoves	Fuentes
Estándar térmico viviendas nuevas	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Excess O3 Control	Petroleum Refinery Gas-Fired Process Heaters	Industriales
Extended Absorption	Nitric Acid Manufacturing	Industriales
Extended Absorption	Adipic Acid Manufacturing	Industriales
Fabric Filter (Pulse Jet Type)	Utility Boilers - Coal	Energía
Fabric Filter-All Types	ICI Boilers and Heaters - Gas and Oil	Industriales
Fabric Filter-All Types	ICI Boilers and Heaters - Wood	Industriales
Fabric Filter-All Types	ICI Boilers and Heaters - Solid Fuels	Industriales
Fabric Filter-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 10.0 microns	Industriales
Fabric Filter-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 1.0 microns	Industriales
Fabric Filter-All Types	Generic Industrial Processes - MMD of 5.0 microns	Industriales
Flare	Petroleum Flare	Industriales
Flue Gas Desulfurization	By-Product Coke Manufacturing (Other Processes)	Industriales
Flue Gas Desulfurization	Pulp and Paper Industry (Sulfate Pulping)	Industriales
Flue Gas Desulfurization	Process Heaters (Oil and Gas Production Industry)	Industriales
Flue Gas Desulfurization	In-process Fuel Use - Bituminous/Subbituminous Coal	Industriales
Flue Gas Desulfurization	Steam Generating Unit-Coal/Oil	Industriales
Flue Gas Desulfurization	Mineral Products Industry	Industriales
Flue Gas Desulfurization	Petroleum Industry	Industriales
Flue Gas Recirculation	ICI Boilers - Oil	Industriales
Flue Gas Recirculation	ICI Boilers - Gas	Industriales
Fuel Switching	Stationary Source Fuel Combustion	Otra
Gas Recovery	Municipal Solid Waste Landfill	Fuentes
Generación Distribuida	Comercial, Publico y Residencial	Otra
Geotermia	Comercial, Publico y Residencial	Fuentes
Gravel bed trackout at 10% RP	Paved Roads	Energía
Gravel bed trackout at 25% RP	Paved Roads	Otra
HEPA filters at 10% RP	Commercial Cooking	Fuentes
HEPA filters at 25% RP	Commercial Cooking	Otra
Hidrógeno Verde - Carga	Industria y minería	Fuentes
Hidrógeno Verde - Gasoductos	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Hidrógeno Verde - Motriz	Industria y minería	Energía
Ignition Retard	Reciprocating IC Engines - Oil	Industriales

Medidas de Control	Grupo	Sector
Ignition Retard	Internal Combustion Engines - Oil	Industriales
Ignition Retard	IC Engines - Gas/ Diesel/ LPG	Industriales
Ignition Retard	Internal Combustion Engines - Gas	Industriales
Implement maintenance plan at 10% RP	Cooling Towers	Otra
		Fuentes
Implement maintenance plan at 25% RP	Cooling Towers	Otra
		Fuentes
Incineration	Metal Coil Coating	Otra
		Fuentes
Incineration	Bakery Products	Otra
		Fuentes
Incineration	Wood Product Surface Coating	Otra
		Fuentes
Incineration	Marine Surface Coating	Otra
		Fuentes
Incineration	Metal Can Coating	Otra
		Fuentes
Increase Fuel Moisture	Prescribed Burning	Quema
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Sub-bituminous Coal)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Gaseous Fuels)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (All Other Liquid Fuels)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (All Other Solid Fuels)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Residual Oil)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Bituminous Coal)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Wet Biomass)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Distillate Oil)	Industriales
Increased Caustic Injection Rate for Existing Dry Injection Control	ICI Boilers (Dry Biomass)	Industriales
Inhibidores N2 fertilizantes	Agropecuario	Agropecuaria
Install Cleaner Hydronic Heaters at 10% RP	Hydronic Heaters	Otra
		Fuentes
Install Cleaner Hydronic Heaters at 25% RP	Hydronic Heaters	Otra
		Fuentes
Install new drift eliminator at 10% RP	Cooling Towers	Otra
		Fuentes
Install new drift eliminator at 25% RP	Cooling Towers	Otra
		Fuentes
Install Retrofit Devices at 10% RP	Hydronic Heaters	Otra
		Fuentes
Install Retrofit Devices at 10% RP	Fireplaces	Otra
		Fuentes
Install Retrofit Devices at 25% RP	Hydronic Heaters	Otra
		Fuentes
Install Retrofit Devices at 25% RP	Fireplaces	Otra
		Fuentes
Layered Combustion	Lean Burn ICE - NG	Industriales
Leña seca	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Ley de Eficiencia Energética SGE 2,5%	Industria y minería	Energía
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (50 to 99 MW)	Energía
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (Over 700 MW)	Energía

Medidas de Control	Grupo	Sector
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (500 to 699 MW)	Energía
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (25 to 49 MW)	Energía
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (100 to 299 MW)	Energía
Lime Spray Dryer	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (300 to 499 MW)	Energía
Limestone Forced Oxidation	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (500 to 699 MW)	Energía
Limestone Forced Oxidation	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (100 to 299 MW)	Energía
Limestone Forced Oxidation	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (Over 700 MW)	Energía
Limestone Forced Oxidation	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (25 to 99 MW)	Energía
Limestone Forced Oxidation	Utility Boilers - Bituminous/Subbituminous Coal (300 to 499 MW)	Energía
Low Emission Combustion	Lean Burn ICE - NG	Industriales
Low Emission Combustion	Lean Burn IC Engine - Gas	Industriales
Low Excess Air	Iron & Steel Mills - Reheating	Industriales
Low NOx Burner	Fuel Fired Equip; Furnaces; Natural Gas	Industriales
Low NOx Burner	Asphaltic Conc; Rotary Dryer; Conv Plant	Industriales
Low NOx Burner	Steel Foundries; Heat Treating Furn	Industriales
Low NOx Burner	Lime Kilns	Industriales
Low NOx Burner	Cement Manufacturing - Wet or Dry	Industriales
Low NOx Burner	In-Process Fuel Use; Natural Gas; Gen	Industriales
Low NOx Burner	Ceramic Clay Mfg; Drying	Industriales
Low NOx Burner	Iron & Steel Mills - Galvanizing	Industriales
Low NOx Burner	Coal Cleaning-Thermal Dryer; Fluidized Bed	Industriales
Low NOx Burner	Space Heaters - Distillate Oil	Industriales
Low NOx Burner	Conv Coating of Prod; Acid Cleaning Bath	Industriales
Low NOx Burner	Utility Boiler - Coal/Wall	Energía
Low NOx Burner	Fbrglass Mfg; Txtle-Type Fbr; Recup Furn	Industriales
Low NOx Burner	In-Process Fuel Use; Residual Oil; Gen	Industriales
Low NOx Burner	In-Process; Process Gas; Coke Oven Gas	Industriales
Low NOx Burner	Iron&Steel - In-Pr. Combustion-Natural Gas or Coke Oven Pr. Gas	Industriales
Low NOx Burner	Iron & Steel Mills - Annealing	Industriales
Low NOx Burner	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Low NOx Burner	Iron & Steel Mills - Reheating	Industriales
Low NOx Burner	Glass Manufacturing - Container	Industriales
Low NOx Burner	Sec Alum Prod; Smelting Furn/Reverb	Industriales
Low NOx Burner	Glass Manufacturing - Flat	Industriales
Low NOx Burner	Space Heaters - Natural Gas	Industriales
Low NOx Burner	Glass Manufacturing - Pressed	Industriales
Low NOx Burner	Surf Coat Oper-Coating Oven Htr-Nat Gas	Industriales
Low NOx Burner	ICI Boilers - Coal/Wall	Industriales
Low NOx Burner	Ammonia - Oil-Fired Reformers	Industriales
Low NOx Burner	ICI Boilers - Oil	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Space Heaters - Distillate Oil	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Iron and Steel Production; Blast Heating or Reheating	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Iron & Steel Mills - Galvanizing	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Ammonia - Oil-Fired Reformers	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Pri Cop Smel; Reverb Smelt Furn	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Ammonia Prod; Feedstock Desulfurization	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Starch Mfg; Combined Operations	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Fluid Cat Cracking Units; Cracking Unit	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Iron and Steel Production - Annealing or Soaking Pits	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Fuel Fired Equip; Process Htrs; Pro Gas	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Plastics Prod-Specific; (ABS) Resin	Industriales

Medidas de Control	Grupo	Sector
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	ICI Boilers - Gas	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Sand/Gravel; Dryer	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	ICI Boilers - Oil	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Space Heaters - Natural Gas	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	In-Proc; Process Gas; Coke Oven/Blast Furn	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Ammonia - NG-Fired Reformers	Industriales
Low NOx Burner and Flue Gas Recirculation	Iron & Steel-In-Pr. Combustion-Pr. Gas-Coke Oven Blast Furnace	Industriales
Low NOx Burner and Over Fire Air	Utility Boiler - Coal/Wall	Energía
Low NOx Burner and Selective Catalytic Reduction	Iron & Steel Mills - Annealing	Industriales
Low NOx Burner and Selective Noncatalytic Reduction	Iron & Steel Mills - Annealing	Industriales
Low NOx Burner and Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Oil	Industriales
Low NOx Burner and Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Gas	Industriales
Low NOx Coal-Air Nozzles Cross-Coupled-Separated Overfire Air	Utility Boiler - Coal/Tangential	Energía
Low NOx Coal-and-Air Nozzles with cross-Coupled Overfire Air	Utility Boiler - Coal/Tangential	Energía
Low NOx Coal-and-Air Nozzles with separated Overfire Air	Utility Boiler - Coal/Tangential	Energía
Low Sulfur Fuel	Residential Heating	Otra
		Fuentes
Low VOC Adhesives and Improved Application Methods	Miscellaneous Industrial Adhesives	Industriales
Low-VOC coating materials	Metal Furniture Coatings	Industriales
Low-VOC coating materials	Large Appliance Surface Coating	Industriales
Low-VOC coating materials and/or add-on controls	Paper Film and Foil Coatings	Industriales
Low-VOC materials coatings	Flat Wood Paneling Coatings	Industriales
Low-VOC materials coatings and Add-On Controls	Flat Wood Paneling Coatings	Industriales
LPV Relief Valve	Stage II Service Stations - Underground Tanks	Otra
		Fuentes
LPV Relief Valve	Stage II Service Stations	Otra
		Fuentes
MACT	Motor Vehicle Coating	Otra
		Fuentes
MACT	Machn, Electric, Railroad Ctng	Otra
		Fuentes
MACT	Cold Cleaning	Otra
		Fuentes
MACT	Dry Cleaning - Perchloroethyl	Otra
		Fuentes
Mejora alimentación bovinos	Agropecuario	Agropecuaria
MEPS Motores hasta 100HP	Industria y minería	Energía
MEPS nuevos	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Mid-Kiln Firing	Cement Manufacturing - Wet or Dry	Industriales
Natural Gas Reburn	External Combustion Boilers, Elec Gen, Nat Gas (1)	Industriales
Natural Gas Reburn	External Combustion Boilers, Elec Gen, Nat Gas (3)	Industriales
Natural Gas Reburn	External Combustion Boilers, Elec Gen, Nat Gas (2)	Industriales
New gas stove or gas logs at 10% RP	Wood Stoves	Otra
		Fuentes
New gas stove or gas logs at 25% RP	Wood Stoves	Otra
		Fuentes
Non-Selective Catalytic Reduction	Industrial NG ICE, 4cycle (rich)	Industriales
Non-Selective Catalytic Reduction	Nitric Acid Manufacturing	Industriales
Non-Selective Catalytic Reduction	Industrial NG ICE, 4cycle (rich)_SCCs w technology not specified	Industriales
Non-Selective Catalytic Red.-Adjust Air Fuel Ratio-Ignition Retard	Industrial NG ICE, SCCs with technology not specified	Industriales
Non-Selective Catalytic Reduction or Layered Combustion	Industrial NG ICE, SCCs with technology not specified	Industriales
Non-Selective Catalytic Reduction or Low Emission Combustion	Industrial NG ICE, SCCs with technology not specified	Industriales
Norma cocina	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Norma maquinaria construcción	Construcción actividades	Industriales
Oxygen Enriched Air Staging	Glass Manufacturing - Pressed	Industriales

Medidas de Control	Grupo	Sector
Oxygen Enriched Air Staging	Glass Manufacturing - General	Industriales
Oxygen Enriched Air Staging	Glass Manufacturing - Container	Industriales
Oxygen Enriched Air Staging	Glass Manufacturing - Flat	Industriales
Pave existing shoulders at 10% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Pave existing shoulders at 25% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Pave interior roads at 10% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Pave interior roads at 25% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Pave Unpaved Roads at 10% RP	Unpaved Roads	Otra
		Fuentes
Pave Unpaved Roads at 25% RP	Unpaved Roads	Otra
		Fuentes
Permanent Total Enclosure (PTE)	Fabric Printing/ Coating and Dyeing	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Product and Package Rotogravure Printing	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Paper and Other Web Coating	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Flexographic Printing	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Publication Rotogravure Printing	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Metal Can Surface Coating	Industriales
Permanent Total Enclosure (PTE)	Metal Furniture Surface Coating	Industriales
Petroleum and Solvent Evaporation	Surface Coating Operations	Industriales
Pipe grid trackout at 10% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Pipe grid trackout at 25% RP	Paved Roads	Otra
		Fuentes
Process Modification	Cold Cleaning	Otra
		Fuentes
Process Modification	Petroleum Refinery Fugitives	Otra
		Fuentes
Process Modification	Open Top Degreasing	Otra
		Fuentes
Process Modification	Metal Can Coating	Otra
		Fuentes
Process Modification	SOCMI Fugitives	Otra
		Fuentes
Process Modification	Metal Coil Coating	Otra
		Fuentes
Process Modification	Oil and Natural Gas Production	Otra
		Fuentes
Prohibición Gradual calefactores	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición calefactores	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición chimeneas	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición gradual calefactores	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición Leña A	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición leña B	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Prohibición salamandras y otros	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Quemas	Agropecuario	Agropecuari o
Quemas Agrícolas	Agropecuario	Agropecuari o
RACT	Graphic Arts	Otra
		Fuentes
RACT to 25 tpy (Low NOx Burner)	Industrial Coal Combustion	Otra
		Fuentes
RACT to 25 tpy (Low NOx Burner)	Industrial Oil Combustion	Otra
		Fuentes
RACT to 25 tpy (Low NOx Burner)	Industrial NG Combustion	Otra
		Fuentes

Medidas de Control	Grupo	Sector
RACT to 50 tpy (Low NOx Burner)	Industrial Coal Combustion	Otra
RACT to 50 tpy (Low NOx Burner)	Industrial Oil Combustion	Fuentes
RACT to 50 tpy (Low NOx Burner)	Industrial NG Combustion	Otra
Reacondicionamiento térmico	Comercial, Publico y Residencial	Fuentes
Recambio a pellet	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Recambio combustibles fósiles por GN en procesos térmicos (50%)	Industria y minería	Energía
Recambio estufas a normativa	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Recambio pellets	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Reformulation	Pesticide Application	Otra
Reformulation	Adhesives - Industrial	Fuentes
Reformulation	Wood Product Surface Coating	Otra
Reformulation	Aerosol Paints	Fuentes
Reformulation	Automobile Refinishing	Otra
Reformulation (ARB Phase I)	Consumer Solvents	Fuentes
Reformulation (ARB Phase I)	Consumer Adhesives	Otra
Reformulation (ARB Phase II)	Consumer Solvents	Fuentes
Reformulation (ARB Phase II)	Consumer Adhesives	Otra
Reformulation (Fed Rule)	Consumer Adhesives	Fuentes
Reformulation (OTC Rule)	Architectural Coatings	Otra
Reformulation (OTC Rule)	Consumer Solvents	Fuentes
Reformulation (OTC Rule)	Consumer Adhesives	Otra
Reformulation (Phase I)	Architectural, Industrial Maintenance, and Traffic Coatings	Fuentes
Reformulation (Phase II)	Architectural, Industrial Maintenance, and Traffic Coatings	Otra
Reformulation (Phase III)	Architectural, Industrial Maintenance, and Traffic Coatings	Fuentes
Reformulation-Process Modification	Rubber/Plastics Coating	Otra
Reformulation-Process Modification	Metal Part and Products Coating	Fuentes
Reformulation-Process Modification	Metal Furn, Appliances, Parts	Otra
Reformulation-Process Modification	Cold Cleaning	Fuentes
Reformulation-Process Modification	Open Top Degreasing	Otra
Reformulation-Process Modification	Cutback Asphalt	Fuentes
Reformulation-Process Modification	Aircraft Surface Coating	Otra
Reformulation-Process Modification	Electrical/Electronic Coating	Fuentes

Medidas de Control	Grupo	Sector
Reformulation-Process Modification (Fed Rule)	Automobile Refinishing	Otra
Reformulation-Process Modification (OTC Rule)	Automobile Refinishing	Fuentes Otra
Reformulation-Process Modification (OTC Rule)	Machn, Electric, Railroad Ctng	Fuentes Otra
Reformulation-Process Modification (OTC Rule)	Cold Cleaning	Fuentes Otra
Regenerative Thermal Oxidizer	Generic NonEGU	Industriales
Remove old wood stoves at 10% RP	Wood Stoves	Otra Fuentes
Remove old wood stoves at 25% RP	Wood Stoves	Otra Fuentes
Replace existing drift eliminator at 10% RP	Cooling Towers	Otra Fuentes
Replace existing drift eliminator at 25% RP	Cooling Towers	Otra Fuentes
Retiro de centrales	Generación	Energía
RT Viviendas vulnerables	Comercial, Publico y Residencial	Energía
SCAQMD Proposed Rule 1148.1	Oil and Natural Gas Production - Fugitive	Industriales
SCR + DLN Combustion	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
SCR-95%	Petroleum Refinery Gas-Fired Process Heaters	Industriales
Secuestro CO2 atmosférico	Agropecuario	Agropecuario
Secuestro CO2 orgánico	Agropecuario	Agropecuario
Selective Catalytic Reduction	Taconite Iron Ore Processing - Induration - Coal or Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Iron & Steel Mills - Annealing2	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Ammonia - NG-Fired Reformers	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Ammonia - Oil-Fired Reformers	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Pulp and Paper - Natural Gas - Incinerators	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Cement Manufacturing - Dry	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (500 to 699 MW)	Energía
Selective Catalytic Reduction	Cement Manufacturing - Dry2	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Iron&Steel-In Pr. Combustion-Natural Gas-Pr. Gas-Coke	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Oven Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Cement Manufacturing - Wet	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Nitric Acid Manufacturing2	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Fluid Cat Cracking Units; Cracking Unit	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Space Heaters - Distillate Oil	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Glass Manufacturing - Container	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (25 to 99 MW)	Energía
Selective Catalytic Reduction	Glass Manufacturing - Flat	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Oil-Gas/Tangential	Energía
Selective Catalytic Reduction	Glass Manufacturing - Pressed	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Iron & Steel - In-Process Combustion - Bituminous Coal	Industriales
Selective Catalytic Reduction	ICE - Diesel	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Iron & Steel - In-Process Combustion - Residual Oil	Industriales
Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Coal	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Lean Burn ICE - NG	Industriales
Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Petroleum Refinery Gas-Fired Process Heaters	Industriales
Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Oil	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Solid Waste Disp; Gov; Other Incin; Sludge	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Indust. Incinerators	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Space Heaters - Natural Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	In-Process Fuel Use - Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (100 to 299 MW)	Energía
Selective Catalytic Reduction	In-Process Fuel Use; Residual Oil; Gen	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (300 to 499 MW)	Energía
Selective Catalytic Reduction	In-Process Fuel Use; Bituminous Coal; Gen	Industriales

Medidas de Control	Grupo	Sector
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (Over 700 MW)	Energía
Selective Catalytic Reduction	In-Process; Bituminous Coal; Cement and Lime Kilns	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Utility Boiler - Oil-Gas/Wall	Energía
Selective Catalytic Reduction	In-Process; Process Gas; Coke Oven Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction	Internal Combustion Engines - Oil	Industriales
Selective Catalytic Reduction and Steam Injection	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Selective Catalytic Reduction and Water Injection	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	In-Process; Bituminous Coal; Lime Kiln	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (300 to 499 MW)	Energía
Selective Non-Catalytic Reduction	Space Heaters - Distillate Oil	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Ammonia - Oil-Fired Reformers	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	In-Process Fuel Use; Bituminous Coal; Gen	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	By-Product Coke Mfg; Oven Underfiring	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Medical Waste Incinerators	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Cement Manufacturing - Dry	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (100 to 299 MW)	Energía
Selective Non-Catalytic Reduction	Cement Manufacturing - Wet	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (Over 700 MW)	Energía
Selective Non-Catalytic Reduction	Comm./Inst. Incinerators	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	In-Process; Bituminous Coal; Cement Kiln	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	External Combustion Boilers, Elec Gen, Coal	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Iron & Steel Mills - Annealing	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	External Combustion Boilers, Elec Gen, Dis Oil	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Solid Waste Disp;Gov;Other Incin; Sludge	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	External Combustion Boilers, Elec Gen, Res Oil and Solid Waste	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Space Heaters - Natural Gas	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Coal	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (25 to 99 MW)	Energía
Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Gas	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Utility Boiler - Coal/Tangential (500 to 699 MW)	Energía
Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Oil	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Ammonia - NG-Fired Reformers	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction	Industrial Incinerators, Municipal Waste Combustors	Industriales
Selective Non-Catalytic Reduction - Ammonia	Cement Manufacturing - Dry	Industriales
Smokeless Broiler at 10% RP	Commercial Cooking	Otra
		Fuentes
Smokeless Broiler at 25% RP	Commercial Cooking	Otra
		Fuentes
Solvent Recovery System	Printing/Publishing	Industriales
Solvent Substitution	Miscellaneous Industrial Adhesives	Industriales
Solvent substitution, non-atomized resin application methods	Fiberglass Boat Manufacturing	Industriales
Solvent Utilization	Coating; Arts; Miscellaneous	Otra
		Fuentes
Solvent Utilization	Coating; Arts	Otra
		Fuentes
Spray Dry Absorber	Cement Kilns	Industriales
Sprinkler System for Soil Moisture at 10% RP	Construction Activities	Otra
		Fuentes
Sprinkler System for Soil Moisture at 25% RP	Construction Activities	Otra
		Fuentes
SST Industria y minería	Industria y minería	Energía
SST Residencial y público	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Steam Injection	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Subsidio acondicionamiento térmico	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Substitute chipping for burning	Open burning	Quema
Substitute chipping for burning	Household burning	Quema
Substitution of landfilling for open burning	Open burning	Otra
		Fuentes

Medidas de Control	Grupo	Sector
Sulfur Recovery and/or Tail Gas Treatment	Sulfur Recovery- Elemental Sulfur (Claus: 2 Stage w/o control	Industriales
Sulfur Recovery and/or Tail Gas Treatment	Sulfur Recovery - Elemental Sulfur (Claus: 3 Stage w/o control	Industriales
Sulfur Recovery and/or Tail Gas Treatment	Sulfur Recovery - Elemental Sulfur (Claus: 3 Stage w/o control	Industriales
Thermal Reduction	Adipic Acid Manufacturing	Industriales
Trackout control devices at 10% RP	Paved Roads	Otra
Trackout control devices at 25% RP	Paved Roads	Fuentes
Truck System for Soil Moisture at 10% RP	Construction Activities	Otra
Truck System for Soil Moisture at 25% RP	Construction Activities	Fuentes
Ultra-Low NOx Burner	ICI Boilers - Gas	Otra
Ultra-Low NOx Burner and Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Coal/Wall	Fuentes
Ultra-Low NOx Burner and Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Oil	Industriales
Ultra-Low NOx Burner and Selective Catalytic Reduction	ICI Boilers - Gas	Industriales
Ultra-Low NOx Burner and Selective Non-Catalytic Reduction	ICI Boilers - Coal/Wall	Industriales
Ultra-Low NOx Burner	Petroleum Refinery Gas-Fired Process Heaters	Industriales
Uso leña seca	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Vapor Recovery Unit	Generic NonEGU	Industriales
VE- reacondicionamiento térmico	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Venturi Scrubber	ICI Boilers and Heaters - Gas and Oil	Industriales
Venturi Scrubber	ICI Boilers and Heaters - Wood	Industriales
Venturi Scrubber	ICI Boilers and Heaters - Solid Fuels	Industriales
Venturi Scrubber	Generic Industrial Processes - MMD of 10.0 microns	Industriales
Venturi Scrubber	Generic Industrial Processes - MMD of 1.0 microns	Industriales
Venturi Scrubber	Generic Industrial Processes - MMD of 5.0 microns	Industriales
VN- norma aislación	Comercial, Publico y Residencial	Energía
Wastewater	Petroleum Wastewater	Industriales
Water Injection	Gas Turbines - Natural Gas	Industriales
Watering	Beef Cattle Feedlots	Otra
Wet Flue Gas Desulfurization	Cement Kilns	Fuentes
Wet Flue Gas Desulfurization	Petroleum Refinery Process Heaters	Industriales
Wet Flue Gas Desulfurization	Petroleum Refinery Catalytic and Thermal Cracking Units	Industriales
Wet Scrubber	ICI Boilers - Coal	Industriales
Wet Scrubber	ICI Boilers - Oil	Industriales
Wet Scrubber	ICI Boilers - Gas	Industriales
Wet scrubber at 10% RP	Commercial Cooking	Otra
Wet scrubber at 25% RP	Commercial Cooking	Fuentes
Work practice standards, solvent substitution, and add-on controls	Industrial Cleaning Solvents	Otra
		Fuentes
		Industriales

