



Informe Número
1610944
Original



INVENTARIO RMS INDUSTRIA – AGROINDUSTRIA
ID Licitación: 611134-3-LE23

Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente

INFORME FINAL

Santiago, 06 de diciembre de 2023

Título del Proyecto**Inventario RMS Industria – Agroindustria****Autores:**

Jefe de proyecto: Luis Cifuentes

Ingeniero de proyecto: Viviana Cerda Gho, Valentina Morandé, Camila Pellegrini, Catalina Díaz Kutscher

Dictuc S.A.

Vicuña Mackenna Nº 4860, Macul – Santiago

Datos Mandante

Razón Social: Subsecretaría del Medio Ambiente

RUT: 61.979.930-5

Dirección: San Martín 73, Santiago

Cuerpo del informe

143 hojas (incluye portada)

Fecha del informe

06/12/2023

Información Contractual

Correlativo Contrato: 3437

OC N°: 611134-19-SE23

Contraparte técnica

Nombre: Giannina Sambuceti

Cargo: Profesional Calidad del Aire,
área Industrias y Grandes
Establecimientos, SEREMI del Medio
Ambiente Región Metropolitana

E-mail: gsambuceti@mma.gob.cl

Resumen

El presente estudio tiene por objetivo principal contar con un inventario de emisiones actualizado para los contaminantes MP10, MP2,5, NOx, SOx, NH3, CO y COV, del Sector Industrial y de NH3 para el sector Agroindustrial, que sirva de medio habilitante para identificar medidas para la reducción y control de emisiones de ambos sectores y/o subsectores identificados.

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

Dictuc S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

Dictuc S.A.

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	I
Lista de Tablas.....	IV
Lista de Figuras.....	VI
Acrónimos y Abreviaturas.....	VIII
1. Antecedentes y justificación del estudio	1
2. Objetivos del estudio	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
2.3 Alcance de este informe	2
3. Levantamiento de información del Sector Industrial y Agroindustrial en la Región Metropolitana	4
3.1 Revisión de estudios previos.....	4
3.1.1 <i>Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago</i>	<i>4</i>
3.1.2 <i>Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana (USACH, 2014).....</i>	<i>6</i>
3.1.3 <i>Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago, (POCH, 2016).....</i>	<i>11</i>
3.1.4 <i>Evaluación de la Gestión de la Calidad del Aire en la Región Metropolitana (Santiago Megacities Partnership, 2018)</i>	<i>17</i>
3.2 Bases de Datos usadas	20
3.2.1 <i>BD para cumplir el DS138</i>	<i>20</i>
3.2.1 <i>SISAT.....</i>	<i>20</i>
3.2.2 <i>RUEA.....</i>	<i>20</i>
3.2.1 <i>Reporte CONAF 2022</i>	<i>20</i>
3.3 Resumen de datos usados y sus fuentes	21
4. Revisión y corrección de los datos requeridos por el DS138 2022	22
4.1 Clasificación de Fuentes.....	24
4.1.1 <i>Según sector.....</i>	<i>24</i>

4.1.2	<i>Identificación de grandes establecimientos.....</i>	25
4.2	Chequeos de consistencia de datos.....	28
4.2.1	<i>Chequeo de fuentes repetidas</i>	28
4.2.2	<i>Chequeo de CCF8.....</i>	29
4.3	Chequeos de valores de fuentes individuales	31
4.3.1	<i>Fuentes con Consumo nulo</i>	31
4.3.2	<i>Chequeo de eficiencia implícita.....</i>	31
4.3.3	<i>Chequeo de factor de planta.....</i>	32
4.3.4	<i>Corrección con consumos de años anteriores y factor de planta de consumo de combustible promedio por tipo de fuente</i>	33
4.4	Chequeo de Inventario de fuentes de combustión	36
4.4.1	<i>Comparación con datos de pago de impuesto verde.....</i>	36
5.	Metodología para calcular los inventarios para el Sector Industrial y Agroindustrial de la Región Metropolitana	39
5.1	Metodología general para la estimación de emisiones.....	39
5.2	Identificación y caracterización de fuentes emisoras del Sector Industrial	41
5.2.1	<i>Factores de emisión del Sector Industrial</i>	49
5.2.2	<i>Niveles de actividad del Sector Industrial</i>	53
5.2.3	<i>Sistemas de abatimiento del Sector Industrial</i>	64
5.3	Identificación y levantamiento de información de las fuentes emisoras de NH ₃ del Sector Agroindustrial	65
5.3.1	<i>Recopilación de valores de referencia</i>	65
5.3.2	<i>Factores de emisión del Sector Agroindustrial.....</i>	66
5.3.3	<i>Niveles de actividad del Sector Agroindustrial.....</i>	70
6.	Resultados	73
6.1	Inventario de emisiones.....	73
6.1.1	<i>Sector Industrial</i>	77
6.1.2	<i>Sector Agroindustrial</i>	79
6.2	Identificación de sectores, categorías, subcategorías u otros con mayor aporte de contaminantes atmosféricos	82
6.2.1	<i>Sectores</i>	82
6.2.2	<i>Categorías</i>	84

6.3 Identificación del aporte de emisiones al Sector Industrial de los Grandes Establecimientos de la RM.....	91
6.4 Comparación con inventarios anteriores	96
6.4.1 <i>Sector Agroindustrial</i>	97
7. Identificación del potencial de reducción de emisiones.....	99
7.1 Antecedentes revisados.....	99
7.2 Medidas de reducción disponibles	99
7.2.1 <i>Medidas de reducción de material particulado</i>	99
7.2.2 <i>Medidas de reducción de NOx</i>	102
7.2.3 <i>Medidas de reducción de SOx</i>	106
7.3 Propuesta de medidas específicas para los Grandes Establecimientos de la RM	107
7.4 Potencial de reducción de los contaminantes NOx y SOx en el sector industrial	112
8. Conclusiones.....	117
9. Bibliografía	119
10. Anexos	120
10.1 Fuentes eliminadas por duplicidad.....	120
10.2 Corrección CCF8.....	122
10.3 Propiedades de los combustibles	127
10.4 Niveles de actividad del Sector Industrial.....	128
10.5 Sistemas de abatimiento y eficiencias del Sector Industrial	131

Lista de Tablas

Tabla 2-1 Actividades abordadas en este informe	3
Tabla 3-1 Inventario de emisiones de contaminantes por sector, año base 2015 [t/año]	5
Tabla 3-2 Emisiones totales por sector de fuentes en la RM, año base 2012 [t/año]	6
Tabla 3-3 Emisiones de fuentes industriales	7
Tabla 3-4 Tipos de procesos considerados en las diferentes industrias	8
Tabla 3-5 Empresas emisoras de MP _{2,5} por tipo de industria	8
Tabla 3-6 Emisiones de fuentes fijas correspondientes a distintos sectores industriales en la Región Metropolitana	8
Tabla 3-7 Emisiones MP10 estimadas por la SEREMI de Salud	9
Tabla 3-8 Emisiones de fuentes agrícolas	10
Tabla 3-9 Inventario de emisiones de NH ₃ por tipo de fuente, año base 2015	12
Tabla 3-10 Número de animales e instalaciones por categoría animal en la Región Metropolitana	14
Tabla 3-11 Cadenas de manejo de estiércol por categoría de ave	15
Tabla 3-12 Cadenas de manejo de estiércol por categoría de bovino	15
Tabla 3-13 Medidas de reducción de emisiones de amoniaco evaluadas	16
Tabla 3-14 Principales emisores de NO _x en la Región Metropolitana	18
Tabla 3-15 Principales emisores de SO ₂ en la Región Metropolitana	19
Tabla 3-16 Fuente de información para estimación de emisiones por categoría del inventario.	21
Tabla 4-1 Campos relevantes de fuentes de combustión, base de datos DS138	23
Tabla 4-2 Campos relevantes de fuentes de procesos, base de datos DS138	23
Tabla 4-3 Identificación de fuentes industriales en la base de datos del DS138	25
Tabla 4-4 Emisiones que definen a los grandes establecimientos	26
Tabla 4-5 Listado de grandes establecimientos de la RM	26
Tabla 4-6 Número de grandes establecimientos por fuente de información	28
Tabla 4-7 Número de fuentes que pertenecen a grandes establecimientos	28
Tabla 4-8 Número de fuentes repetidas	29
Tabla 4-9 Número de fuentes eliminadas	29
Tabla 4-10 Número de fuentes por cada clasificación final	29
Tabla 4-11 Niveles del CCF8	30
Tabla 4-12 Significado de los primeros 2 niveles del CCF8	30
Tabla 4-13 Número de CCF8 corregidos	31
Tabla 4-14 Resumen de número de fuentes por número de combustible consumido	31
Tabla 4-15 Cantidad de fuentes de combustión outliers por eficiencia implícita	32
Tabla 4-16 Número de fuentes de combustión segun factor de planta correcto	32
Tabla 4-17 Disponibilidad de información de potencia nominal y consumo nominal	33
Tabla 4-18 Factor de planta de uso de combustible promedio por tipo de fuente	35
Tabla 4-19 Cantidad de fuentes de combustión <i>outliers</i> por FP luego de corrección	36
Tabla 4-20 Establecimientos que pagan impuesto verde el 2023	36

Tabla 4-21 FE de CO ₂ por combustible (g/MJ)	37
Tabla 4-22 Establecimientos que superan los 12.500 ton/año de CO ₂	37
Tabla 4-23 Número de outliers por emisiones de CO ₂	38
Tabla 5-1 Ubicación de los grandes establecimientos.....	42
Tabla 5-2 Tipo de fuente y combustible de los grandes establecimientos en la RM por rubro...	43
Tabla 5-3 Contaminantes emitidos por cada tipo de fuentes de las grandes fuentes en la RM..	46
Tabla 5-4 Factores de emisión de fuentes de combustión [kg/ton].....	50
Tabla 5-5 Factores de emisión de fuentes de procesos [kg/ton]	53
Tabla 5-6 Número de fuentes y consumo por tipo de fuente [ton/año]	54
Tabla 5-7 Consumo de combustible de las empresas de mayor consumo [ton/año] y su porcentaje acumulado	56
Tabla 5-8 Número de fuentes y actividad por tipo de fuente [ton/año].....	63
Tabla 5-9 Superficie sembrada estimada para la RM para el año agrícola 2022/2023.....	65
Tabla 5-10 Tasa de uso de fertilizante según cultivo [kg nutriente/ha]	66
Tabla 5-11 Factores emisión para quemas agrícolas [kg/kg materia quemada].....	67
Tabla 5-12 Factores de emisión utilizados para crianza animal [kg NH ₃ -N/animal]	67
Tabla 5-13 Factores a utilizar para la estimación de emisiones de crianza de animales	68
Tabla 5-14 Factores de emisión para aplicación de fertilizantes [kg/ton N aplicado]	69
Tabla 5-15 Contenido de nitrógeno por tipo de fertilizante	69
Tabla 5-16 Factores de emisión estimado para aplicación de fertilizantes [kg/kg fertilizante]...	69
Tabla 5-17 Factores de emisión de plaguicidas	70
Tabla 5-18 Quemas agrícolas periodo 2022, Región Metropolitana.....	70
Tabla 5-19 Existencias de animales por especie en la Región Metropolitana [número de animales], año 2021	71
Tabla 5-20 Existencias de animales por tipo de animal [número de animales], año 2021	71
Tabla 5-21 Consumo de fertilizantes por cultivo [kg nitrógeno]	72
Tabla 6-1 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por rubro	74
Tabla 6-2 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por clase	75
Tabla 6-3 Emisiones Sector Industrial por rubro, año 2022 [ton/año].....	78
Tabla 6-4 Emisiones Sector industrial principales comunas según SO _x [ton/año].....	79
Tabla 6-5 Emisiones de NH ₃ por ganadería, año 2021 [kg/año]	80
Tabla 6-6 Emisiones por quemas agrícolas, 2022 [ton/año]	80
Tabla 6-7 Emisiones de NH ₃ por uso de fertilizantes, año 2022 [ton/año]	81
Tabla 6-8 Emisiones de NO por uso de fertilizantes, año 2022 [ton/año]	81
Tabla 6-9 Emisiones de COV por uso de plaguicidas, año 2019 [ton/año].....	82
Tabla 6-10 Emisiones por Sector para el año 2022	83
Tabla 6-11 Emisiones por Sector y Clase para el año 2022	84
Tabla 6-12 Categorización de fuentes	85
Tabla 6-13 Emisiones de Grandes Establecimientos [ton/año].....	92
Tabla 6-15 Aporte de emisiones al Sector Industrial de los Grandes Establecimientos [ton]	94

Tabla 6-16 Comparación de emisiones provenientes de crianza animal con otros inventarios ..	97
Tabla 6-17 Comparación de emisiones provenientes de fertilizantes con otros inventarios	97
Tabla 6-18 Comparación de emisiones provenientes de plaguicidas con otros inventarios	98
Tabla 6-19 Comparación de emisiones provenientes de quemas agrícolas con otros inventarios	98
Tabla 7-1 Categorías con mayor emisión de material particulado [ton/año]	100
Tabla 7-2 Emisiones de MP2,5 por tipo de fuente [ton/año].....	100
Tabla 7-3 Eficiencia de medidas de reducción de MP para calderas.....	101
Tabla 7-4 Eficiencia de medidas de reducción de MP para grupos electrógenos	102
Tabla 7-5 Categorías con mayor emisión de NOx [ton/año]	103
Tabla 7-6 Emisiones de NOx por tipo de fuente [ton/año]	103
Tabla 7-7 Categorías con mayor emisión de SOx [ton/año]	106
Tabla 7-8 Emisiones de SOx por tipo de fuente [ton/año]	106
Tabla 7-9 Sistemas de abatimiento y emisiones de NOx y SOx para grandes establecimientos	107
Tabla 7-10 Potenciales medidas de reducción de emisiones por tipo de fuente	112
Tabla 7-11 Resumen de medidas de reducción de NOx y SOx en el sector industrial	112
Tabla 7-12 Potencial de reducción de NOx.....	114
Tabla 7-13 Potencial de reducción de SOx	115
Tabla 10-1 Detalle de fuentes eliminadas	120
Tabla 10-2 Corrección de CCF8	122
Tabla 10-3 Propiedades de los combustibles	128
Tabla 10-4 Consumo mensual por fuente del Sector Industrial	128
Tabla 10-5 Sistemas de abatimiento por fuente y su eficiencia por contaminante [%]	131

Lista de Figuras

Figura 4-1 Diagrama de flujo de la corrección de consumo de combustible	34
Figura 5-1 Consumo de combustible por tipo de fuente [ton/año]	58
Figura 5-2 Consumo mensual de combustible por tipo de combustible [ton]	59
Figura 5-3 Consumo mensual de combustible por tipo de fuente [ton]	60
Figura 5-4 Consumo mensual de combustible por tipo de caldera [ton]	61
Figura 5-5 Consumo mensual de combustible por tipo de horno [ton]	62
Figura 5-6 Nivel de actividad mensual por tipo de fuente [ton]	64
Figura 6-1 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por clase	76
Figura 6-2 Representación porcentual de emisiones de cada sector por contaminante.....	83
Figura 6-2 Comparación de emisiones de MP por categoría [ton/año]	86
Figura 6-5 Comparación de emisiones de SOx por categoría [ton/año]	87
Figura 6-6 Comparación de emisiones de NOx por categoría [ton/año].....	88
Figura 6-7 Comparación de emisiones de CO por categoría [ton/año]	89

Figura 6-8 Comparación de emisiones de COV por categoría [ton/año]	90
Figura 6-9 Comparación de emisiones de NH ₃ por categoría [ton/año]	91
Figura 6-10 Comparación de emisiones de CO ₂ por categoría [ton/año].....	91
Figura 6-11 Gráfico de Pareto para emisiones de MP2.5 por grandes establecimientos (ton/año)	95
Figura 6-12 Gráfico de Pareto para emisiones de SO _x por grandes establecimientos (ton/año) 95	
Figura 6-13 Gráfico de Pareto para emisiones de NO _x por grandes establecimientos (ton/año)96	

Acrónimos y Abreviaturas

Abreviaturas

ACB:	Análisis Costo Beneficio
AGIES:	Análisis General del Impacto Económico y Social
FE:	Factores de Emisión
FEC:	Factores Emisión-Concentración
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
PPDA:	Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental
RETC:	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RUEA:	Registro Único de Emisiones Atmosféricas
SISAT:	Sistema de Seguimiento Atmosférico
USD:	Dólares de Estados Unidos
USEPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
VAN:	Valor Actual Neto

Prefijos

M: Mega (10^6)

k: Kilo (10^3)

m: Mili (10^{-3})

μ : Micro (10^{-6})

Unidades

m: Metro (Longitud)

kg: Kilogramo (Masa)

s: Segundo (Tiempo)

$^{\circ}$ C: Celsius (Temperatura)

J: Joule (Energía, Trabajo)

W: Watt (Potencia)

Formato

" , " separador decimal

" ." separador de miles

1. Antecedentes y justificación del estudio

Mediante Resolución Exenta N°1442 del MMA, de 24 de noviembre de 2022, se dio inicio al proceso de revisión y actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana. Para lo anterior se requiere contar con el inventario de emisiones de contaminantes locales para la Región Metropolitana de los distintos sectores identificados en el Decreto N°31/2016, del Ministerio del Medio Ambiente que establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago, en adelante "Dto. N°31/2016" (MMA, 2016). En este caso se considera la elaboración del inventario de emisiones del Sector "Industrial y Agroindustria".

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo general

El objetivo principal es contar con un inventario de emisiones actualizado para MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO_x, NH₃, CO y COV, del Sector Industrial y de NH₃ para el sector Agroindustrial, que sirva de medio habilitante para identificar medidas para la reducción y control de emisiones de ambos sectores y/o subsectores identificados.

2.2 Objetivos específicos

- a) Levantamiento de información del Sector Industrial y Agroindustrial en la Región Metropolitana, identificando los subsectores (tipos de Industria, actividad, entre otros) de la zona de estudio y las diferentes fuentes emisoras de MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO_x, NH₃, CO y COV.
- b) Elaborar un inventario de emisiones actualizado para el Sector Industrial y Agroindustrial de la Región Metropolitana para los contaminantes MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO_x, NH₃, CO y COV.
- c) Identificar el potencial de reducción de emisiones según los diferentes Subsectores identificados o según tipo de fuente, para reducir principalmente las emisiones de Material Particulado Fino Equivalente.
- d) Elaborar material para análisis y difusión de los resultados del estudio.

2.3 Alcance de este informe

El presente informe contiene el desarrollo de todas las actividades asociadas al cumplimiento de todos los objetivos específicos del presente estudio, en los términos descritos en las Bases Técnicas. En la Tabla 2-1 se presenta la sección en la cual se presenta cada actividad según las Bases Técnicas. Mientras que las actividades asociadas al objetivo específico e) se responden por medio del presente informe en su totalidad.

Tabla 2-1 Actividades abordadas en este informe

Actividad según bases técnicas	Sección del Informe
a.1)	Sección 3.1
a.2), a.3) y a.4)	Secciones 3.2 y 4.1
a.5)	Sección 5.3
a.6)	Sección 5.3
b.1), b.2)	Sección 5.1
b.3), b.4), b.5), b.6)	Secciones 3.2, 5.2.2 y 5.3.3
c.1)	Sección 6.3
c.2)	Sección 7.1
c.3)	Sección 6.3
c.4)	Sección 7.1 y Sección 7.4
d.1)	Todas las secciones

Fuente: Elaboración propia

3. Levantamiento de información del Sector Industrial y Agroindustrial en la Región Metropolitana

Levantamiento de información del Sector Industrial y Agroindustrial en la Región Metropolitana, identificando los subsectores (tipos de Industria, actividad, entre otros) de la zona de estudio y las diferentes fuentes emisoras de MP₁₀, MP_{2,5}, NO_x, SO_x, NH₃, CO y COV.

3.1 Revisión de estudios previos

En esta sección se presenta la revisión de antecedentes, siendo la mayoría para la elaboración del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago y los estudios más recientes en que se realizaron inventarios de emisiones de la Región Metropolitana de Santiago. La información presentada a continuación corresponde únicamente a antecedentes, no resultados del presente informe.

3.1.1 Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago

El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (MMA, 2016) tiene por objetivo dar cumplimiento a las normas primarias de calidad del aire vigentes, asociadas a los contaminantes MP₁₀, MP_{2,5}, O₃ y CO.

En este Plan se presenta el inventario de emisiones para la Región Metropolitana, correspondiente al año base 2015 (ver Tabla 3-1). Este inventario fue elaborado a partir de los siguientes estudios requeridos por el MMA:

- "Actualización y Sistematización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana de Santiago", USACH 2014
- "Propuesta de regulaciones para el MP_{2,5}, sus precursores y contaminantes que afecten el cambio climático, para las distintas fuentes estacionarias de la Región Metropolitana de Santiago", Centro Mario Molina 2014;
- "Generación de antecedentes para la evaluación técnica-económica a la aplicación de medidas de control para fuentes móviles en PPDA Región Metropolitana de Santiago", GEASUR 2015;
- "Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago", POCHE 2016.

Tabla 3-1 Inventario de emisiones de contaminantes por sector, año base 2015 [t/año]

Sector	MP ₁₀	MP _{2,5}	SOx	NOx	NH ₃	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	COV
Industria	911	874	1.994	4.895	-	598	-	-	-	-	23
Residencial Leña	2.251	2.191	36	214	178	36.376	256.750	674	9	276.269	9.977
Residencial no leña	100	95	294	1.563	10	410	-	-	-	-	43.176
Evaporativas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.424
Agroindustria	-	-	-	-	17.210	-	-	-	-	-	-
Quemas Agrícolas	131	118	28	81	1	731	5.901	11	0	6.245	-
Transporte	1.109	1.109	91	24.954	548	93.566	9.654.421	376	307	9.755.179	10.495
Maquinaria Fuera de Ruta	1.178	1.143	35	9.781	3	8.964	1.151.596	68	48	1.167.477	1.677
Otros (*)	174	157	13	70	23	1.915	242.571	88.071	-	2.444.346	15.029
Total	5.854	5.686	2.491	41.559	17.973	142.560	11.311.239	89.199	363	13.649.517	108.801

(*) Otros: Incendios forestales, emisiones biogénicas, rellenos sanitarios y tratamiento de aguas

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana (USACH, 2014)

En el estudio “Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana” (USACH, 2014) se realizó una actualización del inventario de emisiones de contaminantes en la Región Metropolitana para el año 2012, incorporando los siguientes sectores, cuyas emisiones se muestran en la Tabla 3-2.

- Industria
- Residencial
- Evaporativas
- Agrícola
- Transporte
- Construcción

Tabla 3-2 Emisiones totales por sector de fuentes en la RM, año base 2012 [t/año]

Sector	Emisiones de Contaminantes [t/año]							
	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	COV	CO	NH ₃	CO ₂
Industria	742	662	4.921	1.990	23	1.139	-	1.519.714
Residenciales	2.186	2.077	1.785	294	53.550	20.292	193	829.261
Evaporativas	-	-	-	-	28.424	-	-	-
Agrícolas	205	183	80	15	15.031	2.214	33.395	242.571
Transporte	2.877	2.398	39.356	239	-	125.727	2.114	10.401.297
Construcción	568	534	5.244	6	-	5.423	-	681.638
Total	6.578	5.854	51.386	2.544	97.028	154.795	35.702	13.127.208

Fuente: (USACH, 2014)

A continuación, se presenta el inventario estimado y la metodología de estimación utilizada para los sectores industrial y agrícola.

3.1.2.1 Emisiones Industriales

Las fuentes del sector industrial fueron separadas en fuentes grandes y pequeñas. Las grandes fuentes fueron estimadas individualmente y se clasificaron como fuentes puntuales, mientras que las fuentes pequeñas se trabajaron en grupos y se clasificaron como fuentes grupales. A continuación, se presentan las emisiones estimadas de las fuentes industriales separadas por subsector. Se observa que las emisiones de material particulado son generadas mayoritariamente por las pequeñas fuentes, mientras que las grandes fuentes son las principales emisoras de NO_x, SO_x, y CO.

Tabla 3-3 Emisiones de fuentes industriales

Sector Industrial	Emisiones de Contaminantes [t/año]						
	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO _x	COV	CO	CO ₂
Grandes fuentes	333	298	2.188	1.966	-	893	-
Pequeñas fuentes	409	319	1.584	24	13	246	829.261
Generación eléctrica	-	45	1.149	-	10,3	-	690.453
Total	742	662	4.921	1.990	23	1.139	1.519.714

Fuente: (USACH, 2014)

Grandes fuentes

Se definen como grandes fuentes a las industrias que sumadas contribuyen alrededor del 50% del total de los mayores emisores contaminantes de la industria en la región Metropolitana considerando la **base de datos proporcionada por la Seremi de Salud 2012** y por el **Decreto nº138 del Ministerio de Salud “Declaración de emisiones”**.

Para estas fuentes se identificó el proceso, cantidad de toneladas producidas al año y metros cúbicos de combustible consumidos para ejecutar los procesos. Los factores de emisión utilizados para cada uno de ellos fueron obtenidos a partir del AP-42 de la EPA. Los procesos fueron divididos en Calderas Industriales y Otros procesos industriales, y se consideró la eficiencia de abatimiento en los casos en que las fuentes contaran con equipos de control de emisiones.

Para las fuentes industriales que no son calderas, se definen los grupos:

- Industria de productos minerales
- Industria de Alimentos y Agricultura
- Procesos siderúrgicos
- Otros Procesos Industriales

Los datos de nivel de actividad fueron obtenidos de la **Declaración de Emisiones mediante el DS Nº138** del Ministerio de Salud. A continuación, en la Tabla 3-4 se presentan los tipos de procesos que fueron considerados para la estimación de las emisiones en los diferentes tipos de industria.

Tabla 3-4 Tipos de procesos considerados en las diferentes industrias

Industria	Proceso
Cemento	Alimentación con crudo a molino con filtro de manga
	Horno rotatorio de proceso húmedo con filtro de mangas
Ladrillos	Secador de Ladrillo
	Hornos de cocción en base a carbón con filtro de mangas
Vidrio	Hornos de Fundición Cristalerías Chile
	Hornos de Fundición Cristalerías Toro
Cal	Horno Rotatorio con Precipitador Electrostático
Procesos de grano	Enfriador de Pellet
	Manipulación de granos por medio de cinta transportadora
	Tamización
	Filtro de grano
Siderurgia	Horno de Arco Eléctrico
	Tratamiento térmico

Fuente: Elaboración propia en base a (USACH, 2014)

Además, en la Tabla 3-5 se presentan las empresas emisoras de MP_{2,5} por tipo de industria.

Tabla 3-5 Empresas emisoras de MP_{2,5} por tipo de industria

Industria	Empresas
Cemento	Cementos Polpaico
Cal	Soprocals Calerias e Inds. S.A.
Ladrillos	Princesa S.A.
Yeso	Cia. Ind. El Volcán
	Soc. Ind. El Romeral
Vidrio	Cristalerías de Chile
	Cristalerías Toro S.A.I.C.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presentan las emisiones de las fuentes fijas desagregadas por sector industrial.

Tabla 3-6 Emisiones de fuentes fijas correspondientes a distintos sectores industriales en la Región Metropolitana

Sector Industrial	MP10	MP _{2,5}	NOx	SOx	CO
Productos minerales	91	80	1.435	1.108	302
Alimentos y Agricultura	32	29	ND	ND	ND
Procesos Siderúrgicos	115	96	10	ND	422
Otros	86	86	297	107	66
Total	324	291	1.742	1.215	790

Fuente: (USACH, 2014)

Pequeñas fuentes

Se definen como pequeñas fuentes aquellas fuentes fijas industriales que tienen menores emisiones, consideradas como fuentes fijas grupales, y que corresponden a aproximadamente el 50% de las emisiones de MP10.

Para la estimación de emisiones, se utilizó la base de **datos de Fuentes Fijas proporcionada por la SEREMI de Salud para el año 2012**. No se tuvo en cuenta el Decreto N°138 del Ministerio de Salud ya que se observó falta de datos en los consumos de combustible de las fuentes.

Se definieron cuatro categorías, atendiendo al tipo de proceso de cada industria:

- Calderas de calefacción
- Calderas Industriales
- Grupos Electrógenos
- Otros procesos

Las calderas y grupos electrógenos a su vez fueron clasificados según tipo de combustible utilizado.

Los factores de emisión utilizados son los reportados por la EPA (EPA) ("*Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*") y los utilizados de Australia (Inventario Nacional de contaminantes de Australia, Diciembre 2011) ("*National Pollutant Inventory. Emission estimation technique manual For Combustion in boilers. Version 3.6. December 2011*").

La categoría “Otros procesos” presenta un total de 3.074 fuentes registradas, cuya emisión en MP10 es un total de 246,4 t/año. Los tipos de fuentes similares fueron agrupados, y sus emisiones según lo estimado por la SEREMI de Salud se presentan a continuación:

Tabla 3-7 Emisiones MP10 estimadas por la SEREMI de Salud

Fuentes similares	Nº de fuentes	Emisión MP10 t/año	% Respecto del grupo
Hornos panificadores	1.559	15	6%
Cabina pintura	250	40	16%
Hornos pintura	101	6	2%
Resto hornos	519	47,3	19%
Molinos	47	12,9	5%
Secador	70	15	6%
Sistemas extracción	56	12	5%
Total	2.602	148,2	60%

Fuente: Elaboración propia en base a (USACH, 2014)

Las 472 fuentes restantes no pudieron ser agrupadas debido a que comprenden una amplia variedad de procesos. Éstas emiten 98,2 t MP10/año, responsables del 40% de emisiones del grupo de “Otros Procesos”.

3.1.2.2 Emisiones agrícolas

Las fuentes de emisiones agrícolas fueron clasificadas en siete sectores, cuyas emisiones estimadas por tipo de contaminante se presentan a continuación.

Tabla 3-8 Emisiones de fuentes agrícolas

Sector	Emisiones de Contaminantes [t/año]								
	MP10	MP2,5	NO _x	SO _x	COV	CO	CH ₄	NH ₃	CO ₂
Quemas agrícolas	31	26	10	2	2	299		11	
Incendios Forestales	171	154	62	13	164	1.777		14	
Emisiones biogénicas					14.858				
Fertilizantes y plaguicidas								13.864	
Crianza de Animales								19.497	
Rellenos sanitarios	3	3	7,5			137,64	88.071		242.571
Tratamiento de aguas					6,7			9,04	
Total	205	183	80	15	15.031	2.214	88.071	33.395	242.571

Fuente: Elaboración propia en base a (USACH, 2014)

Se observa que la mayor parte de las emisiones de amoníaco provienen del uso de fertilizantes y plaguicidas y de la crianza de animales. Se consideran de interés para este estudio las dos categorías mencionadas además de las quemas agrícolas, por lo que a continuación se presenta la metodología de estimación para cada una de ellas.

Quemas agrícolas

Para la estimación de emisiones de quemas de residuos agrícolas se utilizó la metodología Tier 1 presentada en el capítulo 3.F de la guía de inventarios de EMEP/EEA 2013, la cual utiliza la masa de residuos quemados y el uso de factores de emisión por defecto.

Ecuación 1 Estimación de emisiones de quemas agrícolas

$$\text{Emisión}_{\text{contaminante}} = \text{TA}_{\text{residuo_quemado}} \cdot \text{FE}_{\text{contaminante}}$$

El nivel de actividad fue obtenido a través de **información anual y comunal de quema de residuos agrícolas proporcionada por CONAF**. Adicionalmente, se utilizaron **datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), respecto al rendimiento en 2012 de cultivos esenciales en la región**. Los factores de emisión utilizados son los presentados en el capítulo 3.F de la guía de inventarios de EMEP/EEA 2013.

Fertilizantes y plaguicidas

Para la estimación de emisiones de amoníaco provenientes de fertilizantes inorgánicos se utilizó la metodología alternativa propuesta por el inventario especializado de NH₃ desarrollado por SISTAM Ingeniería para el año 2011 (SISTAM Ingeniería, 2013). Esta metodología utiliza las tasas de demanda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación actualizadas al año 2011.

Las hectáreas por tipo de cultivo en la región metropolitana son multiplicadas por la tasa de aplicación de nutrientes, obteniendo como resultado el consumo de nitrógeno para cada cultivo y comuna. La pérdida de nitrógeno se expresa como un porcentaje del total de nitrógeno en el fertilizante, y el factor de conversión 17/14 se utiliza para calcular las emisiones de amoníaco.

Crianza de animales

Para la estimación de emisiones provenientes de la crianza de animales, se utilizó la metodología planteada por “*Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe*” (Klimont & Brink, 2004). Esta metodología considera cuatro actividades principales asociadas a la generación de emisiones:

- Alojamiento de animales
- Almacenaje de estiércol
- Pastoreo de animales (rumiantes, equinos)
- Aplicación de estiércol sobre el suelo (como fertilizante)

Les emisiones se calculan de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación 2 Estimación de emisiones de crianza de animales

$$E_{NH_3} = 1.21 \cdot FE_{NH_3-N} \cdot NA$$

El factor de emisión varía según la actividad agraria (alojamiento, aplicación y pastoreo) y tipo de animal (cerdos y aves, o bovinos, ovinos, caprinos, camélidos y equinos) y son los desarrollados por estudios específicos (INIA 1998, modificados por el SAIE en el 2001).

Por otra parte, el nivel de actividad se estimó a partir de los datos del último **censo agropecuario y forestal (VII Censo Agropecuario y Forestal 2006 – 2007)**. Además, se incluyó el inventario especializado de NH₃ del año 2011 para las categorías Bovinos, porcinos y aves, desarrollado por Sistam Ingeniería.

3.1.3 Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago, (POCH, 2016)

Tal como su nombre lo indica, este estudio fue realizado en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago, y dentro de sus resultados se encuentra un inventario de emisiones de amoníaco.

Dentro de las fuentes antropogénicas del amoníaco se encuentran la utilización de fertilizantes nitrogenados y la generación de excretas asociada a la crianza intensiva de animales. Específicamente, las principales fuentes emisoras de amoníaco en la RM son:

- Crianza de cerdos
- Crianza de aves (broiler, ponedoras y pavos)

- Crianza de bovinos (carne y lecheros)
- Aplicación de fertilizantes en cultivos.

A continuación, se presenta el inventario de emisiones de amoniaco y su proyección a 10 años para las distintas fuentes emisoras. Se observa que en el rubro de la crianza animal, los cerdos son los que cuentan con mayor cantidad de emisiones. Es en este mismo rubro que las emisiones de amoniaco en la crianza animal dependen de las condiciones y el tipo de manejo que se le da al estiércol, purín y/o guano, desde su excreción hasta su disposición final, mientras que las emisiones asociadas al uso de fertilizantes dependen del tipo de fertilizante utilizado y de la superficie de cultivo donde se aplica.

Tabla 3-9 Inventario de emisiones de NH₃ por tipo de fuente, año base 2015

Rubro	Categoría	Emisiones [kg/año]
Crianza animal	Cerdos	7.098.358
	Broiler	4.132.435
	Ponedoras	1.110.793
	Pavos	534.769
	Bovinos de carne	918.081
	Vacas de leche	836.863
	Total Crianza animal	14.631.299
Fertilizantes	Fertilizantes	2.578.597
Emisiones totales		17.211.911

Fuente: Elaboración propia en base a (POCH, 2016)

A continuación, se presenta la metodología de estimación para ambos rubros.

3.1.3.1 Crianza animal

El estudio del EPA “*National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Report, Draft Report, January 2004*” se utilizó como referencia para la elaboración del inventario de emisiones de amoniaco. Este estudio, se concentra en el área de explotaciones ganaderas en estados unidos, y si bien, no es apropiado el uso de su metodología para estimar las emisiones de una granja en particular, si es recomendada para la asignación de cuotas de emisión y planificación en calidad de aire.

Los pasos seguidos para la estimación de emisiones, de acuerdo a lo indicado por la EPA, son los siguientes:

- **Paso 1: Estimar el número de animales por categoría y peso:** En base a los datos recopilados por las distintas asociaciones. En caso de no contar con esta información, se puede utilizar un valor por comuna.

$$\%Pop_{Country} = \frac{Country\ Pop_{census}}{State\ Pop_{census}}$$

$$Avg\ Annual\ Pop_{Country} = Avg\ Annual\ State\ Pop_{NASS} \times \%Pop_{Country}$$

- **Paso 2: Identificar la cadena de manejo asociada a cada categoría de animal:** es fundamental contar con la información directa de los sectores en estudio. Es posible realizar ciertos supuestos sobre el tipo de manejo más utilizado por cada sector.

$$Population_{Country,MMT} = \%MMT \times Avg\ Annual\ Pop_{Country}$$

- **Paso 3: Estimar el nitrógeno excretado por cada categoría de animal.** Es una ecuación directa. Para esto se considera que la dieta no varía, se mantiene constante y homogénea.

$$N_{excretin} = Pop_{Country} \times ALW \times N_{rate}$$

- **Paso 4: Identificar los factores de emisión para cada componente de cada cadena de manejo:** Se utiliza el estudio del EPA como referencia para los factores de emisión “*National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Revised*”. Los factores de emisión utilizados para los cerdos provienen de la EPA, IPCC2006, POCH 2006 y de juicio de experto.
- **Paso 5: Estimar las emisiones de amoniaco para cada categoría de animal por cadena de manejo:** Se desarrolló una base de datos en Excel para estimar las emisiones de amoníaco anuales para las operaciones animales.

$$Ammonia_{MMT\ component\ A} = Pop_{country,MMT} \times EF_{MMT\ component\ A}$$

$$Ammonia_{MMT\ component\ B} = N_{MMT} \times EF_{MMT\ component\ B} \times 17\ NH_3/14N$$

$$Ammonia\ Emission_{MMT} = \sum Ammonia\ Emissions_{MMT\ components}$$

Es importante considerar que la metodología utilizada no considera cambios de temperatura ni variaciones en la dieta en los factores de emisión ni en el nitrógeno excretado.

Para la estimación de este rubro, se solicitó **información de cantidad de animales a las asociaciones correspondientes** y se utilizó **información complementaria proporcionada por el Servicio Agrícola Ganadero**. En la siguiente tabla se presenta un resumen de la cantidad de animales y número de instalaciones presentes en la región Metropolitana.

Tabla 3-10 Número de animales e instalaciones por categoría animal en la Región Metropolitana

Categoría animal	Número de animales	Número de instalaciones
Cerdos	1.221.207	67
Aves Broiler	18.256.733	128
Aves ponedoras	3.813.245	52
Pavos	446.601	13
Bovinos de leche	21.835	43
Bovinos de carne	69.279	311

Fuente: Elaboración propia en base a (POCH, 2016)

Además, se requirió información de diversos componentes que constituyen la cadena de manejo, agrupados en:

- Instalación: generación de la excreta en el plantel o instalación donde se realiza la crianza animal.
- Manejo: tratamiento y/o almacenamiento del estiércol generado
- Aplicación: aplicación del estiércol crudo y/o tratado

A continuación, se resume el levantamiento de información por cada categoría animal.

Cerdos

Se categorizan según el estado de desarrollo en dos grandes divisiones:

- Reproductoras (madres)
- Crianza (cerdos desde los 21 días a los 180 días).

Las instalaciones en la RM tienen tres tipos de sistemas de evacuación de excretas:

- Sistema de piso ranurado con arrastre del purín con agua (Flush o Pit)
- Sistema de excreta seco (Camas calientes)
- Sistema de piso completo (piso de cemento)

El manejo o gestión del purín se realiza fuera de la instalación, y las alternativas implementadas en la RM son:

- Separación de sólidos
- Laguna anaerobia
- Biodigestor anaerobio
- Tratamiento aerobio
- Compostaje
- Acopio

Por último, la aplicación al suelo del purín puede ser directamente purín crudo líquido o en el caso de que exista manejo puede ser líquido y/o sólido. No se cuenta con información sobre el tipo de técnica utilizada para la aplicación del purín líquido o sólido. Esta puede ser aspersión, difusión, inyección u otra alternativa.

Aves

Se encuentran las siguientes categorías:

- Aves de carne (broiler reproductoras y broiler de engorda)
- Aves ponedoras
- Pavos

Las cadenas de manejo de estiércol son las presentadas a continuación:

Tabla 3-11 Cadenas de manejo de estiércol por categoría de ave

Categoría	Cadena de manejo
Engorda broiler	Cama y aplicación a terreno
Reproductoras broiler	Cama y aplicación a terreno
Pavos	Cama, almacenamiento y aplicación a terreno
Aves ponedoras	Extracción automática-aplicación directa
	Extracción automática-almacenamiento-aplicación
	Extracción manual-aplicación directa

Fuente: Elaboración propia en base a (POCH, 2016)

Bovinos

Se encuentran las siguientes categorías de bovinos:

- Bovinos lecheros: Terneras de 1 a 2 meses; Terneras de 3 a 6 meses; Vaquillas de 7 a 14 meses (pre-encaste y encaste); Vaquillas preñadas; Vacas en ordeña; Vacas en periodo seco.
- Bovinos de carne: Terneros-as; Novillos; Vaquillas; Vacas; Toros y Bueyes

Las instalaciones dependen de la categoría de bovino:

- Bovinos lecheros: corral de cemento o de tierra
- Bovinos de carne: manejo seco

Las cadenas de manejo de estiércol son las presentadas a continuación:

Tabla 3-12 Cadenas de manejo de estiércol por categoría de bovino

Categoría	Cadena de manejo
Bovinos lecheros	Corral de cemento manejo líquido (limpieza con agua)
	Corral de cemento manejo sólido (limpieza en seco)
	Corral de tierra
	Laguna
	Pozo purinero
	Almacenaje de guano
Bovinos de carne-crianza extensiva	Pastoreo
Bovinos de carne-crianza intensiva	Drylot, Almacenamiento del sólido y Aplicación en terreno

Fuente: Elaboración propia

Por último, respecto a la aplicación, el estiércol es aplicado al suelo: para las vacas lecheras puede ser en forma líquida o sólida, para los bovinos de carne es en forma sólida.

3.1.3.2 Fertilizantes

Para los fertilizantes se utilizó como base la metodología propuesta por “Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe”, Zbigniew Klimont (IIASA) and Corjan Brink (RIVM), 2004. En esta se presenta una ecuación para el cálculo de las emisiones de amoniaco.

Debido a una falta de información, las emisiones se calculan según las necesidades específicas de cada cultivo, su requerimiento de nitrógeno y el fertilizante utilizado. Se usaron las tasas de requerimiento para cada país.

Debido a que no existe un catastro de uso de fertilizantes, sólo información sobre la importación/exportación a nivel país, la cantidad de fertilizante utilizada se estimó a partir de la superficie por tipo de cultivo existente en la RM y sus requerimientos de fertilizantes nitrogenados.

Por lo tanto, se utilizó **información de ODEPA sobre los cultivos anuales** de la RM y **tasas de requerimiento de nutrientes** (nitrógeno, fosfato y potasio) por tipo de cultivo en Chile provenientes de la FAO.

3.1.3.3 Medidas de reducción de amoniaco evaluadas

Dentro de los resultados del estudio, también se encontró la evaluación de medidas de reducción de emisiones de amoniaco. Para esto, se evaluaron las mejores técnicas disponibles (MTDs) para la reducción de amoniaco a nivel internacional, se consideró el trabajo conjunto que ha realizado el Ministerio del Medio Ambiente con otras entidades públicas, así como visitas a terreno que ha realizado el Ministerio para recabar información sobre tecnologías y prácticas disponibles y los talleres realizados en el marco del estudio.

Una vez analizada la disponibilidad de información y aplicabilidad de cada medida, se definieron las medidas que efectivamente reducen amoniaco. Estas son:

Tabla 3-13 Medidas de reducción de emisiones de amoniaco evaluadas

Componente	Medida	Categorías
Instalación	Biofiltros en pabellones	Cerdos
	Cubierta de pozos + filtro de carbón activado	Cerdos y vacas lecheras
Manejo	Biodigestor + tratamiento aeróbico	Cerdos
	Biodigestor	Cerdos
	Sistema de tratamiento aeróbico	Cerdos

Fuente: Elaboración propia en base a (POCH, 2016)

3.1.4 Evaluación de la Gestión de la Calidad del Aire en la Región Metropolitana (Santiago Megacities Partnership, 2018)

El estudio se centra en la estimación de las concentraciones ambientales de material particulado fino (MP2,5). Además de estimar el MP2,5 emitido directamente, se consideraron las emisiones de contaminantes que contribuyen a la formación atmosférica de partículas finas: óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y amoníaco (NH_3). Para cada uno de estos contaminantes, se estimaron las emisiones del sector bajo dos escenarios diferentes para los años 1990 a 2020:

1. Un escenario factual que busca reflejar las condiciones observadas, incluyendo la implementación de las normativas ambientales del aire a partir de 1990;
2. Un escenario contrafactual que refleja condiciones hipotéticas asumiendo que no se han implementado normativas ambientales atmosféricas después de 1990, mientras que permite cambios en las emisiones debido a cambios en la actividad económica y en la población.

Se estimaron las emisiones según seis categorías principales de fuentes:

- Vehículos motorizados en ruta
- Motores/vehículos fuera de ruta
- Fuentes residenciales
- Fuentes industriales
- Incendios forestales
- Contribuciones regionales

3.1.4.1 Principales Emisores de NO_x

Las emisiones de NO_x del sector industrial se estimaron, modelando primero las emisiones de los 10 mayores emisores, estas fuentes contribuyeron al 35% de las emisiones de NO_x en 2005 aproximadamente. La siguiente tabla muestra las 10 fuentes modeladas.

Tabla 3-14 Principales emisores de NOx en la Región Metropolitana

Empresa	Industria	2005 Emisiones, Toneladas (% del total)
Cemento Polpaico S.A.	Fabricación de cemento	2.121 (17,2%)
Cristalerías de Chile S.A.	Fabricación de vidrio	1.048 (8,5%)
Papeles Cordillera S.A.	Fabricación de papel	352 (2,9%)
Cristalerías Toro S.A.I.C.	Fabricación de vidrio	228 (1,8%)
Gerdau Aza S.A.	Fabricación de acero	213 (1,7%)
Soprocá Calerías e Industrias S.A.	Producción de cales y carbonatos	179 (1,5%)
Molibdenos y Metales S.A.	Procesamiento de molibdeno	39 (0,7%)
Sociedad Industrial Romeral S.A.	Construcción	29 (0,2%)
Industrias Princesa LTDA	Fabricación de Ladrillos	26 (0,2%)
Papeles Industriales S.A.	Fabricación de papel	17 (0,1%)
10 emisores de NOx más grandes		4.252 (34,8%)

Fuente: Elaboración propia en base a (Santiago Megacities Partnership, 2018)

Para la identificación de estos grandes emisores, el estudio se basó en inventarios de emisiones, informes de emisiones específicos de la compañía y estándares de emisiones para la RM. Se asumió el cumplimiento de una norma de emisiones obligatoria que requiere reducción de las emisiones de NOx para los principales emisores (DS66 2009 MINSEGPRES, Artículo 69).

Para poder construir un escenario factual para cada uno, se interpolaron linealmente las emisiones específicas de cada fuente para los años sin: (a) inventarios de emisiones, (b) emisiones declaradas o (c) regulación específica para las emisiones.

Para el 65% restante, se utilizó una estimación agregada en el que se seleccionó un inventario de emisiones de un año base y luego, se calcularon las emisiones en función del crecimiento anual del PIB del sector industrial y de los factores de emisión de la base de datos de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire AP-42 de la USEPA22.

Para el inventario de emisiones base, se recurrió a la base de datos de emisiones de 2014 del Ministerio de Salud.

3.1.4.2 Principales Emisores de SO₂

Con un enfoque idéntico al de las emisiones de NOx, se estimaron las emisiones de SO₂. Partiendo por estimar las de los grandes emisores basándose en inventarios anteriores, las emisiones presentadas y las reducciones de emisiones exigidas. Centrándose, esta vez, en los seis principales emisores, de los que la mayoría proviene de una fuente única que procesa molibdeno. La siguiente tabla muestra las 8 fuentes modeladas.

Tabla 3-15 Principales emisores de SO₂ en la Región Metropolitana

Empresa	Industria	Emisiones de SO ₂ en 2005. Toneladas (% del total)
Molibdenos y Metales S.A.	Procesamiento de molibdeno	4.612 (36,0%)
Cristalerías de Chile S.A.	Fabricación de vidrio	801 (6,2%)
Cemento Polpaico S.A.	Fabricación de cemento	400 (3,1%)
Cristalerías Toro S.A.I.C.	Fabricación de vidrio	300 (2,3%)
Sopocal Calerías e Industrias S.A.	Producción de cales y carbonatos	179 (1,4%)
Industrias Princesa LTDA	Fabricación de Ladrillos	75 (0,6%)
8 emisores de SO₂ más grandes		6.367 (49,6%)

Fuente: Elaboración propia en base a (Santiago Megacities Partnership, 2018)

Se complementó la modelación de grandes emisores utilizando un enfoque agregado para modelar las emisiones de las fuentes más pequeñas restantes. En la base de datos de AP-42 reflejan en gran medida el contenido de azufre presente en el combustible, se supone que hay una relación directa con las emisiones de SO₂. Estas escalan linealmente con el contenido de azufre.

Por falta de una base de datos completa, se utilizaron las normas vigentes para combustibles como sustituto, para el Diésel, se ajustó gradualmente hasta llegar a 15 partes por millón en 2011. Por lo tanto, se escalaron las emisiones provenientes de las fuentes pequeñas de manera de seguir una relación 1 a 1 con la actividad industrial. El escenario contrafactual para el SO₂ asume que los estándares de azufre se mantienen en los niveles de 1990 hasta 2020.

3.1.4.3 Emisiones Industriales de Material Particulado Fino

“En Santiago, las emisiones industriales de material particulado fino provienen de fuentes difusas e imprecisas. Estas fuentes incluyen cabinas de pintura para autos, hornos de cocción y molinos de trigo de gran tamaño, entre una amplia variedad de fuentes. Es por esto que resulta inviable la modelación de emisiones directas de MP2,5 desde fuentes individuales en nuestro intervalo de 30 años.”

Se seleccionaron tres inventarios con estimaciones de emisiones de MP2,5 agregadas para el sector industrial, estos incluyen los años 1997 (CONAMA, 1997), 2005 (DICTUC 2007) y 2014 (USACH 2014). Para cada año abarcado por los inventarios de emisiones, se calculó la intensidad de las emisiones dividiendo las emisiones de MP2,5 por el PIB del sector industrial. Después, se evaluaron las tendencias sobre la base de tres criterios:

- Monótono: La intensidad de las emisiones debería experimentar un patrón estrictamente decreciente en el tiempo a medida que las regulaciones ambientales se tornan más estrictas.
- Estrictamente positivo: La tendencia seleccionada no debería producir estimaciones negativas sobre la intensidad de las emisiones.

- Pendiente más pronunciada a mediados de la década de 1990: La intensidad de las emisiones debería disminuir a un ritmo decreciente para reflejar las estrictas reducciones de emisiones impuestas a mediados de la década de 1990.

3.1.4.4 Contribuciones Regionales

Las fuentes regionales también contribuyen a las concentraciones ambientales de MP2,5 de Santiago. Barraza et al. (2017) estima las contribuciones regionales de las fundiciones de cobre y fuentes costeras de 1998 a 2012 en un análisis de distribución de fuentes de datos de los filtros.

De 1990 a 1998 mantenemos constante la contribución a las concentraciones ambientales de las fundiciones de cobre al nivel de 1998; de manera similar, mantenemos estas contribuciones constantes al nivel de 2012 para el período comprendido entre 2012 y 2020.

3.2 Bases de Datos usadas

3.2.1 BD para cumplir el DS138

Base de datos enviada por la contraparte técnica donde vienen consumos de combustible de fuentes de combustión y niveles de actividad de fuentes de procesos. Los campos más importantes se describen más adelante en la Tabla 4-1 y en la Tabla 4-2, respectivamente. Corresponden al año 2022 y a la RM.

Se complementa esta información con las bases de datos para cumplir con el DS138 de los años 2019 y 2020 obtenida de realizados anteriormente. Utilizada para comparar consumo de combustibles con la base de datos entregada.

3.2.1 SISAT

Base de datos con información sobre las fuentes con sistemas de abatimiento y su porcentaje de reducción por contaminante.

3.2.2 RUEA

Base de datos con emisiones de distintos contaminantes para fuentes de combustión para el año 2021 y 2022. Se utilizan de complemento para las emisiones de grandes establecimientos.

3.2.1 Reporte CONAF 2022

Información sobre número de hectáreas quemadas, facilitada por la contraparte mediante el documento “REPORTE SOBRE INSPECCIONES REALIZADAS DURANTE EL PERÍODO DE VIGENCIA DE LA GESTIÓN DE EPISODIOS CRÍTICOS (GEC) AÑO 2022”.

3.3 Resumen de datos usados y sus fuentes

A partir de la revisión de antecedentes se identifican las diferentes categorías de emisiones que serán incluidas en el inventario. La información para utilizar para la estimación del inventario de cada una se presenta en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16 Fuente de información para estimación de emisiones por categoría del inventario

Rubro	Categoría	Datos	Fuente de información
Industria	Fuentes de Combustión y Fuentes de Procesos	Niveles de actividad	DS138 SISAT
		Factores de emisión	Guía RETC
		Sistemas de abatimiento	SISAT
Agroindustria	Quemas agrícolas	Niveles de actividad	CONAF 2022
		Factores de emisión	Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (MMA, 2017)
	Crianza animal	Niveles de actividad	Censo Agropecuario (SAG, 2021)
		Factores de emisión	Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (MMA, 2017)
	Fertilizantes	Niveles de actividad	ODEPA, 2023
		Factores de emisión	Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (MMA, 2017)
	Pesticidas	Niveles de actividad	Declaración de venta de plaguicidas de uso agrícola año 2019 (SAG, 2019)
		Factores de emisión	Ch.9.2.2 - AP42 (EPA, 1994)

Fuente: Elaboración propia

Debido al nivel de complejidad de la información contenida en el DS138, enviada por la contraparte técnica, fue necesario realizar un análisis de esta información y ciertos chequeos y correcciones para luego poder estimar el inventario. El detalle de este ejercicio se presenta en la siguiente sección.

4. Revisión y corrección de los datos requeridos por el DS138 2022

La información del DS138 enviada por la contraparte, contiene los datos de consumo de combustible para de fuentes de combustión y nivel de actividad para fuentes de procesos para el año 2022. Las fuentes de combustión corresponden a 10.858 fuentes con combustible primario y secundario, mientras que las de procesos corresponden a 161 fuentes. Los campos más importantes se describen en la Tabla 4-1 y en la Tabla 4-2, respectivamente.

Para un mejor manejo de la información, se pivota la base de datos por tipo de combustible y número de combustible¹, dejando una sola columna denominada “Combustible 2022” donde se identifican tanto los combustibles primarios como secundarios, y una segunda columna denominada “N combustible”, donde se identifica si el combustible indicado en la columna “Combustible 2022” corresponde a primario o secundario. Esta acción deja un total de 11.100 fuentes de combustión a analizar.

¹ Número de combustible hace referencia a si el combustible es primario o secundario

Tabla 4-1 Campos relevantes de fuentes de combustión, base de datos DS138

Campo	Nombre original campo	Descripción
Establecimiento	ESTABLECIMIENTO	Establecimiento de la fuente
Código Establecimiento	RETC	Código único por establecimiento
Tipo de fuente	FUENTE	Equipo que es la fuente
Código de fuente	CODIGO FUENTE	Código único por fuente
Combustible primario	COMB PRIMARIO	Combustible principal
Potencia Nominal primario	Potencia Nominal (MW)	Potencia máxima demandada de combustible primario
Consumo Nominal primario	Consumo Nominal	Consumo en uso normal de combustible primario
Unidad consumo nominal primario	Unidad Consumo Nominal	Unidad de medida del consumo en uso normal del combustible primario
CCF8 primario	CCF8 PRIM	Código de clasificación de fuentes de 8 dígitos de combustible primario
Consumo primario anual	CONSUMO COMB1	Consumo anual de combustible primario
Unidad consumo primario	UNIDAD PRIMARIO	Unidad de consumo de combustible primario
Combustible secundario	COMB SEC	Combustible complementario
Potencia Nominal secundario	Potencia nominal Sec	Potencia máxima demandada de combustible secundario
Consumo Nominal secundario	Consumo nominal comb Secundario	Consumo en uso normal de combustible secundario
Unidad consumo secundario	Unidad consumo nominal comb secundario	Unidad de medida del consumo en uso normal del combustible secundario
CCF8 secundario	CCF8 SEC	Código de clasificación de fuentes de 8 dígitos de combustible secundario
Consumo secundario anual	CONSUMO COMB2	Consumo anual de combustible secundario
Unidad consumo secundario	UNIDAD SEC	Unidad de consumo de combustible secundario

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-2 Campos relevantes de fuentes de procesos, base de datos DS138

Campo	Nombre original campo	Descripción
Establecimiento	ESTABLECIMIENTO	Establecimiento de la fuente
Código Establecimiento	RETC	Código único por establecimiento
Tipo de fuente	FUENTE	Equipo que es la fuente
Código de fuente	CODIGO FUENTE	Código único por fuente
Actividad	Actividad	Actividad relacionada con el proceso
CCF8	CCF8 PRIM	Código de clasificación de fuentes de 8 dígitos del proceso
Nivel de actividad mensual	Se presenta un campo por mes (desde "jan" a "dic")	Nivel de actividad mensual que procesa el equipo

En la base de datos no se indica la unidad de medida del nivel de actividad de las fuentes, sin embargo, la contraparte técnica confirma que está en toneladas.

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes secciones se presenta el análisis realizado para obtener los datos a utilizar en el cálculo de las emisiones.

4.1 Clasificación de Fuentes

4.1.1 Segundo sector

Se clasifican las 11.100 fuentes de combustión según si pertenecen a la industria o no. Esta clasificación se realiza mediante el rubro al que está dirigido la empresa de cada establecimiento y se tiene que 2.737 fuentes son industriales y que 8.363 fuentes no. En la Tabla 4-3, se muestra esta clasificación con el número de fuentes que pertenece a cada rubro. Se consideró como industriales a 14 fuentes sin información del rubro. Por último, cabe destacar que todas las fuentes de procesos se clasifican como industriales.

Tabla 4-3 Identificación de fuentes industriales en la base de datos del DS138

Industria	Categoría	Rubro	Número de fuentes	Número de establecimientos	Número de grandes establecimientos
Industria	Industria	Comercio	1	1	1
		Captación, tratamiento y distribución de agua	245	162	1
		Gestores de residuos	34	13	2
		Industria de la madera y silvicultura	8	4	
		Industria del papel y celulosa	83	28	5
		Industria química, de plástico y caucho	274	96	10
		Minería	120	18	2
		Otras centrales de generación eléctrica	120	24	
		Otras industrias manufactureras	1.600	444	39
		Pesca y acuicultura	2	1	
		Plantas de tratamiento de aguas servidas	75	45	
		Producción agropecuaria	156	70	
		Producción de cemento, cal y yeso	7	4	3
		Refinería de petróleo	12	5	
		Termoeléctricas	9	1	1
	Otras Actividades	Otras Actividades	28	6	6
	Total		2.774	922	
No Industria	Comercio	Comercio mayorista	566	87	
		Comercio minorista	1.206	553	
		Ventas y mantención de vehículos automotores	50	35	
	Construcción	Construcción	189	39	
	Otras Actividades	Otras actividades	6.308	2010	
		Otras industrias manufactureras	7	4	
	Total		8.326	2.734	
Total			11.100	3.650	70

* Se considera solamente una fuente de este rubro ya que pertenece a un gran establecimiento de acuerdo a la identificación de grandes establecimientos indicada por la contraparte técnica (ver Sección 4.1.2).

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Identificación de grandes establecimientos

De acuerdo a la definición del artículo 57 del D.S. N°31/2016 del MMA, se entienden como grandes establecimientos a la “agrupación de establecimientos industriales emplazados en la zona sujeta al Plan, bajo la propiedad de un mismo titular y/o que están próximas entre sí y que por razones técnicas están bajo control operacional único o coordinado, que al sumar las emisiones por contaminante de todas sus fuentes estacionarias, superan uno o más de los valores establecidos a continuación” (MMA, 2016):

Tabla 4-4 Emisiones que definen a los grandes establecimientos

MP [t/año]	NOx [t/año]	SO ₂ [t/año]
2,5	40	10

Fuente: D.S. N°31/2016 del MMA (MMA, 2016)

El MMA el 14 de junio de 2023 publicó la actualización del listado de grandes establecimientos de la RM, elaborada en base a información proporcionada por la SMA, presentada en la Tabla 4-5.

Por otra parte, cabe destacar que la lista de grandes establecimientos contiene empresas, las que se identifican en la base de datos de consumo de fuentes de combustible y de fuentes de procesos a partir del RUT. Como resultado, solamente se identifican 51 de las 62 empresas clasificadas como grandes establecimientos en la base de datos del DS138. Para obtener información de los establecimientos faltantes y tener las emisiones de esta clasificación lo más completa posible, se complementa con información de las emisiones desde el RUEA del año 2022 y 2021, además de la compilación de las empresas que faltaban con información del SNIFA del año 2021, que solo cuenta con reportes de emisiones de MP².

Luego de esta revisión, hay 3 empresas que quedan sin información. En la Tabla 4-5 se puede observar de donde se obtuvo la información por empresa y en la Tabla 4-6 se observa la cantidad de empresas obtenida de cada fuente de información anteriormente señalada.

Tabla 4-5 Listado de grandes establecimientos de la RM

Nº	Rut	Empresa	Fuente de información
1	93.926.000-5	ACEROS CHILE S.A.	DS138
2	76.350.871-4	AISLANTES NACIONALES S.A.	DS138
3	96.848.750-7	AISLANTES VOLCAN S.A.	DS138
4	80.893.200-8	ARRIGONI METALURGICA S.A.	SNIFA 2021
5	81.198.400-0	AUTOMOTORA INALCO S.A.	SNIFA 2021
6	78.425.850-5	BALL CHILE S.A.	DS138
7	96.529.310-8	C.M.P.C. TISSUE S.A.	DS138
8	91.337.000-7	CEMENTO POLPAICO S.A.	DS138
9	92.117.000-9	CHAMPION S.A.	DS138
10	93.658.000-9	CHILENA DE MOLDEADOS S.A.	SNIFA 2021
11	90.209.000-2	CIA. IND. EL VOLCAN S.A.	DS138
12	90.060.000-3	CIA. MOLINERA SAN CRISTOBAL S.A.	DS138
13	96.828.810-5	CONSORCIO SANTA MARTA S.A.	DS138
14	53.110.730-6	COSSBO	DS138

² Cabe destacar que se dio prioridad a la información procedente del RUEA 2022, luego del RUEA 2021 y finalmente se buscó información en el SNIFA.

Nº	Rut	Empresa	Fuente de información
15	90.331.000-6	CRISTALERIAS DE CHILE S.A.	DS138
16	93.372.000-4	CRISTALERIAS TORO SPA	DS138
17	76.163.495-K	CTI S.A.	DS138
18	96.694.680-6	DIANA FOOD SPA.	RUEA 2022
19	82.225.800-K	ELABORADORA DE ENVASES S.A.	DS138
20	96.591.040-9	EMPRESAS CAROZZI S.A.	DS138
21	85.145.500-0	ENERGIAS INDUSTRIALES S.A.	DS138
22	76.902.190-6	ESCO ELECMETAL FUNDICION LTDA.	DS138
23	94.528.000-K	EVERCRISP SNACK PROD. DE CHILE S.A.	DS138
24	96.888.220-1	EXTRUDER S.A.	DS138
25	78.295.070-3	FASTPACK S.A.	DS138
26	81.318.200-9	FUNDICION VULCO LTDA.	DS138
27	76.538.731-0	GENERADORA METROPOLITANA SPA.	DS138
28	92.176.000-0	GERDAU AZA S.A.	DS138
29	93.770.000-8	GOODYEAR DE CHILE S.A.I.C.	DS138
30	93.275.000-7	IND. DE BALATAS SPA.	DS138
31	96.947.600-2	INDS. PROFAL S.A.	Sin Información
32	91.666.000-6	INDUSTRIAS CERESITA S.A.	DS138
33	96.888.460-3	KIMBERLY CLARK CHILE S.A.	DS138
34	89.862.200-2	LATAM AIRLINES GROUP S.A.	RUEA 2022
35	96.595.900-9	LICAN ALIMENTOS S.A.	DS138
36	76.412.854-0	LUCCHETTI CHILE S.A.	DS138
37	78.803.130-0	MAGOTEAUX S.A.	DS138
38	91.942.000-6	MALTEXCO S.A.	DS138
39	76.107.437-7	EFEMM FERTILIZANTES SPA	Sin Información
40	91.881.000-5	MANUF. METALURGICA RHEEM CHILENA S.A.	SNIFA 2021
41	76.107.905-0	MOLYMETNOS	DS138
42	91.617.000-9	MOLINERA FERRER HNOS. S.A.	SNIFA 2021
43	90.703.000-8	NESTLE CHILE S.A.	DS138
44	96.853.150-6	PAPELES CORDILLERA S.A.	DS138
45	79.749.790-8	PROC. Y EXTRUSORA DE ALIMENTOS LTDA.	Sin Información
46	87.001.500-3	QUIMETAL INDUSTRIAL S.A.	DS138
47	79.553.940-9	REFRACTARIOS IUNGE LTDA.	DS138
48	94.282.000-3	SCA S.A.	DS138
49	89.091.900-6	SCHAFFNER S.A.	DS138
50	80.914.400-3	SGS CHILE S.A.	DS138
51	96.801.810-8	SGS MINERALS S.A.	DS138
52	76.040.171-4	SK BERGE LOGISTICA SPA.	DS138

Nº	Rut	Empresa	Fuente de información
53	96.573.780-4	SOC. IND. PIZARREÑO S.A.	DS138
54	86.113.000-2	SOC. IND. ROMERAL S.A.	DS138
55	88.438.300-5	SOC. MINERA PETREOS QUILIN LTDA.	DS138
56	92.108.000-K	SOPROCAL CALERIAS E INDS. S.A.	RUEA 2021
57	76.101.812-4	SOPROLE S.A.	DS138
58	76.590.720-9	TUBEXA INDUSTRIAL LTDA.	DS138
59	92.091.000-9	UNILEVER CHILE SCC LTDA.	DS138
60	91.619.000-K	VULCO S.A.	DS138
61	84.356.800-9	WATT'S S.A.	DS138
62	76.084.154-4	CEMENTOS BICENTENARIO S.A.	DS138

Fuente: (MMA, 2023)

Tabla 4-6 Número de grandes establecimientos por fuente de información

Referencia	Número de empresas
DS138	51
RUEA 2021	1
RUEA 2022	2
SNIFA 2021	5
Sin información	3
Total	62

Fuente: Elaboración propia

De la base de datos del DS138 se tiene que, de las fuentes de combustión, 398 corresponden a grandes establecimientos, mientras que de las fuentes de procesos 74 corresponden a esta clasificación. Se puede observar esta comparación en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7 Número de fuentes que pertenecen a grandes establecimientos

Gran establecimiento	Fuentes de Combustión	Fuentes de Procesos
No	10.702	87
Sí	398	74
Total	11.100	161

Fuente: Elaboración propia

4.2 Chequeos de consistencia de datos

4.2.1 Chequeo de fuentes repetidas

Para el análisis de unicidad se utilizó el Código de Fuente, único para cada una. Para las fuentes de combustión hay que tener en cuenta el combustible primario y secundario, mientras que para las fuentes de procesos hay que tener en cuenta la actividad del proceso. Se obtiene que para las fuentes de combustión existen 99 fuentes repetidas de las 11.100, mientras que en las fuentes de procesos no hay fuentes que se repiten. Esto se puede observar en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8 Número de fuentes repetidas

Clasificación	Fuentes de Combustión	Fuentes de Procesos
Fuentes repetidas	99	0
Fuentes únicas	11.001	161
Total	11.100	161

Fuente: Elaboración propia

Las fuentes de combustión repetidas se analizan comparando cada una de ellas. Para las que contenían los mismos datos, se dejó una solamente, mientras que para las que contenían campos con diferentes datos, se eligió según la completitud de ellos y según consistencias de las especificaciones del equipo. En la Tabla 4-9 se muestra el resultado de este análisis y en el Anexo 10.1 se encuentra el detalle de fuente eliminada y su consumo de combustible en MJ/año.

Tabla 4-9 Número de fuentes eliminadas

Eliminada por duplicidad	Fuentes de combustión	Fuentes de Procesos
Sí	49	0
No	11.051	161
Total	11.100	161

Fuente: Elaboración propia

La eliminación de las fuentes duplicadas no afecta a la cantidad de fuentes de los grandes establecimientos, pero sí a la cantidad de fuentes industriales. Se muestra en la siguiente tabla la cantidad de fuentes de cada clasificación con las fuentes eliminadas por duplicidad.

Tabla 4-10 Número de fuentes por cada clasificación final

Clasificación	Fuentes de combustión	Fuentes de procesos
Industria	2.737	161
Grandes establecimientos	398	74

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, después de este chequeo se considera un total de 11.051 fuentes.

4.2.2 Chequeo de CCF8

El Código de clasificación de 8 dígitos (CCF8) corresponde a un número que identifica todas las características de las fuentes, tales como si la fuente es de combustión interna, externa o de proceso, el combustible que utiliza o el proceso que realiza. Es esencial para relacionar con el factor de emisión correspondiente al momento de obtener las emisiones.

Este código consta de 4 niveles de información relacionado directamente con cada dígito, como se muestra en la Tabla 4-11. De los datos analizados se tiene 3 tipos de nivel 1 y se muestra su significado en la Tabla 4-12 junto con las alternativas que hay de nivel 2. En general, el nivel 3 hace referencia al tipo de combustible utilizado por la fuente, mientras que el nivel 4 entrega

mayor detalle, tal como especificaciones sobre el tipo de combustible (por ejemplo, si el gas licuado de petróleo utilizado corresponde a gas butano o propano) y rangos de potencia. Comprender este código fue de utilidad para asignar CCF8 entregados en blanco y corregir los que no eran consistentes, por ejemplo, con el combustible utilizado.

Tabla 4-11 Niveles del CCF8

Nivel CCF8	Dígito (s)
Nivel 1	X-XX-XX-XX
Nivel 2	X-XX-XX-XX
Nivel 3	X-XX- <u>XX</u> -XX
Nivel 4	X-XX-XX- <u>XX</u>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-12 Significado de los primeros 2 niveles del CCF8

Dígito nivel 1	Nivel 1	Dígitos nivel 2	Nivel 2
1	Calderas de combustión externa	101	Generación eléctrica
		102	Industrial
		103	Comercial/Institucional
2	Motores de combustión interna	201	Generación eléctrica
		202	Industrial
		203	Comercial/Institucional
		204	Prueba de motor
3	Procesos Industriales	301	Fabricación química
		302	Alimentos y agricultura
		303	Producción de metales primarios
		304	Producción de metales secundarios
		305	Producción mineral
		306	Industria petrolera
		307	Pulpa, papel y productos de madera
		308	Productos de caucho y plásticos diversos
		309	Productos metálicos fabricados
		310	Producción de petróleo y gas
		390	Uso de combustibles en procesos

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan la cantidad de CFF8 asignados y corregidos en la Tabla 4-13 y el detalle de cada corrección en el Anexos 10.2. En total se asignó un CCF8 a 36 fuentes que en un principio se encontraban en blanco y se modificó CCF8 de 45 fuentes, casi todos por tipo de combustible.

Tabla 4-13 Número de CCF8 corregidos

Tipo de corrección	Cantidad de fuentes
Se asigna	36
Por combustible	44
Por tipo de fuente	1
Total	81

Fuente: Elaboración propia

4.3 Chequeos de valores de fuentes individuales

4.3.1 Fuentes con Consumo nulo

De las 10.858 fuentes de combustión, todas registran combustible primario y 242 fuentes registran adicionalmente uso de combustible secundario. Sin embargo, algunas no registran consumo de combustible, por lo que 9.908 fuentes consumen realmente combustible primario y 81 consumen combustible secundario (6 de ellas consumen sólo combustible secundario). Lo anterior se resume en la siguiente tabla.

Tabla 4-14 Resumen de número de fuentes por número de combustible consumido

Combustible	Número de fuentes	Número de fuentes con consumo diferente a cero
Primario	10.809	9.955
Secundario	242	81

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Chequeo de eficiencia implícita

De las fuentes de combustión, se obtiene la eficiencia implícita compuesta por el consumo nominal y la potencia nominal como se muestra en la Ecuación 3. Para este cálculo se normaliza el consumo y la potencia en energía (MWh), considerando que el consumo nominal se presenta en distintas unidades de medidas y que la potencia se presenta en MW. Para la normalización se utiliza el Poder Calorífico (PC) de cada de combustible, cuyos valores se presentan en el Anexo 10.3.

Ecuación 3 Ecuación eficiencia implícita

$$Eficiencia_{implícita} = \frac{Potencia\ nominal\ (MWh)}{Consumo\ nominal\ (MWh)}$$

El resultado de esta fracción debiese ser un número entre 0 y 1, ya que la energía que sale no puede ser superior a la que entra. Es por esto que en los casos en que la eficiencia es mayor a 1, se considera como *outlier*, es decir, como valor fuera de rango. A continuación, se presenta en la Tabla 4-15 la cantidad de fuentes de combustión que quedan como *outlier* por eficiencia, considerando los chequeos las fuentes repetidas y las fuentes pertenecientes a la Industria.

Tabla 4-15 Cantidad de fuentes de combustión outliers por eficiencia implícita

Outlier por eficiencia	Fuentes de combustión
No es outlier	1.861
Sí es outlier	871
Total	2.732

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que no todas las fuentes de combustión tenían el dato de potencia nominal y/o de consumo nominal. Estas fuentes sin información no se consideraron como *outlier*.

4.3.3 Chequeo de factor de planta

Para las fuentes de combustión, se obtiene el factor de planta (FP) que consiste en consumo anual de combustible en energía de cada fuente dividido por la energía máxima anual, que se puede obtener por medio del consumo nominal y por medio de la potencia nominal. Este factor debiese ser un número entre 0 y 1 ya que la energía del consumo anual no debiese sobrepasar la energía máxima posible. En la Ecuación 4 se observa las unidades en que se utilizó la energía y el coeficiente de conversión de unidades. Para obtener el consumo en energía se utilizó el Poder Calorífico (PC) correspondiente a cada tipo de combustible, presentes en el Anexo 10.3.

Ecuación 4 Ecuación factor de planta

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{Energía del consumo } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right)}{\text{Energía máxima anual } \left(\frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right)} * \frac{1 \text{ (MWh)}}{3.600 \text{ (MJ)}}$$

La energía máxima se obtiene de los dos métodos posibles: desde el consumo nominal y desde la potencia nominal y se considera fuera de rango (*outlier*) si es que cualquier de los dos resultados es mayor a 1. Se muestra en la Tabla 4-16 cantidad de *outliers* totales por el factor de planta, considerando los chequeos de fuentes repetidas y fuentes pertenecientes a la industria. Las fuentes de combustión que no tienen potencia o consumo nominal no se consideran como *outlier*.

Tabla 4-16 Número de fuentes de combustión segun factor de planta correcto

Outlier por FP	Fuentes de combustión	Consumo de combustible (MJ/año)
No es outlier	2.711	15.491.159.528
Sí es outlier	44	41.895.444.514
Total	2.732	57.386.604.042

Fuente: Elaboración propia

Se observa que un 73% del consumo de combustible expresado en MJ/año pertenece a fuentes *outliers*. Dado el gran porcentaje que representan los *outliers* del consumo total, se considera importante realizar una corrección del consumo de combustible de estos. Esta corrección se presenta en la siguiente sección (Sección 4.3.4).

4.3.4 Corrección con consumos de años anteriores y factor de planta de consumo de combustible promedio por tipo de fuente

Dado que se contó con la información de niveles de actividad de consumo de combustible de las fuentes para los años 2019 y 2020 a partir de reportes del DS138 anteriores, se decide hacer un ajuste para las fuentes cuyo factor de planta asociado al consumo de combustible es mayor que uno.

Se utiliza el factor de planta de combustible dado que hay una mayor disponibilidad de información sobre consumo nominal que de potencia nominal. Como se puede observar en la Tabla 4-17, sólo 4.744 fuentes (42,93% del total de 11.051 fuentes) cuentan con información de potencia nominal, mientras que 11.035 fuentes (99,86% del total) tienen información de consumo nominal.

Tabla 4-17 Disponibilidad de información de potencia nominal y consumo nominal

Clasificación	Número de fuentes con información de potencia nominal	Número de fuentes con información de consumo nominal
Industriales	1.054	2.721
No industriales	3.690	8.314
Total	4.744	11.035

Fuente: Elaboración propia

La corrección se realizó para las fuentes con factor de planta de consumo de combustible mayor a 1 (ver diagrama de la Figura 4-1). Para esos casos, se evaluó si de acuerdo al reporte del DS138 del año 2020 la fuente consumía el mismo tipo de combustible y si su factor de planta era menor a 1. En ese caso, se corrigió el consumo de combustible de la fuente con el consumo que tuvo el año 2020. En caso contrario, se realizó la misma evaluación, pero con la información del año 2019. Finalmente, en caso de no cumplir con ninguno de los criterios anteriores, se ajustó el consumo de la fuente para que su factor de planta fuese equivalente al factor de planta promedio por tipo de fuente de acuerdo a la Ecuación 5.

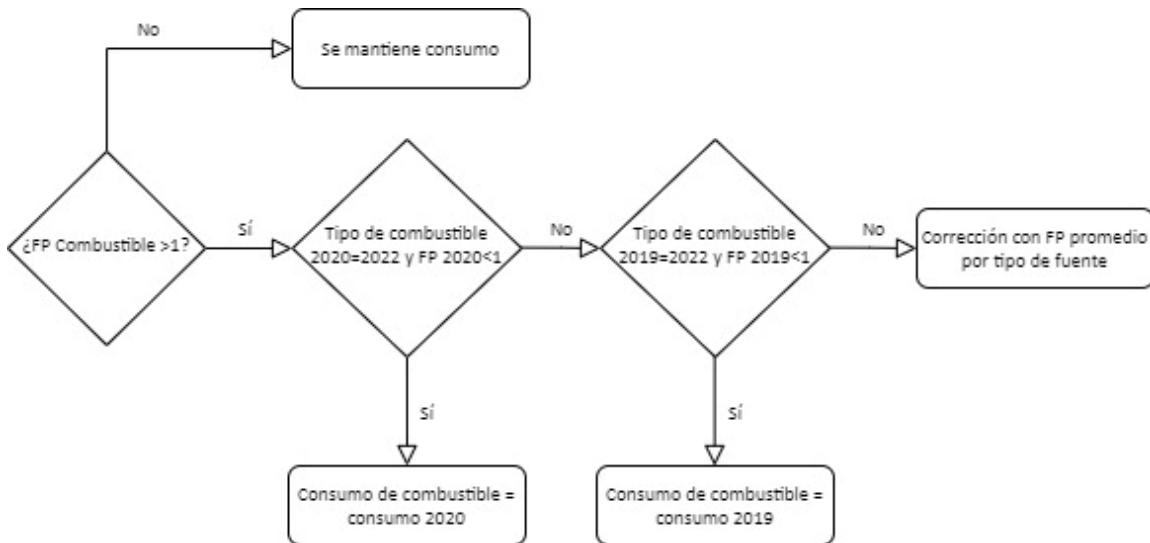


Figura 4-1 Diagrama de flujo de la corrección de consumo de combustible

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 5 Corrección del consumo de combustible

$$\text{Consumo corregido} = \frac{\text{FP promedio según tipo de fuente}}{\text{FP de la fuente}} * \text{Consumo de combustible}$$

El factor de planta promedio fue calculado para cada tipo de fuente utilizando los valores de factor de planta menores a uno y diferentes a 0 de las fuentes industriales considerando la información de los años 2019, 2020 y 2022. Estos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-18 Factor de planta de uso de combustible promedio por tipo de fuente

Tipo de Fuente	Promedio de FP (combustible)	Número de fuentes
Caldera Agua Caliente	0,29	500
Caldera de Fluido Térmico	0,26	96
Caldera de Generación Eléctrica	0,33	3
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	0,22	754
Calentador	0,06	1
Chimenea	0,48	1
Grupo Electrógeno	0,02	3.206
Horno	0,35	48
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	0,03	2
Horno Calcinadores	0,37	14
Horno de Cocción	0,70	2
Horno de Fusión	0,60	20
Horno de Panadería	0,29	595
Horno de Tostación	0,11	10
Horno Palanquillas	0,25	3
Horno Rotatorio	0,46	13
Horno Rotatorio Secador	0,22	18
Horno Secador	0,06	32
Marmita de Calcinación	0,36	7
Motor Generación Eléctrica	0,27	19
Secador	0,45	3
Turbina de Gas	0,43	8
Grand Total	0,12	5.355

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que el único horno de refino que hay tiene un factor de planta igual a 11, tiene factor de planta igual a 1,52 para el año 2020 y no reporta consumo para el año 2019. Dado que no tiene un factor promedio, se ajusta el consumo para que su factor de planta sea igual a 1. De esta forma, su consumo de combustible disminuye de 12,4 millones de MJ/año a 1,1 millones de MJ/año.

Como resultado de esta corrección, el número de *outliers* disminuye de 44 a 26 (los *outliers* que quedan son únicamente porque el FP de potencia es mayor a uno, ya que todos los FP de combustible fueron corregidos). En la Tabla 4-16 se presenta el consumo de combustible asociado a los *outliers*, y se observa que hay una disminución importante de la participación del consumo de combustible de los *outliers* respecto al total. Ahora, el consumo de los *outliers* representa un 0,9% del total de combustible consumido expresado en MJ/año. Esto tiene sentido dado que las 26 fuentes *outliers* corresponden a un 0,95% del total de fuentes industriales.

Tabla 4-19 Cantidad de fuentes de combustión *outliers* por FP luego de corrección

Outlier por FP	Fuentes de combustión	Consumo de combustible (MJ/año)
No es outlier	2.706	15.755.591.738
Sí es outlier	26	139.890.584
Total	2.732	15.895.482.322

Fuente: Elaboración propia

4.4 Chequeo de Inventario de fuentes de combustión

4.4.1 Comparación con datos de pago de impuesto verde

El impuesto verde, para las fuentes de combustión, consiste en un impuesto que se aplica a las empresas con emisiones de CO₂ superiores 12.500 ton/año según la Resolución Exenta N° 1628 del 30 de diciembre del 2022, “Fija listado de establecimientos que se encuentran en la obligación de reportar de acuerdo al inciso primero del artículo 8° de la ley N° 20.780 y de las comunas que han sido declaradas como saturadas o latentes para efectos del impuesto establecido en esta ley”.

El listado de establecimientos pertenecientes a la RM que deben pagar impuesto verde se observa en la Tabla 4-20 y corresponden a 12.

Tabla 4-20 Establecimientos que pagan impuesto verde el 2023

Empresa	Establecimiento	Código VU
CRISTALERIAS TORO SPA	CRISTALERIAS TORO SPA	1967
FUNDINOX CHILE SA	FUNDINOX CHILE SA	2298
CRISTALERIAS DE CHILE SA	CRISTALERIAS DE CHILE SA	2372
CERAMICA SANTIAGO SA	CERAMINCA SANTIAGO	2583
PAPELES CORDILLERA SPA	PAPELES CORDILLERA SA	2897
ACEROS AZA SA	PLANTA COLINA	4989
GENERADORA METROPOLITANA SPA	RENCA NUEVA RENCA	9778
CMPC TISSUE SA	PLANTA TISSUE TALAGANTE	9898
CERVECERA CCU CHILE LIMITADA	CERVECERA CCU CHILE LTDA (2)	11626
SOC INDUSTRIAL ROMERAL SA	SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL SA PLANTA SANTA ROSA	1963168
CEMENTOS POLPAICO SA	PLANTA CERRO BLANCO TIL-TIL	5403042
SOPROLE SA	SOPROLE	5452311

Fuente: Modificado de Resolución Exenta N° 1628 (2022)

Las emisiones de CO₂ dependen del consumo de combustible y del contenido de C del combustible, independiente del tipo de fuente. Los FE se muestran en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21 FE de CO2 por combustible (g/MJ)

Combustible	FE
Biomasa	84
Bencina	69
Biogás	56
Aserrín	84
Bencina	63
Biogás	95
Biomasa Combustible	96
Butano	56
Coke de Petróleo (Petcoke)	56
Combustible Sólido Alternativo	56
Gas de Cañería	74
Gas Licuado de Petróleo	84
Gas Natural	74
Kerosene	77
Leña	63

Fuente: Guía RETC

A continuación, en la Tabla 4-22, se presentan las emisiones de los establecimientos que superan los 12.500 ton de CO2 al año. Y en la Tabla 4-23 se presenta el número de *outliers* con el consumo de cada clasificación.

Tabla 4-22 Establecimientos que superan los 12.500 ton/año de CO2

Establecimiento	Emisión CO2
ACONCAGUA FOODS S.A	16.870
AEROPUERTO INTERNACIONAL AMB	16.376
CERVECERA CCU CHILE LTDA. (2)	13.149
comunidad edificio martin de zamora	13.831
Comunidad Edificio smart vicuña	15.534
CRISTALERIAS DE CHILE S A	52.107
CRISTALERIAS TORO SPA	17.372
EDIFICIO PLAZA MANQUEHUE III	279.784
GOODYEAR DE CHILE S.A.I.C. (2)	13.450
OFICINA CENTRAL	53.905
PAPELES CORDILLERA S.A.	73.757
PLANTA CERRO BLANCO - TIL TIL	188.537
PLANTA COLINA	18.771
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS LA FARFANA	15.443
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS MAPOCHO TREBAL	55.949
PLANTA SOFTYS TALAGANTE	58.214
PROMAIZ	44.517
RELLENO SANITARIO SANTA MARTA	53.989
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A., PLANTA SANTA ROSA	13.225
SOPROLE	15.433
Total	1.030.211

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-23 Número de outliers por emisiones de CO₂

Outlier por CO ₂ corregido	Número de fuentes	Consumo
Np es outlier	2.671	338.176
Sí es outlier	74	100.580
	2.745	438.755

Fuente: Elaboración propia

5. Metodología para calcular los inventarios para el Sector Industrial y Agroindustrial de la Región Metropolitana

5.1 Metodología general para la estimación de emisiones

La metodología a ser utilizada para el cálculo de las estimaciones de las emisiones de las fuentes previamente identificadas y localizadas dentro de la Región Metropolitana de Santiago corresponde a la metodología de cálculo recomendada en el "Manual para desarrollo de inventarios" (GreenLabUC, 2016; MMA, 2017). La ecuación general para la estimación de emisiones es:

Ecuación 6 Ecuación general estimación emisiones

$$\text{Emisiones} = NA \cdot FE \cdot \left(1 - \frac{Ea}{100}\right)$$

Donde:

- *NA*: Nivel de actividad
- *FE*: Factor de emisión³
- *Ea*: Eficiencia de abatimiento [%]

Se considerará para la estimación del inventario, la información contenida en las plataformas SISAT, Sistema de Impuesto Verde y RETC, donde Grandes Establecimientos de la Región Metropolitana y diferentes fuentes deben reportar información de muestreo y/o mediciones isocinéticas de contaminantes regulados, y donde se encuentran estimaciones de emisiones de fuentes puntuales, difusas y en ruta. Específicamente, se utilizarán estos antecedentes para obtener los valores de **nivel de actividad**.

Así mismo, se considerarán **los factores de emisión** propuestos en las siguientes guías:

- "Guía Metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales" (MMA, 2019), para la estimación de las emisiones de fuentes puntuales.
- "Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas" (MMA, 2017), para la estimación de las emisiones de fuentes en ruta. Si bien también se presentan metodologías y factores de emisión para la estimación de fuentes puntuales, la guía anterior, específica para la estimación de fuentes puntuales, es más exhaustiva y está actualizada.
- "Guía para la estimación de emisiones de amoniaco en Sector Agroindustrial" (GreenLab-Dictuc, 2021), para la estimación de emisiones de fuentes del sector agroindustrial.

De estos antecedentes, la principal referencia utilizada para los factores de emisión, citada en ambos documentos, es el AP-42 de la US-EPA (US-EPA, n.d.), compilación de factores de emisión

³ En esta ecuación se incluye dentro del factor de emisión cualquier tecnología de abatimiento incorporada en la fuente emisora, por lo que el término Eficiencia de Abatimiento (EA) se omite.

para contaminantes atmosféricos realizada por la agencia estadounidense. Esta será la metodología utilizada para las **fuentes industriales**. Estos factores son asignados a cada fuente a partir de su rubro, su código de clasificación de fuentes (CCF8) y el combustible utilizado (ver Sección 5.2.1).

Para la **agroindustria** se aplica el mismo marco teórico, distinguiendo por tipo de cultivo o actividad agrícola ganadera, con factores de emisión específicos según tipo de operación y especie (ver Sección 5.3.2).

Para la estimación de emisiones de **quemas agrícolas**, la metodología utilizada está limitada por los datos obtenidos, en donde solo fue posible obtener la cantidad de superficie total quemada en quemas agrícolas autorizadas por CONAF. Por ende, se asumió que la distribución por tipo de cultivo se mantiene igual a la estimada para el 2021 (GreenLab Dictuc, 2022).

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

Ecuación 7 Estimación de emisiones de quemas agrícolas

$$\text{Emisiones}_k = \sum_i \text{Superficie}_i \cdot FE_{i,k} \cdot FCO_i$$

Donde:

Emisiones_k : Emisiones del contaminante “k” [t]

Superficie_i : Superficie total quemada del tipo de suelo o cultivo “i” [ha]

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

FCO_i : Factor de carga orgánica del tipo de suelo “i” [t/ha]

En el caso de la **crianza de animales**, las emisiones de amoníaco se estiman siguiendo la metodología propuesta en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017), basada en el estudio (Klimont & Brink, 2004). Esta metodología distingue emisiones por alojamientos de animales, pastoreo de animales y aplicación de estiércol sobre el suelo como fertilizante. Esto se realiza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8 Estimación de emisiones de amoníaco de crianza animal

$$\text{Emisiones } NH_3 = \sum_{a,i} \text{Número animales}_a \cdot FE_{a,i}$$

Donde:

$\text{Emisiones } NH_3$: Emisiones de amoníaco por crianza de animales [kg]

Número animales_a : Cabezas de ganado por tipo de animal “a”, correspondiente a cerdos, aves, ovinos, bovinos, caprinos, camélidos o equinos [número de animales]

$FE_{a,i}$: Factor de emisión de amoníaco por tipo de animal “a” y tipo de actividad “i”, correspondiente a alojamientos de animales, pastoreo de animales y aplicación de estiércol sobre el suelo como fertilizante [kg NH₃-N/animal]

Para la estimación de emisiones generadas por la aplicación de **fertilizantes**, se utilizó la metodología planteada en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9 Estimación de emisiones de fertilizantes

$$\text{Emisiones}_k = \sum_{i,f} \text{Superficie}_i \cdot \text{Tasa fertilizante}_i \cdot FE_{f,k}$$

Donde:

Emisiones_k : Emisiones del contaminante “k” [kg]

Superficie_i : Superficie sembrada en la región Metropolitana del cultivo “i” [ha]

$\text{Tasa fertilizante}_i$: Aplicación típica de nitrógeno por ha para cada tipo de cultivo “i” [kg/ha]

$FE_{f,k}$: Factor de emisión del contaminante “k” por la aplicación del fertilizante “f” [kg/kg]

En las siguientes subsecciones se presentan los antecedentes levantados para la elaboración del inventario de emisiones del sector industria y agroindustria de la región Metropolitana.

Para la estimación de **Pesticidas** se utilizó la metodología planteada en el “Manual para el desarrollo de inventarios” (MMA, 2017) complementado con el documento AP42 de la EPA (US-EPA, n.d.).

Los niveles de actividad corresponden a la cantidad de componente activo del plaguicida o pesticida consumido durante el año, los cuales se obtuvieron del SAG de la “Declaración de ventas de plaguicidas de uso agrícola año 2019” (SAG, 2019), enfocándose particularmente en las aplicaciones de la Región Metropolitana. Mientras que los factores de emisión dependen del tipo de aplicación y de la presión de vapor del componente activo.

5.2 Identificación y caracterización de fuentes emisoras del Sector Industrial

Los grandes establecimientos pertenecen al sector industrial, los cuales se buscaron mediante el RUT de las empresas, y se identificaron los establecimientos de dichas empresas presentes en la RM. A continuación, en la Tabla 5-1 se indica la provincia y comuna en la que se ubica cada una de las empresas identificadas en la base de datos del RETC.

Tabla 5-1 Ubicación de los grandes establecimientos

Provincia	Comuna	Establecimientos
Santiago	Cerrillos	CRISTALERIAS TORO SPA EVERCRISP SNACK PRODUCTOS DE CHILE S A
	Conchalí	UNILEVER CHILE LTDA
	Estación Central	SCHAFFNER S A
	Macul	NESTLE CHILE SA
	Maipú	GOODYEAR DE CHILE S.A.I.C. (2) IND.DE BALATAS INDUBAL S.P.A. NESTLE CHILE S.A FÁBRICA MAIPU QUIMETAL INDUSTRIAL S.A. SOCIEDAD INDUSTRIAL PIZARREÑO SA
		CD NESTLE PURINA SKBERGE LOGISTICA SA
		NESTLE CENTRO DE DISTIBUCION QUILICURA VULCO SA
		Renca CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SOPROLE
		Santiago COSSBO
Maipo	Buin	ELABORADORA DE ENVASES S A
	Paine	EXTRUDER S A
	San Bernardo	ACEROS CHILE SA FUNDICIÓN VULCO LTDA MOLYMETNOS SOPROLE VULCO VULCO S.A. WATTS LONQUÉN
Chacabuco	Colina	ESCO ELECMETAL FUNDICION LIMITADA
	Lampa	BALL CHILE SA FASTPACK SA PLANTA INDUSTRIAL LAMPA TUBEXA REFRACTARIOS IUNGE SOCIEDAD MINERA PETREOS QUILIN LTDA LAMPA
		UNILEVER CHILE LTDA CD Lampa
		MAGOTTEAUX ANDINO S.A. RECINTO A.P. POLPAICO
	Tiltil	
Cordillera	Puente Alto	AISLANTES VOLCÁN S.A. COMPANIA INDUSTRIAL EL VOLCAN S.A. PAPELES CORDILLERA S.A. sociedad de alimentos Licanray SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A., PLANTA SANTA ROSA
Talagante	San José de Maipo	SOC INDUSTRIAL ROMERAL S A
	Padre Hurtado	CRISTALERIAS DE CHILE S A
	Peñaflor	CHAMPION CIA MOLINERA SAN CRISTOBAL S.A.
	Talagante	MALTEXCO S A

Fuente: (RETC, 2022)

Dichos establecimientos se clasifican dentro del sector industrial en distintos rubros y poseen fuentes emisoras con combustión. A partir de la base de datos proveniente del DS138 se identifican las fuentes emisoras de cada establecimiento, el combustible que utilizan y los contaminantes de interés en el estudio. Los combustibles varían desde biomasa, carbón bituminoso, coke de petróleo, gas licuado, gas natural, diésel y petróleo n°6 y se observan en la Tabla 5-2, siendo el gas natural y el petróleo diésel los más utilizados. Los contaminantes por fuentes se pueden observar en la Tabla 5-3, los que corresponden a MP₁₀, MP_{2,5}, NOx, SOx, NH₃, CO y COV.

Tabla 5-2 Tipo de fuente y combustible de los grandes establecimientos en la RM por rubro

Rubro	Establecimiento	Tipo de fuente	Tipo de combustible
Captación, tratamiento y distribución de agua	COSSBO	Caldera Agua Caliente	Biomasa Combustible Gas Natural
	RECINTO A.P. POLPAICO	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
Industria del papel y celulosa	PAPELES CORDILLERA S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Turbina de Gas	Gas Natural
Industria química, de plástico y caucho	GOODYEAR DE CHILE S.A.I.C. (2)	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	QUIMETAL INDUSTRIAL S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	VULCO S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Caldera Agua Caliente	Gas Licuado de Petróleo
Minería	MOLYMETNOS	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Licuado de Petróleo Gas Natural Petróleo N 2 (Diesel)
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Horno Calcinadores	Gas Natural
		Horno Tostación	Petróleo N 2 (Diesel)
		Calentador	Gas Licuado de Petróleo
	SOCIEDAD MINERA PETREOS QUILIN LTDA LAMPA		
	UNILEVER CHILE LTDA CD Lampa	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	ACEROS CHILE SA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)

Rubro	Establecimiento	Tipo de fuente	Tipo de combustible
Otras industrias manufactureras	AISLANTES VOLCÁN S.A.	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	BALL CHILE SA	Caldera Agua Caliente	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Gas Natural
	CD NESTLE PURINA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SOPROLE	Caldera Agua Caliente	Gas Licuado de Petróleo
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	CHAMPION	Caldera Agua Caliente	Gas Natural
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	CIA MOLINERA SAN CRISTOBAL S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	CRISTALERIAS DE CHILE S A	Caldera de Fluido Térmico	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Horno de Fusion	Gas Natural
		Horno de Fusión	Gas Natural
	CRISTALERIAS TORO SPA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Horno de Fusión	Gas Natural
	ELABORADORA DE ENVASES	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	ESCO ELECMETAL COLINA	Caldera Agua Caliente	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Horno	Gas Natural
		Horno de Tostacion	Gas Natural
		Horno de Tostación	Gas Natural
	EVERCRISP SNACK PROD. DE CHILE S.A.	Caldera Agua Caliente	Gas Natural
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	EXTRUDER SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
	FASTPACK SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Licuado de Petróleo
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	FUNDICIÓN VULCO LTDA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
		Horno	Gas Natural
		Horno Secador	Gas Natural
	IND.DE BALATAS INDUBAL S.P.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural
	MAGOTTEAUX ANDINO S.A.	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	MALTEXCO TALAGANTE	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)
	NESTLE CENTRO DE DISTIBUCION QUILICURA	Caldera Agua Caliente	Gas Licuado de Petróleo
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)

Rubro	Establecimiento	Tipo de fuente	Tipo de combustible	
	NESTLE CHILE S.A FÁBRICA MAIPU	Caldera Agua Caliente	Gas Licuado de Petróleo	
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	NESTLE MACUL	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
	PLANTA INDUSTRIAL LAMPA TUBEXA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	REFRACTARIOS IUNGE	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	SCHAFFNER S A	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	sociedad de alimentos Licanray	Horno de Panadería	Petróleo N 2 (Diesel)	
	SOCIEDAD INDUSTRIAL PIZARREÑO SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A., PLANTA SANTA ROSA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
		Marmita de Calcinación	Gas Natural	
		Secador	Gas Natural	
	SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL, PLANTA SAN GABRIEL	Horno Rotarorio	Petróleo N 6	
	SOPROLE	Caldera Agua Caliente	Gas Licuado de Petróleo	
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	UNILEVER CHILE LTDA Panamericana	Caldera Agua Caliente	Gas Natural	
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	WATTS LONQUÉN	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
	WATTS SAN BERNARDO	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Gas Natural	
		Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
Producción de cemento, cal y yeso	COMPANIA INDUSTRIAL EL VOLCAN S.A.	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	
Ventas y mantención de vehículos automotores	SKBERGE LOGISTICA SA	Grupo Electrógeno	Petróleo N 2 (Diesel)	

Fuente: (RETC, 2022)

Tabla 5-3 Contaminantes emitidos por cada tipo de fuentes de las grandes fuentes en la RM

Empresa	Rubro	Tipo de fuente	Contaminantes*
ACEROS CHILE S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
AISLANTES VOLCAN S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
ARRIGONI METALURGICA S.A.	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
CEMENTO POLPAICO S A	Producción de cemento, cal y yeso	Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Horno Rotatorio	COV, SOx, CO, NOx
CMPC TISSUE S A	Industria del papel y celulosa	Caldera Agua Caliente	SOx, CO, MP10, MP2,5, NOx
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, NOx, NH3, MP10, MP2,5
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Turbina de Gas	COV, SOx, CO, NOx
CRISTALERIAS DE CHILE S A	Otras industrias manufactureras	Caldera de Fluido Térmico	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Horno de Fusión	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
CRISTALERIAS TORO SPA	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Horno de Fusión	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
DIANA FOOD CHILE SPA	Producción agropecuaria	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
ELABORADORA DE ENVASES S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
EMPRESAS CAROZZI S A	Otras industrias manufactureras	Caldera Agua Caliente	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
ENERGIAS INDUSTRIALES S.A	Otras actividades	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Chimenea	SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Caldera Agua Caliente	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Grupo Electrógeno	CO, NOx

Empresa	Rubro	Tipo de fuente	Contaminantes*
ESCO ELECMETAL FUNDICION LIMITADA	Otras industrias manufactureras	Horno	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Horno de Tostación	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
EVERCRISP SNACK PRODUCTOS DE CHILE S A	Otras industrias manufactureras	Caldera Agua Caliente	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
EXTRUDER S A	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
FASTPACK S A	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
GOODYEAR DE CHILE S A I C	Industria química, de plástico y caucho	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
INDUSTRIAS CERESITA S A	Industria química, de plástico y caucho	Caldera Agua Caliente	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Caldera de Fluido Térmico	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
INDUSTRIAS DE BALATAS SPA	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
KIMBERLY-CLARK CHILE S.A.	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
LATAM AIRLINES GROUP S.A.	Otras actividades	Caldera Agua Caliente	SOx, CO, MP10, MP2,5, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
LICAN ALIMENTOS S A	Otras industrias manufactureras	Caldera de Fluido Térmico	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
LUCCHETTI CHILE S.A	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
MAGOTTEAUX ANDINO S.A.	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
MALTEXCO S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
NESTLE CHILE SA	Otras industrias manufactureras	Caldera Agua Caliente	SOx, CO, MP10, MP2,5, NOx
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
PAPELES CORDILLERA SPA	Industria del papel y celulosa	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx

Empresa	Rubro	Tipo de fuente	Contaminantes*
		Turbina de Gas	CVO, SOx, CO, NOx
QUIMETAL INDUSTRIALS A	Industria química, de plástico y caucho	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
REFRACTARIOS IUNGE LTDA	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
SCHAFFNER S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
SGS CHILE LTDA SOCIEDAD DE CONTROL	Otras actividades	Grupo Electrógeno	CO, NOx
SGS MINERALS S.A.	Minería	Grupo Electrógeno	CO, NOx
SOC INDUSTRIAL ROMERAL S A	Otras industrias manufactureras	Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Horno Rotarorio	SOx, CO, MP10, MP2,5, NOx
		Marmita de Calcinación	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Molino de Rodillo	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Secador	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
SOC MINERA PETREOS QUILIN LIMITADA	Otras industrias manufactureras	Caldera de Fluido Térmico	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Secador y Mezclador Rotatorio	COV, SOx, CO, MP10, NOx
SOCIEDAD INDUSTRIAL PIZARRENO S.A.	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
SOPROCAL CALERIAS E INDUSTRIAS S A	Producción de cemento, cal y yeso	Caldera de Fluido Térmico	SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
		Horno Rotatorio	SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
SOPROLE S.A.	Otras industrias manufactureras	Caldera Agua Caliente	SOx, CO, MP10, MP2,5, NOx
		Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
UNILEVER CHILE SCC LIMITADA	Industria química, de plástico y caucho	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3
		Grupo Electrógeno	COV, CO, MP10, MP2,5, NOx
VULCO S A	Industria química, de plástico y caucho	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx
		Grupo Electrógeno	CO, NOx
WATT'S S.A.	Otras industrias manufactureras	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	COV, SOx, CO, MP10, MP2,5, NH3, NOx

Empresa	Rubro	Tipo de fuente	Contaminantes*
		Grupo Electrógeno	CO, NOx

* Se indican sólo los contaminantes de interés para el estudio.

Fuente: (RETC, 2022)

5.2.1 Factores de emisión del Sector Industrial

En las siguientes subsecciones se presentan factores de emisión compilados que serán utilizados en la elaboración del inventario de emisiones del Sector Industrial, tanto para fuentes de combustión como de proceso. Estos fueron obtenidos de la Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales (2019) y posteriormente revisados. Tras esta revisión, algunos factores de emisión de fuentes de combustión fueron corregidos.

5.2.1.1 Factores de emisión de fuentes de combustión

A continuación, se presentan los distintos factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones de las fuentes de combustión. Estos factores dependen del CCF8 asociado a los diferentes tipos de fuentes, y fueron expresados en kg/ton. Para la normalización de las unidades de medida de los factores, fue necesario utilizar las propiedades de densidad y poder calorífico de los combustibles, indicadas en la Tabla 10-3 del Anexo de la Sección 10.3.

Tabla 5-4 Factores de emisión de fuentes de combustión [kg/ton]

Tipo de Fuente	Combustible	CCF8	MP	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2
Caldera Agua Caliente	Biogás	10300603	0,1	0,1	0,1	0,0	3,5	1,0	0,1	0,0	1.314,4
	Biomasa Combustible	10300908	2,2	2,3	2,0	0,2	3,1	3,8	0,1	-	1.227,7
	Butano	10301001	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,7	0,1	-	3.194,5
	Petróleo N 2 (Diesel)	10300501	0,5	0,3	0,3	0,0	3,4	0,7	0,0	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10300603	0,2	0,2	0,2	0,0	5,9	1,8	0,1	0,0	3.272,0
	Kerosene	10300501	0,5	0,4	0,3	0,0	3,6	0,7	0,1	0,1	3.441,4
	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Caldera de Fluido Térmico	Biomasa Combustible	10200901	3,6	3,1	2,7	0,2	1,4	3,8	0,1	0,3	1.227,7
	Petróleo N 2 (Diesel)	10200501	0,5	0,3	0,2	0,0	3,4	0,7	0,0	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200601	0,2	0,2	0,2	0,0	5,9	1,8	0,1	0,1	3.272,0
		10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
		10200603	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Propano	10201002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Caldera de Generación Eléctrica	Petróleo N 2 (Diesel)	10100501	0,5	0,3	0,2	0,0	3,4	0,7	0,0	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10100601	0,2	0,2	0,2	0,0	5,9	1,8	0,1	0,1	3.272,0
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Biogas	10200603	0,1	0,1	0,1	0,0	1,2	1,0	0,1	0,0	1.314,4
	Biomasa Combustible	10200901	3,6	3,1	2,7	0,2	1,4	3,8	0,1	0,3	1.227,7
		10200903	2,6	1,8	2,0	0,2	1,4	3,8	0,1	0,3	1.227,7
	Butano	10201001	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,7	0,1	-	3.194,5
	Petróleo N 2 (Diesel)	10200501	0,5	0,3	0,2	0,0	3,4	0,7	0,0	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200601	0,2	0,2	0,2	0,0	5,9	1,8	0,1	0,1	3.272,0
		10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
		10200603	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Petróleo N 6	10200401	0,6	0,3	0,4	0,0	6,0	0,6	0,0	0,1	3.400,3
	Propano	10201002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Calentador	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Grupo Electrógeno	Bencina	20300301	2,0	2,0	2,0	1,7	32,8	19,9	0,0	0,5	3.247,5
	Petróleo N 2 (Diesel)	20300101	6,1	6,1	6,1	5,7	86,5	18,6	4,6	0,4	3.379,4
	Gas Licuado de Petróleo	20300201	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2.840,1
	Gas Natural	20300201	0,4	0,4	0,4	0,0	59,9	8,4	2,4	0,4	3.272,0

Tipo de Fuente	Combustible	CCF8	MP	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2
Horno	Petróleo N 2 (Diesel)	10200502	0,5	0,3	0,2	0,0	2,9	0,7	-	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno Calcinadores	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Propano	10201002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno de Cocción	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
Horno de Fusión	Petróleo N 2 (Diesel)	10200502	0,5	0,3	0,2	0,0	2,9	0,7	-	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Petróleo N 6	10200401	0,6	0,3	0,4	0,0	6,0	0,6	0,0	0,1	3.400,3
Horno de Panadería	Biomasa Combustible	10300908	2,2	2,3	2,0	0,2	3,1	3,8	0,1	-	1.227,7
	Butano	10301001	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,7	0,1	-	3.194,5
	Petróleo N 2 (Diesel)	10300501	0,5	0,3	0,3	0,0	3,4	0,7	0,0	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10300603	0,2	0,2	0,2	0,0	5,9	1,8	0,1	0,0	3.272,0
	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno de Refino	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno de Tostación	Petróleo N 2 (Diesel)	10200502	0,5	0,3	0,2	0,0	2,9	0,7	-	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
Horno Palanquillas	Petróleo N 2 (Diesel)	10200502	0,5	0,3	0,2	0,0	2,9	0,7	-	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
Horno Rotatorio	Combustible Sólido Alternativo	10100201	84,6	30,7	17,5	34,5	14,1	0,2	0,0	0,0	3.618,7
	Petróleo N 2 (Diesel)	10200502	0,5	0,3	0,2	0,0	2,9	0,7	-	0,1	3.379,4
	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Coke de Petróleo (Petcoke)	10100801	0,9	0,7	0,4	97,3	9,5	0,3	0,0	-	2.770,6
	Petróleo N 6	10200401	0,6	0,3	0,4	0,0	6,0	0,6	0,0	0,1	3.400,3
Horno Rotatorio Secador	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Horno Secador	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Propano	10201002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
Marmita de Calcinación	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
	Propano	10301002	0,2	0,2	0,2	0,0	3,1	1,8	0,1	-	3.194,5
	Biogas	20100202	0,2	0,2	0,2	0,0	35,0	4,9	1,4	0,1	1.314,4

Tipo de Fuente	Combustible	CCF8	MP	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2
Motor Generación Eléctrica	Petróleo N 2 (Diesel)	20100102	2,0	2,0	2,0	5,7	86,5	18,6	4,6	0,4	3.379,4
Secador	Gas Natural	10200602	0,2	0,2	0,2	0,0	2,1	1,8	0,1	0,1	3.272,0
Turbina de Gas	Petróleo N 2 (Diesel)	20100101	0,2	0,2	0,2	0,6	17,3	0,1	0,0	0,4	3.379,4
	Gas Natural	20100201	0,2	0,2	0,2	0,1	8,0	2,1	0,1	0,2	3.272,0

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2 Factores de emisión correspondientes a procesos industriales

A continuación, se presentan los factores de emisión obtenidos de la Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales (2019). Estos están asociados al CCF8 de la fuente y están expresados en kg/ton.

Tabla 5-5 Factores de emisión de fuentes de procesos [kg/ton]

Tipo de Fuente	CCF8	MP	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COV	NH3	CO2
Calentador	30500208	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chancador Primario	30500709	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Chancador Secundario	30500710	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Horno	30400304	0,0	5,3	-	0,1	0,1	-	0,0	-	-
	30400704	-	-	-	125,6	36,6	-	0,3	-	1.060,0
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	30300505	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-
Horno de Cocción	30500850	0,2	-	-	0,1	0,2	-	0,2	-	439,7
Horno de Fusión	30501402	0,6	0,6	0,6	1,5	2,8	-	0,1	-	210,0
Horno de Fusión Eléctrico	30400304	0,0	5,3	-	0,1	0,1	-	0,0	-	-
Horno de Refino	30300505	-	4,2	-	-	-	-	-	-	-
Horno de Tostación	30300502	20,4	10,8	-	127,0	1,6	-	-	-	-
Horno Palanquillas	30300934	-	-	-	-	0,0	-	0,0	-	1.060,0
Horno Rotatorio	30500211	13,6	0,2	0,2	0,0	0,0	-	0,0	-	-
	30500706	59,0	14,1	4,1	4,9	3,4	-	-	-	510,0
	30501511	18,6	11,8	-	-	-	-	-	-	-
Horno Rotatorio Secador	30600401	-	-	-	0,1	0,1	-	0,0	-	-
Horno Secador	30400303	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Marmita de Calcinación	30501511	18,6	11,8	-	-	-	-	-	-	-
Molino de Cemento	30500617	43,5	37,2	-	-	-	-	0,0	-	-
	30500717	14,5	12,2	-	-	-	-	-	-	-
Secador	30501511	18,6	11,8	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (MMA, 2019)

5.2.2 Niveles de actividad del Sector Industrial

Los niveles de actividad de las fuentes del sector industrial se obtuvieron de la base de datos asociada al DS138. En esta los niveles de actividad se presentan de forma separada para fuentes de combustión y de proceso. A continuación, se presenta el nivel de actividad para cada clase de fuente.

5.2.2.1 Nivel de actividad de fuentes de combustión

En esta sección se presenta el consumo de distintos combustibles por distintos tipos de fuentes. Se debe tener en consideración el número de los tipos de fuentes consideradas para la elaboración del inventario y el consumo de combustible que tienen los tipos de fuentes.

Tabla 5-6 Número de fuentes y consumo por tipo de fuente [ton/año]

Tipo de Fuente General	Tipo de Fuente	Número de fuentes	Consumo de combustible	Consumo de combustible mínimo	Consumo de combustible promedio	Consumo de combustible máximo
Caldera	Caldera Agua Caliente	226	39.900,17	0,00	176,55	7.198,37
	Caldera de Fluido Térmico	38	7.002,89	0,04	184,29	2.233,70
	Caldera de Generación Eléctrica	1	0,01	0,01	0,01	0,01
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	334	204.410,44	0,00	612,01	36.260,91
	Calderas Total	599	251.313,52	0,00	419,56	36.260,91
Calentador	Calentador	1	613,90	613,90	613,90	613,90
Grupo Electrógeno	Grupo Electrógeno	1.328	23.263,21	0,00	17,52	5.591,16
Horno	Horno	27	1.838,17	0,00	68,08	410,00
	Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	1	0,01	0,01	0,01	0,01
	Horno Calcinadores	4	694,23	4,23	173,56	278,00
	Horno de Cocción	1	3.774,95	3.774,95	3.774,95	3.774,95
	Horno de Fusión	9	34.288,06	421,14	3.809,78	7.799,53
	Horno de Panadería	319	14.134,35	0,00	44,31	1.459,70
	Horno de Refino	1	21,90	21,90	21,90	21,90
	Horno de Tostación	4	192,65	0,10	48,16	178,93
	Horno Palanquillas	3	10.390,27	1.227,62	3.463,42	7.333,35
	Horno Rotatorio	6	61.431,67	565,85	10.238,61	55.129,00
	Horno Rotatorio Secador	6	540,00	90,00	90,00	90,00
	Horno Secador	10	60,38	0,00	6,04	27,20
	Hornos Total	391	127.366,63	0,00	325,75	55.129,00
Marmita de Calcinación	Marmita de Calcinación	3	2.102,30	6,20	700,77	1.097,40
Motor Generación Eléctrica	Motor Generación Eléctrica	15	42.869,81	0,00	2.857,99	7.715,21
Secador	Secador	1	3.926,20	3.926,20	3.926,20	3.926,20
Turbina de Gas	Turbina de Gas	4	43.467,18	0,01	10.866,80	25.385
Total		2.342	494.922,75	0,00	211,32	55.129,00

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que, en la base de datos de fuentes de combustión, se tienen datos duplicados y datos que tienen consumo igual a 0, los cuales no aportan al cálculo de las emisiones, por tanto se eliminan. De un total de 2.774 fuentes de combustión industriales, 13 datos están eliminados por duplicidad, lo que corresponde aproximadamente al 0%. Ya aplicada esta corrección, de un total de 2761 fuentes de combustión industriales, los datos con consumo de combustible igual a 0 son 419 datos, lo que corresponde a un 18%.

Estos datos se observan en la Tabla 5-6. Las calderas, los grupos electrógenos y los hornos son los tipos de fuente generales más abundantes. Los datos estadísticos del consumo (mínimo, promedio y máximo) corresponden al obtenido por tipo de fuente. De estos datos se puede observar que los tipos de fuentes con mayor consumo de combustible son las calderas y los hornos.

En la Tabla 5-7 se presenta el consumo de combustible en toneladas al año por tipo de combustible, de las 20 empresas con mayor consumo, se hace la distinción si es un gran establecimiento y se muestra el porcentaje acumulado sobre el consumo total

Se observa que las 20 empresas con mayor consumo pertenecen al 75% del consumo total de combustible de la RM. Cabe destacar que lo que más se consume es Gas natural, Biogás, Coke de petróleo y Biomasa, en orden descendente.

Tabla 5-7 Consumo de combustible de las empresas de mayor consumo [ton/año] y su porcentaje acumulado

Empresa	Gran establecimiento	Biogás	Biomasa	Butano	Combustible sólido	Petróleo N2 (Diesel)	Gas natural	Coke de petróleo	Petróleo N6	Propano	Total	Porcentaje acumulado	
CEMENTO POLPAICO S A	Sí				3.254	5		55.129			58.388	12%	
ENERGIAS INDUSTRIALES S.A	Sí		40.305			15.951	0				56.256	23%	
AGUAS ANDINAS S A	No	23.286				0	18.953				42.240	32%	
CONSORCIO SANTA MARTA S A	Sí	41.074				0					41.074	40%	
PAPELES CORDILLERA SPA	Sí					0	33.640		0		33.640	47%	
CMPC TISSUE S A	Sí					7	26.542				26.548	52%	
CRISTALERIAS DE CHILE S A	Sí					1	21.454		1.490		22.944	57%	
CRISTALERIAS TORO SPA	Sí					5	11.348				11.353	59%	
ACEROS AZA S.A.	Sí					0	10.390				10.390	61%	
WATT'S S.A.	Sí					3	7.742				7.746	63%	
SOC INDUSTRIAL ROMERAL S A	Sí					0	6.022		1.699	6	7.728	64%	
ACONCAGUA FOODS S.A.	No					3	7.689				7.692	66%	
SOPROLE S.A.	Sí		122			128	6.823			6	7.079	67%	
GOODYEAR DE CHILE S A I C	Sí					11	6.109				6	6.126	69%
CERVECERIA CCU CHILE LIMITADA	No					33	5.945				5.979	70%	
NESTLE CHILE SA	Sí		0			2	4.321				4.323	71%	
ALIMENTOS FRUNA LTDA	No					1	4.214				4.214	71%	
CERVECERIA CHILE S A	No					0	4.057				4.057	72%	
MOLYMETNOS S.A.	Sí		19			14	3.949			5	3.987	73%	
EMPRESAS CAROZZI S A	Sí					6	3.796			59	3.861	74%	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta mayor detalle del consumo de combustible por tipo de fuente. Las fuentes con mayor consumo son las calderas industriales con 205.000 ton/año, seguidas de los hornos rotatorios con un consumo de un poco más de 60.000 ton/año, las turbinas de gas y los motores de generación eléctrica con un consumo de un poco más de 40.000 ton/año por cada uno, entre otras fuentes que se observan en la Figura 5-1.

En las calderas industriales el combustible más utilizado es el Gas natural, seguido de Biomasa y Petróleo N2 (Diesel), mientras que para los hornos rotatorios el más utilizado es Coke de petróleo (Petcoke), Combustible sólido y Petróleo N6, las turbinas de gas consumen solo gas natural y los motores de generación eléctrica consumen Biogás.

Se presenta además el consumo mensual por tipo de combustible en la Figura 5-2 en toneladas por mes y el consumo mensual por tipo de fuente en la Figura 5-3 de igual forma en toneladas por mes. Para la primera figura, se observa que el combustible más utilizado es el Gas natural. Las variaciones de consumo mes a mes no varían significativamente. La mayor variación corresponde al combustible Coke de petróleo (Petcoke) con un déficit en el mes de mayo. Para la segunda figura se observa que las calderas son las fuentes con mayor consumo de combustible, seguidas de los hornos, resultado que también se aprecia en la Tabla 5-6. Las variaciones de consumo mes a mes son más significativas para algunos tipos de fuentes, principalmente las calderas, hornos y turbinas de gas, mientras que para el resto de las fuentes, el consumo se mantienen más bien constante.

Como se observa en la Tabla 5-6 y en la Figura 5-3, el consumo de combustible de calderas y hornos es de una mayor magnitud por lo que a continuación se presentan la Figura 5-4 y la Figura 5-5 donde se analizan cada tipo específico de fuente. Se observa en las calderas, que las calderas industriales son las de mayor consumo, mientras que en los hornos, el horno rotatorio y el horno de fusión son los de mayor consumo. Tienen consistencia ese déficit negativo del horno rotatorio del mes de mayo con el déficit de mayo del combustible Coke de petróleo en la Figura 5-2, ya que en la Figura 5-1 se observa que el horno rotatorio consume en su mayoría combustible Coke de petróleo.

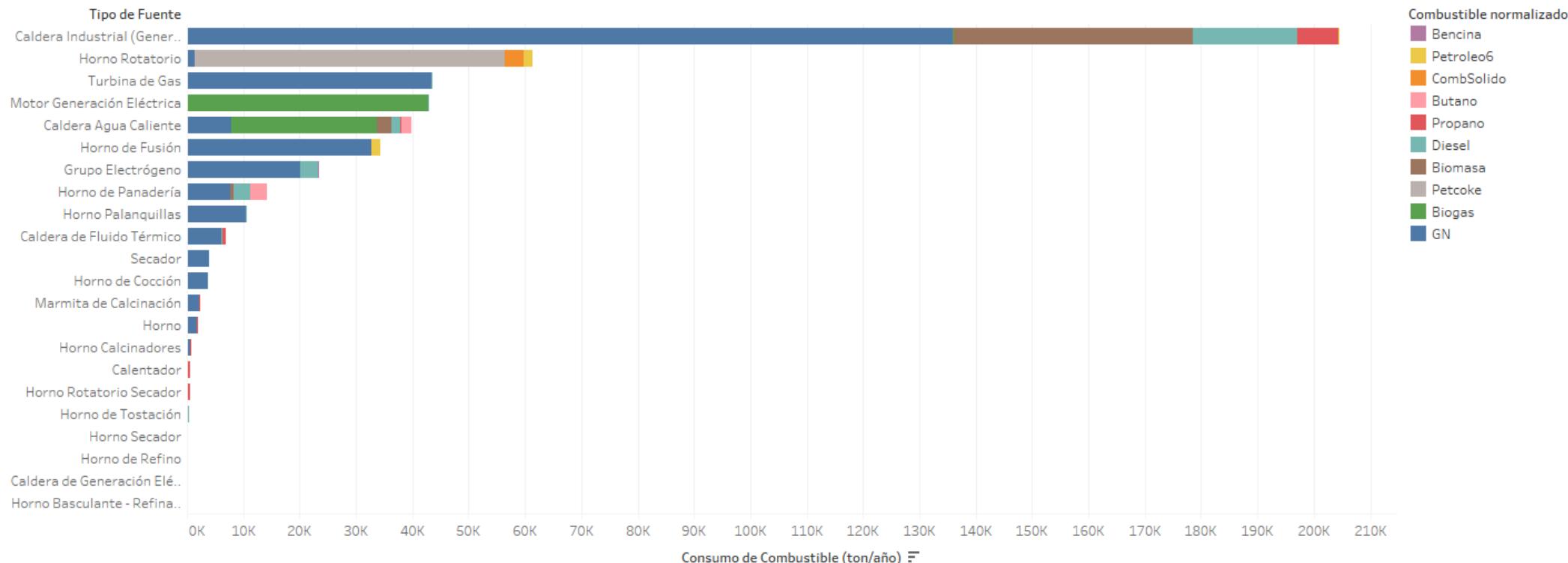


Figura 5-1 Consumo de combustible por tipo de fuente [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

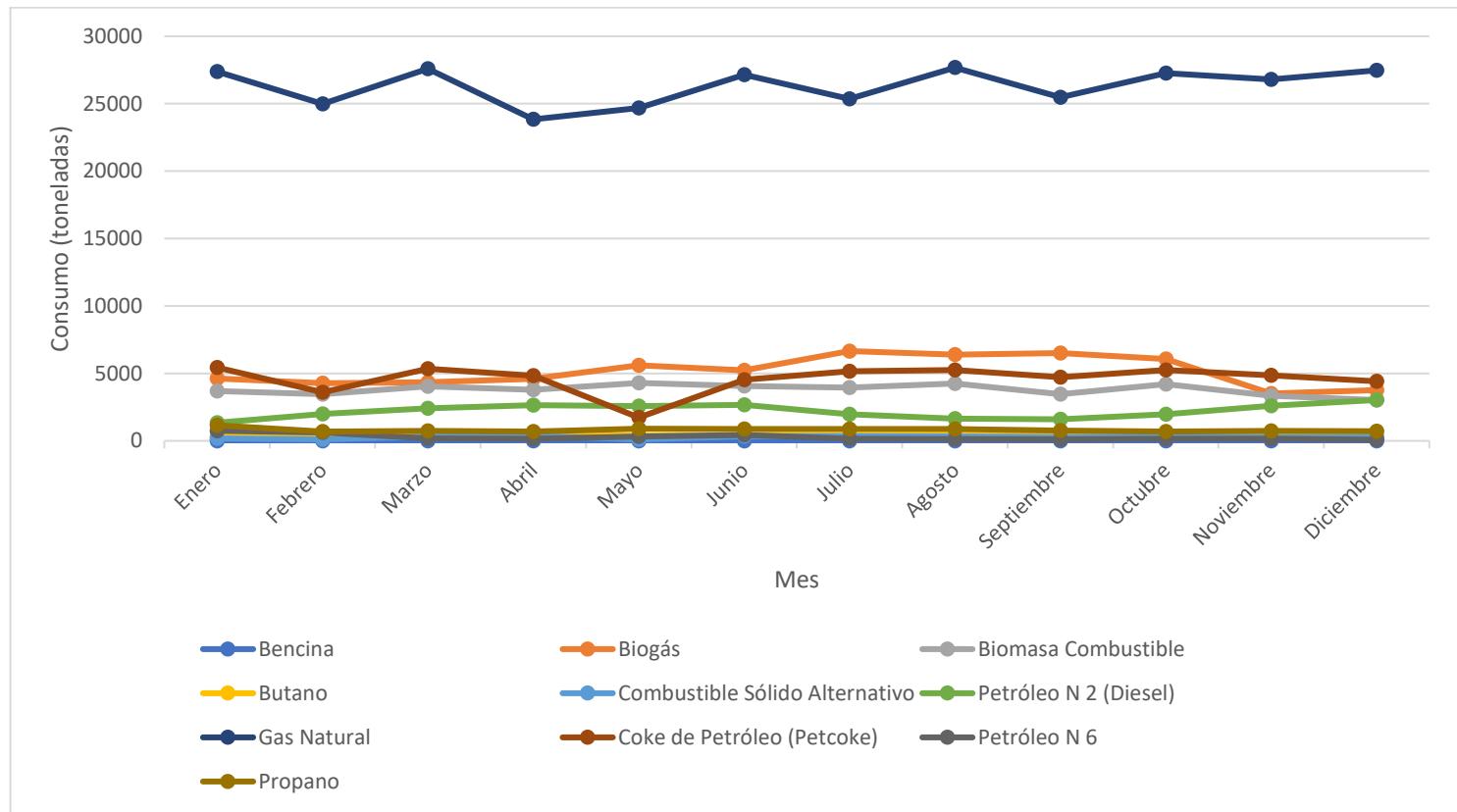


Figura 5-2 Consumo mensual de combustible por tipo de combustible [ton]

Fuente: Elaboración propia

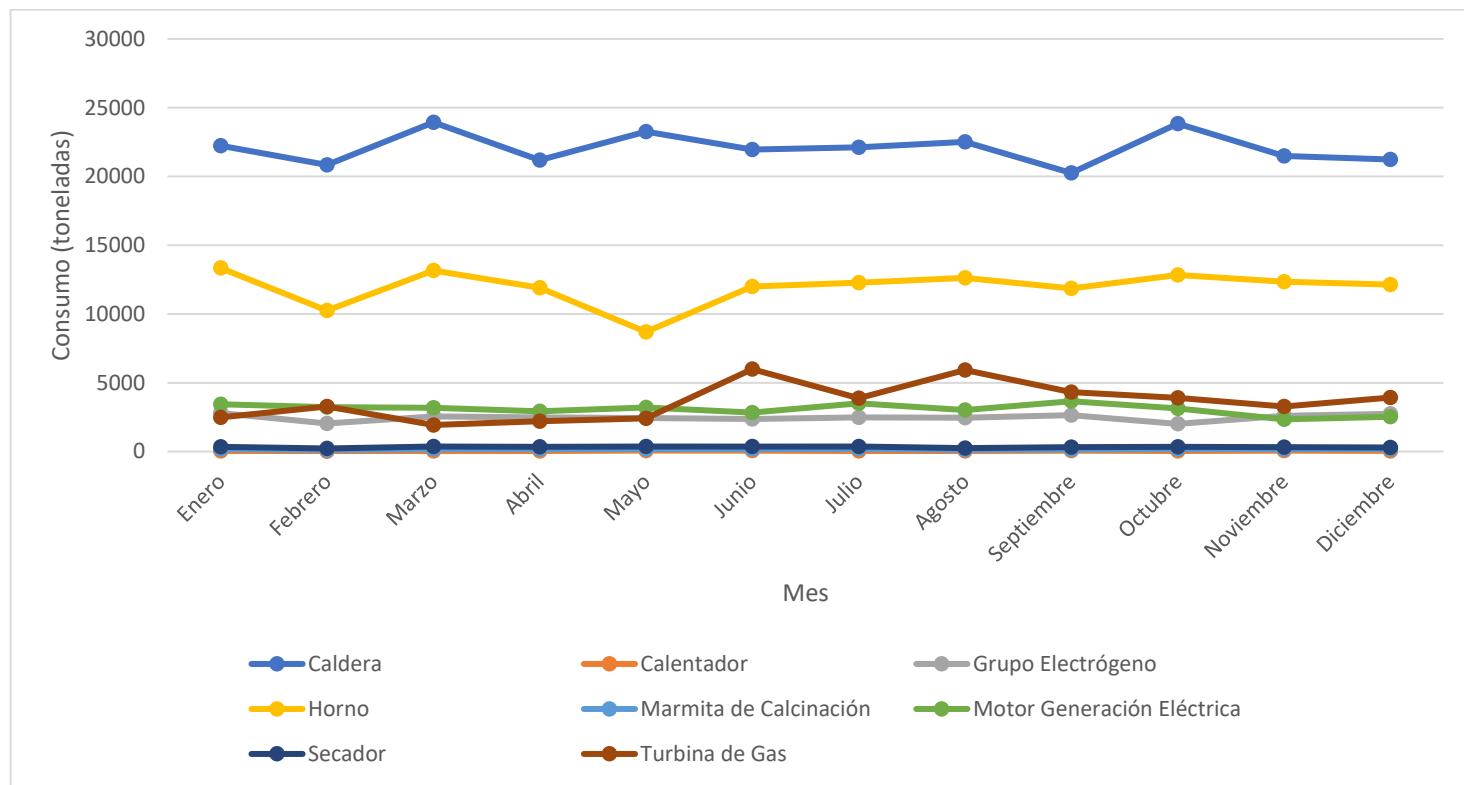


Figura 5-3 Consumo mensual de combustible por tipo de fuente [ton]

Fuente: Elaboración propia

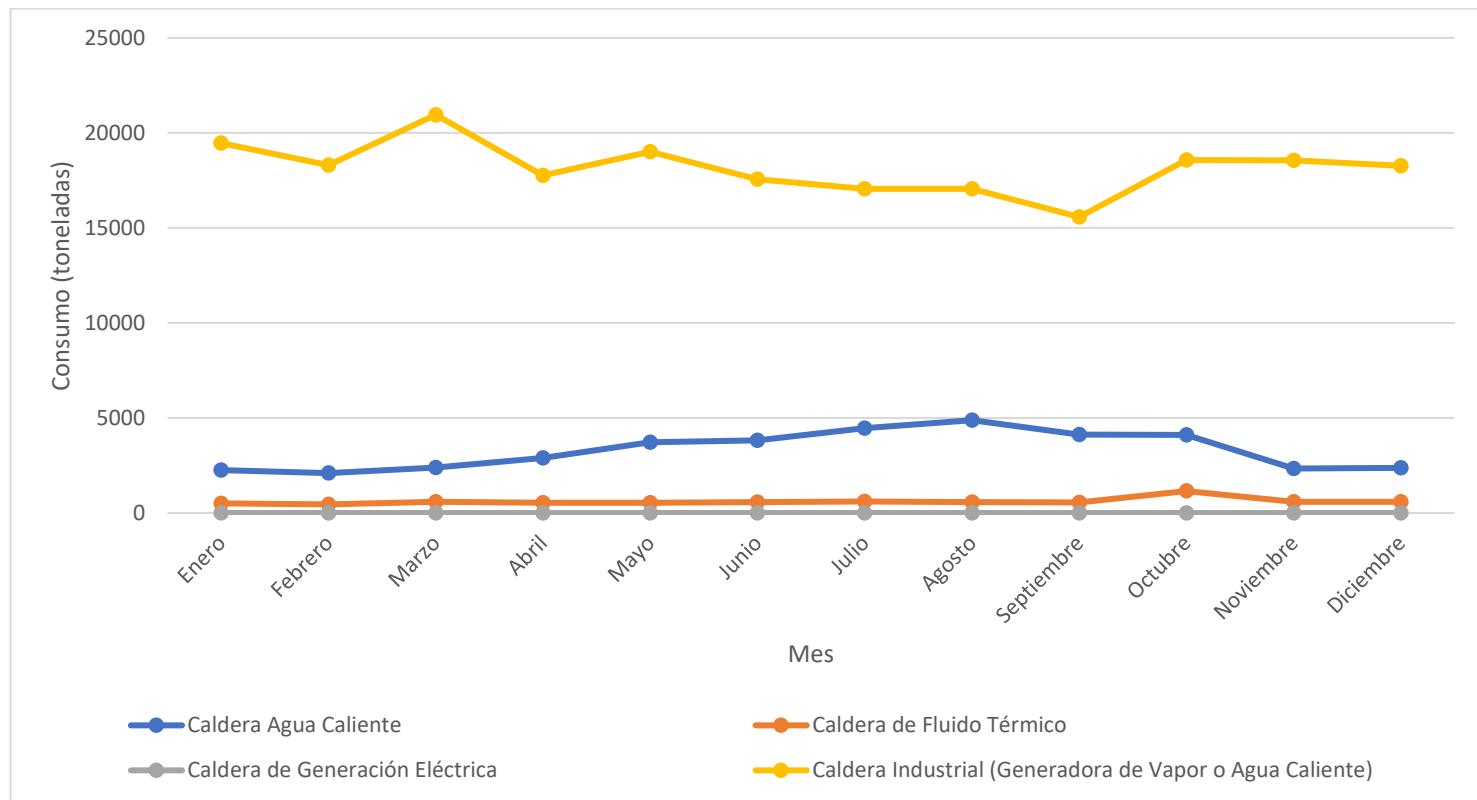


Figura 5-4 Consumo mensual de combustible por tipo de caldera [ton]

Fuente: Elaboración propia

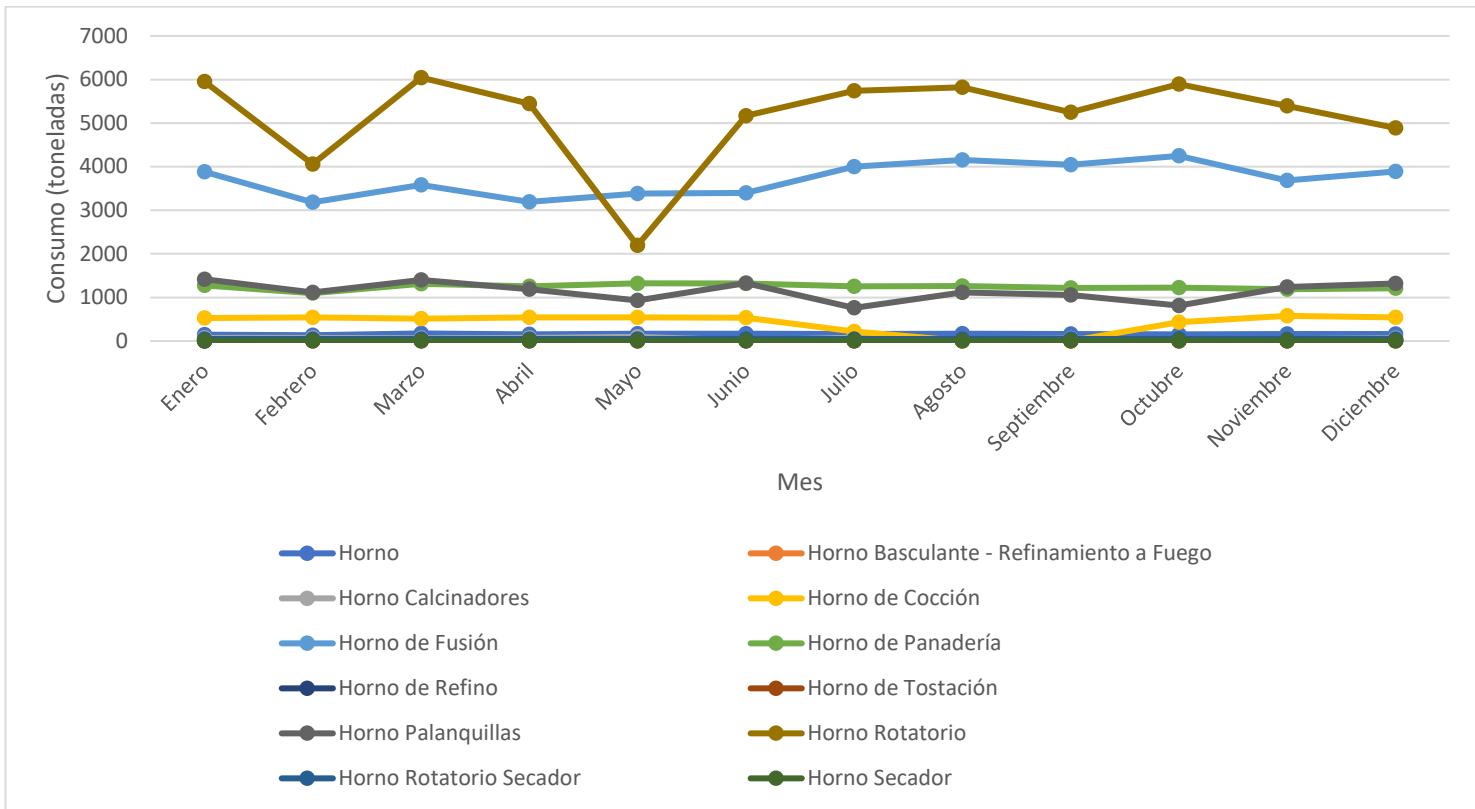


Figura 5-5 Consumo mensual de combustible por tipo de horno [ton]

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2 Niveles de actividad de fuentes de procesos

En esta sección se presentan los procesos realizados por los distintos tipos de fuentes y su nivel de actividad. En la Tabla 5-8 se presenta el tipo de fuente, número de fuentes, la actividad asociada y su nivel de actividad en toneladas al año. Cabe destacar que en la base de datos se encuentra el registro de procesos duplicados y procesos con nivel de actividad igual a 0, datos que no aportan al cálculo de las emisiones, por tanto, se eliminan.

De un total de 157 fuentes de procesos, los eliminados por duplicidad son 21 datos, lo que corresponden a un 13%. Ya aplicada esta corrección, de un total de 136 fuentes de procesos, los con nivel de actividad igual a 0 son 42 datos, lo que corresponde a un 31% de la base de datos arreglada. Finalmente se tiene una base de datos con 94 fuentes de procesos.

Tabla 5-8 Número de fuentes y actividad por tipo de fuente [ton/año]

Tipo de Fuente	Tipo de actividad	Número de fuentes	Actividad (ton/año)	Actividad mínima (ton/año)	Actividad media (ton/año)	Actividad máxima (ton/año)
Calentador	Petroleo-Quemado	1	123.257	123.257	123.257	123.257
Chancador Primario	Material-Procesado	1	1.238.785	1.238.785	1.238.785	1.238.785
Chancador Secundario	Material-Procesado	1	511.326	511.326	511.326	511.326
Horno	Acero-Producido	13	85.333	1.230	6.564	9.248
	Metal-Procesado	7	23.727	0	3.390	9.469
	Metal-Producido	1	2	2	2	2
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	Mineral concentrado-Procesado	1	14	14	14	14
Horno de Cocción	Producto-Producido	1	156.322	156.322	156.322	156.322
Horno de Fusión	Vidrio-Producido	7	384.351	13.411	54.907	112.886
Horno de Fusión Eléctrico	Hierro-Producido	2	888	288	444	600
	Hierro-Producido/Metal-Cargado/Metal-Producido	3	16.022	2.477	5.341	9.266
	Metal-Cargado	7	6.777	91	968	4.947
	Metal-Producido	22	46.815	2	2.128	43.818
	Mineral concentrado-Procesado	1	3	3	3	3
Horno de Tostación	Mineral concentrado-Procesado	2	5.868	2.934	2.934	2.934
Horno Palanquillas	Acero-Producido	1	324.028	324.028	324.028	324.028
	Metal-Procesado	2	557.632	60.051	278.816	497.581
Horno Rotatorio	Clinker-Producido	1	617.003	617.003	617.003	617.003
	Mix caliente asfalto-Producido	2	288.734	114.522	144.367	174.212
	Producto-Producido	2	87.796	24.721	43.898	63.075
Horno Rotatorio Secador	Petroleo crudo-Procesado	6	530.400	84.000	88.400	90.000
Horno Secador	Hierro-Producido	1	3.381	3.381	3.381	3.381
	Metal-Cargado	1	5.902	5.902	5.902	5.902
Marmita de Calcinación	Producto-Producido	2	155.894	74.193	77.947	81.701
Molino de Cemento	Cemento-Producido	5	1.468.318	149.169	293.664	541.942
Secador	Producto-Producido	1	238.911	238.911	238.911	238.911
Total		94	6.877.490	0	73.165	1.238.785

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Figura 5-6, el nivel de actividad mensual por cada tipo de fuente. Se observa que el Horno es el que más nivel de actividad procesa, seguido del chancador primario.

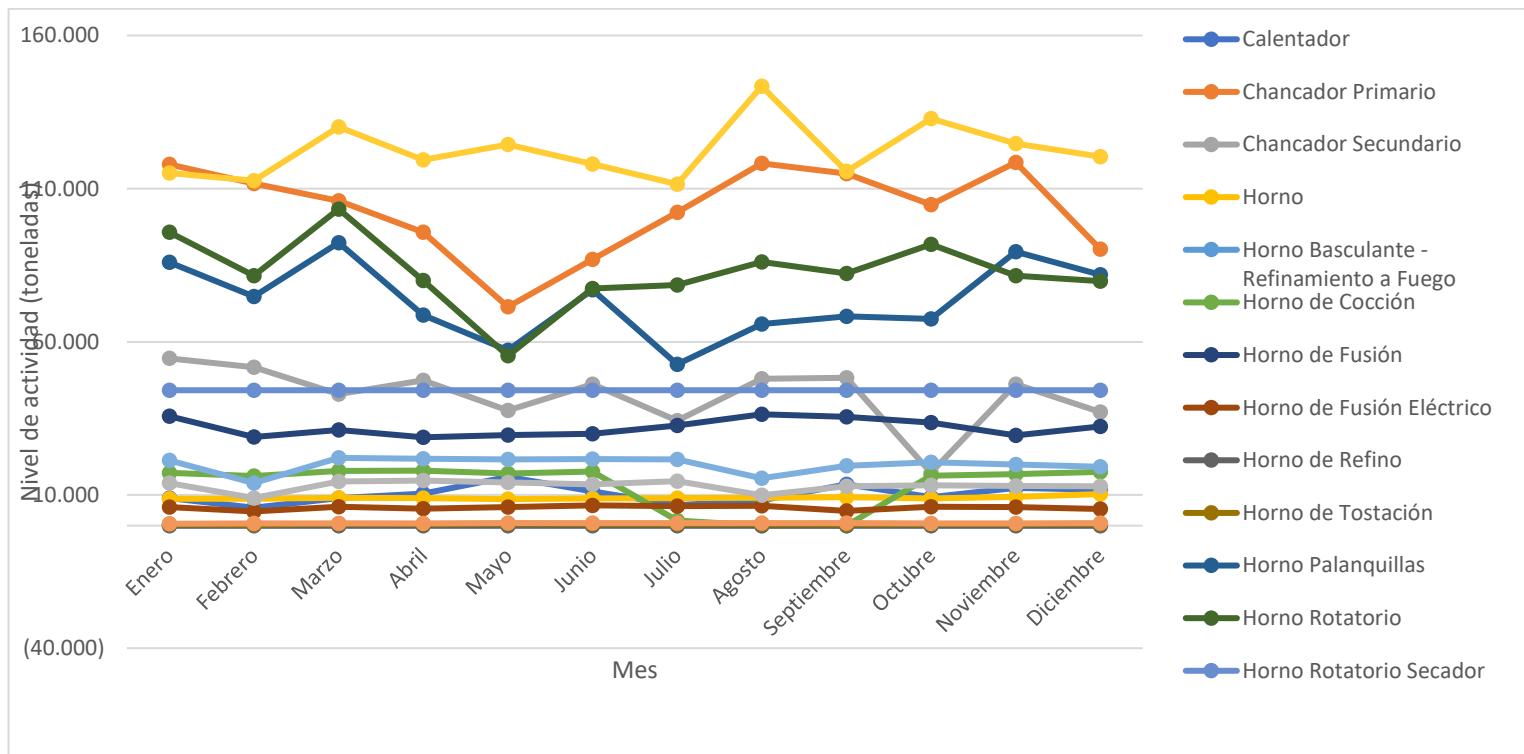


Figura 5-6 Nivel de actividad mensual por tipo de fuente [ton]

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Sistemas de abatimiento del Sector Industrial

Los sistemas de abatimiento y eficiencias se obtienen de la información enviada por la contraparte técnica proveniente del SISAT. Los sistemas y porcentajes de reducción de las fuentes del inventario se presentan en el Anexo 10.5.

Cabe destacar que estos sistemas de abatimiento aplicados en el cálculo de las emisiones son los proporcionados por SISAT, aunque se conoce algunos otros sistemas implementados en las fuentes que no se encuentran en SISAT, por ejemplo, la Termoeléctrica Nueva Renca que se presenta sin sistemas de abatimiento, cuenta con la RCA N°173/2010 aprobada cuyo proyecto consiste en la incorporación de un desnitrificador en una de sus calderas.

5.3 Identificación y levantamiento de información de las fuentes emisoras de NH₃ del Sector Agroindustrial

En el presente capítulo, se identifica y levanta información de los distintos tipos de fuentes emisoras de NH₃ de los Subsectores identificados en el Sector Agroindustrial. A priori, a partir de la “Guía para la estimación de emisiones de amoniaco en Sector Agroindustrial” (GreenLab-Dictuc, 2021b) se identifican como principales emisores de NH₃ en la Región Metropolitana los subsectores porcino y avícola.

5.3.1 Recopilación de valores de referencia

A continuación, se presentan los antecedentes recopilados para la elaboración del inventario de emisiones del Sector Agroindustrial.

5.3.1.1 Estimación de superficie sembrada a nivel regional para año agrícola 2022/2023

Las emisiones relacionadas con el uso de fertilizantes se calculan según el requerimiento de estos por superficie de cultivo en hectáreas, según los antecedentes presentados en la siguiente tabla.

Tabla 5-9 Superficie sembrada estimada para la RM para el año agrícola 2022/2023

Cultivo	Superficie sembrada RM [ha]
Trigo	5.944
Trigo Harinero	3.620
Trigo Candeal	2.324
Avena	1.425
Maíz	3.325
Maíz Consumo	2.424
Poroto	155
Papa	1.486
Maravilla	643

Fuente: ODEPA, 2023

5.3.1.2 Tasas de uso de Fertilizante por hectárea

Siguiendo la metodología de SISTAM (2013) presentada en el informe de POCH (2016), el requerimiento total de nutrientes por cultivo se estima como el producto de la superficie sembrada de cultivo por las tasas de uso de fertilizante según cultivo presentadas en la Tabla 5-10.

Tabla 5-10 Tasa de uso de fertilizante según cultivo [kg nutriente/ha]

Cultivo	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Cebada	100	80	30
Remolacha	200	250	90
Forraje	45	30	0
Frutas	80	45	40
Maíz	200	100	30
Otros cereales	100	80	0
Patata	100	110	60
Legumbres	50	80	40
Rape (Tabaco)	140	150	30
Arroz	120	80	40
Sorgo (maíz)	80	80	30
Girasol	100	80	40
Tabaco	100	40	30
Verduras	0,1	0,2	66,1
Trigo	100	80	20

Fuente: FAO, Sistam Ingeniería

5.3.2 Factores de emisión del Sector Agroindustrial

En las siguientes subsecciones se presentan los factores de emisión compilados para la elaboración del inventario de emisiones.

5.3.2.1 Factores de emisión para quema agrícola

A partir de la revisión bibliográfica se observa que los factores de emisión propuestos por el “Manual para el desarrollo de Inventarios” (MMA, 2017) provenientes de la CARB, siguen vigentes y son los más completos. Sólo se observan pequeñas variaciones en algunos casos, las que no implicarían una variación significante en las estimaciones. Estos distinguen los factores por tipo de cultivo. También se utilizaron los factores de carga (material combustible) por hectárea propuestos en el manual de inventarios. La Tabla 5-11 presenta el detalle de estos factores de emisión.

Tabla 5-11 Factores emisión para quemadas agrícolas [kg/kg materia quemada]

Tipo Cultivo	Trigo	Cebada	Avena	Maíz	Otros cultivos ^(a)	Vegetación ^(b)	Ramas ^(c)	Desechos Pino ^{(d) (e)}	Desechos Eucaliptus ^{(d) (e)}	Des. Otras Especies ^{(d) (f)}
Carga Orgánica (ton/ha)	4,7	4,2	4,0	10,4	5,4	5,4	1,9	6,5	5,4	6,0
CO	0,0561	0,0827	0,0612	0,0319	0,0538	0,0517	0,0371	0,0719	0,0719	0,0719
COV	0,0034	0,0068	0,0046	0,0030	0,0061	0,0049	0	0	0	0
PTS/MP	0,0048	0,0064	0,0093	0,0051	0,0076	0,0072	0,0053	0,0081	0,0081	0,0081
MP10	0,0048	0,0064	0,0093	0,0051	0,0076	0,0072	0,0053	0,0081	0,0081	0,0081
MP2,5	0,0046	0,0062	0,0089	0,0049	0,0073	0,0069	0,0045	0,0068	0,0068	0,0068
NH3	0,0009	0,0013	0,0010	0,0005	0,0009	0,0008	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007
CN	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
NOx	0,0020	0,0023	0,0020	0,0015	0,0021	0,0020	0,0037	0,0035	0,0035	0,0035
SOx	0,0004	0	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
CO2 ^(g)	1,3635	1,3635	1,3635	1,212	1,212	1,212	1,0302	0,49995	1,0302	0,49995
CH4 ^(g)	0,00243	0,00243	0,00243	0,00216	0,00216	0,00216	0,001836	0,000891	0,001836	0,000891
N2O ^(g)	0,000063	0,000063	0,000063	0,000056	0,000056	0,000056	4,76E-05	2,31E-05	4,76E-05	2,31E-05

- a) Considera valor promedio de factor de emisión y carga orgánica entre todos los cultivos de cereales presentados en CARB, Sección 7.17 "Agricultural Burning and Other Managed Burns"
- b) Considera factor de emisión y carga orgánica de cultivos vegetales (*vegetable crops*) presentados en CARB, Sección 7.17 "Agricultural Burning and Other Managed Burns"
- c) Considera factores de emisión promedio entre *litter*, *wood 0-1 in* y *wood 1-3 in*, humedad *mod*, CARB, Table A, Sección 9.3 "Wildfires" y carga orgánica promedio de dichas características indicada en FOFEM 4.0
- d) Considera factores de emisión promedio entre *wood 1-3 y wood 3+ in*, humedad *mod*, CARB, Table A, Sección 9.3 "Wildfires"
- e) En base a lo recomendado por SISTAM, desarrollado con información proveniente de Ambiosis y Universidad Austral. Considera que se poda el 10% de la biomasa arbórea y que el 50% de ésta es quemada.
- f) Promedio entre desechos de explotación de pino y eucalipto.
- g) En base a IPCC 2006. Volumen 4, capítulo 2, tabla 2.5 (*Agricultural Residues*) y Tabla 2.6 (*Agricultural Residues, Eucalyptus forests - Post logging slash burn, Boreal forests - Post logging slash burn*)

Fuente: (GreenLab Dictuc, 2022)

5.3.2.2 Factores de emisión de amoniaco para la crianza de animales

Para los factores de emisión del amoniaco, se utiliza como referencia el "Manual para el desarrollo de inventarios" (MMA, 2017). Los factores de emisión dependen del tipo de actividad y del tipo de animal, y se determinan utilizando las fórmulas presentadas en la Tabla 5-12.

Tabla 5-12 Factores de emisión utilizados para crianza animal [kg NH₃-N/animal]

Tipo de actividad	Tipo de animal	Factor de emisión	Parámetros	
Alojamiento de animales	Cerdos	$\frac{(C \cdot F + G \cdot D) \cdot 365 \cdot 0,5}{1000}$	C: Periodo del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno F: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época invernal	
	Aves			
	Ovinos			
	Bovinos	$\frac{(C \cdot F + G \cdot D) \cdot 365}{1000}$		
	Caprinos			
	Camélidos			

Tipo de actividad	Tipo de animal	Factor de emisión	Parámetros
	Equinos		G: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época estival D: Período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de verano
Pastoreo de animales	Cerdos	$\frac{H}{1000} \cdot N_{ex} \cdot (1 - C)$	N _{ex} : Excreción de nitrógeno al suelo por tipo de animal [kg NH ₃ -N /animal-año] C: Periodo del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno
	Aves		
	Ovinos		
	Bovinos	$\frac{H}{1000} \cdot N_{ex} \cdot \left(1 - \frac{C + D \cdot E}{C + E \cdot (1 - C)}\right)$	H: Fracción de nitrógeno excretado en las fecas y orina que se transforma en NH ₃ N _{ex} : Excreción de nitrógeno al suelo por tipo de animal [kg NH ₃ -N /animal-año] C: Periodo del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno D: Período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de verano E: Diferencia entre las dietas con respecto al valor proteico
	Caprinos		
	Camélidos		
	Equinos		
Aplicación de estiércol al suelo	Cerdos	$\frac{I}{1000} \cdot (N_{ex} \cdot C - (C \cdot F + G \cdot D) \cdot 365 \cdot 0,5)$	I: Fracción del nitrógeno aplicado como estiércol al suelo que se transforma en NH ₃ N _{ex} : Excreción de nitrógeno al suelo por tipo de animal [kg NH ₃ -N /animal-año] C: Periodo del año que el animal permanece en estabulación con dieta de invierno
	Aves		
	Ovinos		
	Bovinos	$\frac{I}{1000} \cdot (N_{ex} \cdot \left(\frac{C + D \cdot E}{C + E \cdot (1 - C)} - (C \cdot F + G \cdot D) \cdot 365\right))$	F: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época invernal G: Emisiones provenientes tanto de los alojamientos como de las producidas desde los lugares de almacenamiento del estiércol para época estival D: Período del año que el animal permanece en estabulación con dieta de verano E: Diferencia entre las dietas con respecto al valor proteico
	Caprinos		
	Camélidos		
	Equinos		

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

Los parámetros específicos requeridos para la estimación de los factores de emisión dependen del tipo de animal y se presentan en la Tabla 5-13.

Tabla 5-13 Factores a utilizar para la estimación de emisiones de crianza de animales

Tipo de animal	Factor C	Factor D	Factor E	Factor F	Factor G	Factor H	Factor I	N _{ex} [kg/animal-año]
Cerdos	1	-	-	0,01441	0,01441	-	0,14	14,73
Aves	1	-	-	0,0002	0,0002	-	0,19	0,55
Ovinos	0,1	-	1	0,00581	0,00581	0,046	0,22	12
Bovinos	0,5	0,5	1	0,04493	0,05869	0,08	0,22	59,54

Tipo de animal	Factor C	Factor D	Factor E	Factor F	Factor G	Factor H	Factor I	N _{ex} [kg/animal-año]
Caprinos	0,08	-	1	0,00581	0,00581	0,046	0,22	12
Camélidos	0,08	-	1	0,00581	0,00581	0,046	0,22	12
Equinos	0,08	-	1	0,02423	0,02423	0,046	0,22	50

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

5.3.2.3 Factores de emisión para la aplicación de fertilizantes

Los factores de emisión para la aplicación de fertilizantes provienen del manual de la EPA AP-42 (US-EPA, n.d.) y se presentan en la Tabla 5-14. Estos dependen del contenido de nitrógeno en el fertilizante, el cual se presenta en la Tabla 5-15. A partir de lo anterior, se estiman los factores de emisión por kg de fertilizante, resumidos en la Tabla 5-16.

Tabla 5-14 Factores de emisión para aplicación de fertilizantes [kg/ton N aplicado]

Tipo de fertilizante	NH ₃	NO
Amoniaco Anhidro	5,4	-
Urea	117	63
Nitrato de amonio	-	108
Sulfato de amonio	-	63
Cloruro de amonio	-	26,1

Fuente: Elaboración propia en base a (US-EPA, n.d.), Tabla 9.2.1-2

Tabla 5-15 Contenido de nitrógeno por tipo de fertilizante

Tipo de fertilizantes	Contenido de nitrógeno	Contenido de nitrógeno equivalente [kg N/kg fertilizante]
Amoniaco Anhidro	83,30%	1,2
Urea	46,70%	2,1
Nitrato de amonio	35,00%	2,9
Sulfato de amonio	21,20%	4,7
Cloruro de amonio	26,20%	3,8

Fuente: Elaboración propia en base a (US-EPA, n.d.), Tabla 9.2.1-1

Tabla 5-16 Factores de emisión estimado para aplicación de fertilizantes [kg/kg fertilizante]

Tipo de fertilizante	NH ₃	NO
Amoniaco Anhidro	0,00648	-
Urea	0,2457	0,1323
Nitrato de amonio	-	0,3132
Sulfato de amonio	-	0,2961
Cloruro de amonio	-	0,09918

Fuente: Elaboración propia

5.3.2.4 Factores de emisión de uso de plaguicidas

Los factores de emisión dependen de la presión de vapor del componente activo y de la aplicación del plaguicida, si es foliar (en superficie) o si es en el suelo. La presión de vapor se obtiene para cada componente activo del documento AP-42 y se complementa con la hoja de seguridad de cada plaguicida. Se muestran en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17 Factores de emisión de plaguicidas

Tipo de aplicación	Intervalo de presión de vapor [mm Hg a 20-25°]	FE [kg COV/t]
Aplicación foliar	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁶	350
	>10 ⁻⁴	580
	<10 ⁻⁶	2,7
Incorporación en suelo	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁶	21
	>10 ⁻⁴	52

Fuente: Elaboración propia en base a (US-EPA, n.d.)

5.3.3 Niveles de actividad del Sector Agroindustrial

En las siguientes subsecciones se presentan los niveles de actividad compilados para la elaboración del inventario de emisiones.

5.3.3.1 Niveles de actividad para quema agrícola

En la Tabla 5-18 se presentan las quemadas agrícolas autorizadas por CONAF para el año 2022 en las distintas provincias de la Región Metropolitana. El valor más relevante es el de 552,79 hectáreas quemadas, lo cual es mayor a las 416 ha de 2021. Es importante notar que este aumento puede deberse también a una mayor legalidad o nivel de reporte de este tipo de eventos.

Tabla 5-18 Quemas agrícolas periodo 2022, Región Metropolitana

Provincia	Tipo de quema		Total				Avisos con plan			
	Agrícola	Forestal	Nº avisos				Sup. tratada (ha)	Nº avisos	Sup. (ha)	% respecto al total
	Sup. tratada (ha)	Sup. tratada (ha)	Agrícola	Forestal	Mixto	Total				
SANTIAGO	0,9	0	1	0	0	1	0,9	0	0	0
CORDILLERA	7,28	0,18	71	0	1	72	7,46	0	0	0
CHACABUCO	9,9	1	23	0	1	24	10,9	0	0	0
MAIPO	106,22	2,9	216	0	7	223	109,12	0	0	0
MELIPILLA	217,45	0,13	200	3	0	203	217,58	0	0	0
TALAGANTE	205,26	1,57	159	0	10	169	206,83	0	0	0
TOTAL	547,01	5,78	670	3	19	692	552,79	0	0	

Fuente: CONAF (2022)

5.3.3.2 Niveles de actividad para crianza de animales

Para estimar las emisiones de amoniaco de la industria ganadera, es necesario obtener el número de animales. Para esto, se utilizaron los datos reportados para el año 2021 en el Censo Nacional Agropecuario y Forestal, obtenidos del INE. En la Tabla 5-19 se presenta el número de animales por especie para dicho año. A partir de esto, las especies fueron clasificadas en los tipos de animales considerados en la metodología del “Manual para el desarrollo de inventarios”, como se muestra en la Tabla 5-20.

Tabla 5-19 Existencias de animales por especie en la Región Metropolitana [número de animales], año 2021

Especie animal	Número animales
Bovinos	60.114
Ovinos	12.788
Caprinos	10.407
Porcinos	643.468
Caballares	14.652
Mulares y Burdéganos	156
Asnales	90
Llamas	57
Alpacas	120
Huarizos	0
Gallinas/Pollos	18.640.947
Pavos	866
Otras aves de corral	13.353

Fuente: Elaboración propia en base a Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2021⁴

Tabla 5-20 Existencias de animales por tipo de animal [número de animales], año 2021

Tipo de animal	Número de animales
Cerdos	643.468
Aves	18.655.166
Ovinos	12.788
Bovinos	60.114
Caprinos	10.407
Camélidos	177
Equinos	14.898

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 5-19

⁴ <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

5.3.3.3 Niveles de actividad para aplicación de fertilizantes

El nivel de actividad corresponde al consumo de fertilizantes por cultivo en la región Metropolitana. Este se determina en base a la superficie de cultivos sembrada y a la aplicación típica de nitrógeno por ha para cada tipo de cultivo, datos presentados en la Tabla 5-9 y la Tabla 5-10, respectivamente. Los niveles de actividad se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-21 Consumo de fertilizantes por cultivo [kg nitrógeno]

Tipo de cultivo	NA kg de nutriente [kg/año]
Trigo	1.188.800
Avena	142.500
Maíz	1.149.800
Poroto	7.750
Papa	148.600
Maravilla	64.300

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 5-9 y Tabla 5-10.

6. Resultados

6.1 Inventario de emisiones

En esta sección, se presentan los resultados de la estimación de emisiones. En la Tabla 6-1 se presenta el inventario total, en toneladas al año, de la Región Metropolitana para el año 2022 por rubro, lo que incluye el Sector Industrial y el Agroindustrial y sus categorías respectivas.

Por otra parte, en la Tabla 6-2 se presenta el inventario total, en toneladas al año, de la Región Metropolitana para el año 2022 por clase y en la Figura 6-1 su distribución porcentual. Se puede observar que la mayor parte de las emisiones de MP, MP10, SOx y NOx provienen de la actividad de fuentes industriales de proceso.

En las subsecciones siguientes, se presenta el inventario de cada sector en detalle.

Tabla 6-1 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por rubro

Sector	Clase	Rubro	PM	PM10	PM2.5	SOX	NOX	CO	COV	NH3	CO2
Industria	Combustión	Captación, tratamiento y distribución de agua	6	6	5	1	15	10	1	0	3.134
		Gestores de residuos	10	10	10	0	1.441	209	59	5	67.079
		Industria de la madera y silvicultura	0	0	0	0	1	0	0	0	209
		Industria del papel y celulosa	13	12	12	4	476	141	6	10	240.675
		Industria química, de plástico y caucho	4	4	4	1	70	41	3	1	71.048
		Minería	3	3	3	2	53	16	2	0	17.807
		Otras actividades	10	7	5	6	116	165	5	13	105.415
		Otras centrales de generación eléctrica	0	0	0	0	4	1	0	0	176
		Otras industrias manufactureras	38	37	36	13	700	360	32	13	591.519
		Pesca y acuicultura	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Plantas de tratamiento de aguas servidas	10	10	10	0	1.215	184	48	7	92.633
		Producción agropecuaria	4	4	4	2	113	31	5	1	24.009
		Producción de cemento, cal y yeso	7	3	2	5.476	358	16	2	0	168.333
		Refinería de petróleo	0	0	0	0	1	1	0	0	1.392
		Termoeléctricas	0	0	0	0	2	0	0	0	738
		Ventas y mantenimiento de vehículos automotores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Proceso	Gestores de residuos	1	1	1	87	32	-	10	-	23.706
		Minería	-	0	-	47	33	-	1	-	-
		Otras industrias manufactureras	13.629	10.895	4	14.600	4.455	-	91	-	1.175.907
		Producción de cemento, cal y yeso	19.203	15.961	51	3.023	1.232	-	0	-	314.672
Agroindustria	Agrícola	Químicos					2272		1917	681	
		Quemas agrícolas	18	20	17	3	9	174	1	2	1.732
	Ganadería	Crianza animal								10	
Total			32.956	26.974	166	23.267	12.597	1.351	2.184	745	2.900.185

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-2 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por clase

Sector	Clase	PM	PM10	PM2.5	SOX	NOX	CO	COV	NH3	CO2
Industria	Combustión	104	97	92	5.508	4.565	1.176	163	51	1.384.169
	Proceso	32.833	26.857	56	17.757	5.751	-	103	-	1.514.285
Agroindustria	Agrícola	18	20	17	3	2.281	174	1.918	683	1.732
	Ganadería								10	
Total		32.956	26.974	166	23.267	12.597	1.351	2.184	745	2.900.185

Fuente: Elaboración propia

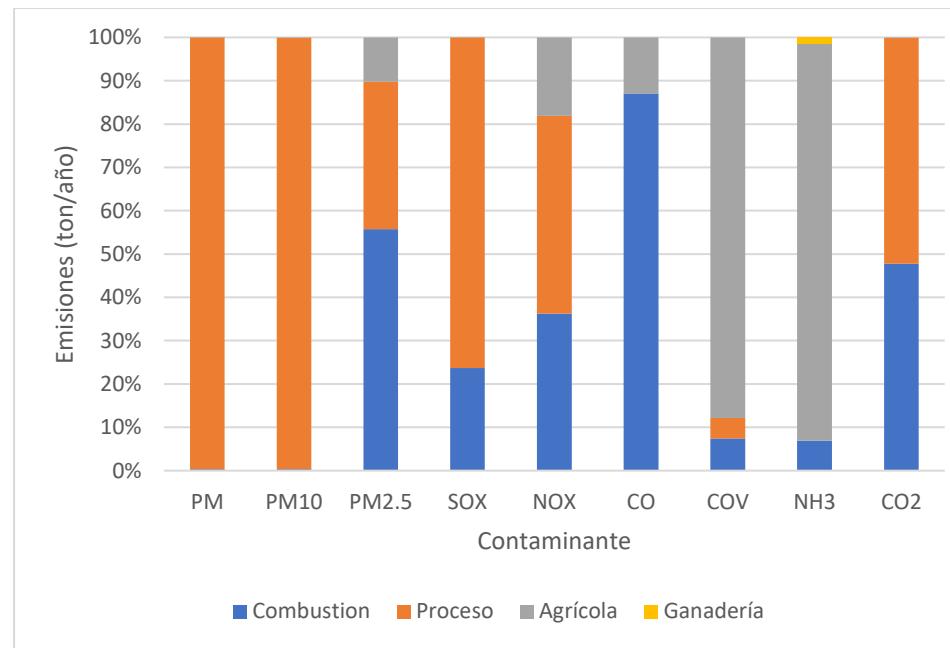


Figura 6-1 Inventario de emisiones para la Región Metropolitana, año 2022 [ton/año] por clase

Fuente: Elaboración propia

6.1.1 Sector Industrial

A continuación, se presentan las emisiones del Sector Industrial por rubro en la Tabla 6-3 y las 20 comunas con mayores emisiones de SOx en la Tabla 6-4.

Tabla 6-3 Emisiones Sector Industrial por rubro, año 2022 [ton/año]

Clase	Rubro	PM	PM10	PM2.5	SOX	NOX	CO	COV	NH3	CO2
Combustión	Captación, tratamiento y distribución de agua	6	6	5	1	15	10	1	0	3.134
	Gestores de residuos	10	10	10	0	1.441	209	59	5	67.079
	Industria de la madera y silvicultura	0	0	0	0	1	0	0	0	209
	Industria del papel y celulosa	13	12	12	4	476	141	6	10	240.675
	Industria química, de plástico y caucho	4	4	4	1	70	41	3	1	71.048
	Minería	3	3	3	2	53	16	2	0	17.807
	Otras actividades	10	7	5	6	116	165	5	13	105.415
	Otras centrales de generación eléctrica	0	0	0	0	4	1	0	0	176
	Otras industrias manufactureras	38	37	36	13	700	360	32	13	591.519
	Pesca y acuicultura	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Plantas de tratamiento de aguas servidas	10	10	10	0	1.215	184	48	7	92.633
	Producción agropecuaria	4	4	4	2	113	31	5	1	24.009
	Producción de cemento, cal y yeso	7	3	2	5.476	358	16	2	0	168.333
	Refinería de petróleo	0	0	0	0	1	1	0	0	1.392
	Termoeléctricas	0	0	0	0	2	0	0	0	738
	Ventas y mantención de vehículos automotores	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Combustión		104	97	92	5.508	4.565	1.176	163	51	1.384.169
Proceso	Gestores de residuos	1	1	1	87	32	-	10	-	23.706
	Minería	-	0	-	47	33	-	1	-	-
	Otras industrias manufactureras	13.629	10.895	4	14.600	4.455	-	91	-	1.175.907
	Producción de cemento, cal y yeso	19.203	15.961	51	3.023	1.232	-	0	-	314.672
Total Proceso		32.833	26.857	56	17.757	5.751	-	103	-	1.514.285
Total		32.937	26.954	149	23.264	10.317	1.176	266	51	2.898.453

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-4 Emisiones Sector industrial principales comunas según SOx [ton/año]

Comuna	PM	PM10	PM2.5	NOX	SOX	CO	COV	NH3	CO2
Colina	3	4	2	2.981	10.726	19	26	1	990.809
Tiltil	1.162	778	53	1.587	8.503	20	3	0	484.557
San Bernardo	7	7	5	522	1.424	48	7	2	95.611
Quilicura	18.056	15.449	5	435	1.192	46	6	1	89.829
Maipú	52	6	6	372	926	58	18	2	131.374
Calera de Tango	2	2	2	103	274	6	2	0	4.877
Padre Hurtado	12	11	11	1.306	72	210	67	9	190.908
Lampa	11	8	6	247	63	48	38	3	170.382
Cerrillos	2	57	2	278	57	23	10	1	60.013
Talagante	17	16	17	1.705	9	398	65	20	192.005
Pudahuel	6	6	6	92	4	29	4	1	31.886
Alhué	2	3	2	36	2	8	2	0	3.448
Puente Alto	13.350	10.413	6	251	2	76	4	5	131.417
Melipilla	2	2	2	88	1	17	4	0	12.189
Paine	2	2	2	34	1	12	1	0	16.517
Huechuraba	16	0	0	4	1	2	1	0	3.026
Renca	3	3	3	64	1	28	2	1	112.060
San Pedro	1	1	1	22	1	6	1	0	4.841
La Pintana	1	1	1	10	1	17	1	1	7.671
Buin	2	2	2	27	1	18	1	1	32.187
Total	32.711	26.773	135	10.166	23.262	1.090	260	48	2.765.607

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Sector Agroindustrial

A continuación, se presentan las emisiones correspondientes al Sector Agroindustrial, que se divide en las categorías de **ganadería y agrícola**.

En la Tabla 6-5, se presentan las emisiones de **ganadería** para el contaminante NH₃, para el año 2021. Se observa que la aplicación de estiércol es la actividad con mayores emisiones, seguido del alojamiento de animales y por último el pastoreo de animales. La mayor emisión por animal corresponde a los bovinos (33%), cerdos (32%) y aves (29%), seguido de equinos y caprinos, lo que es de esperar ya que coincide con la cantidad de cabezas de cada especie (Tabla 5-20) para el año 2021, en la Región Metropolitana.

Tabla 6-5 Emisiones de NH₃ por ganadería, año 2021 [kg/año]

Subsector	Alojamiento de animales	Pastoreo de animales	Aplicación de estiércol	Total
Cerdos	2.054	0	1.323	3.378
Aves	827	0	2.210	3.036
Ovinos	2	8	4	13
Bovinos	1.380	0	2.086	3.466
Caprinos	2	6	64	72
Camélidos	0	0	1	1
Equinos	13	38	379	430
Total	4.278	53	6.067	10.397

Fuente: Elaboración propia

Para la categoría **agrícola**, se muestra en la Tabla 6-6 las emisiones estimadas para **quemas agrícolas**, distinguiendo cada contaminante de interés. Se observa una mayor emisión de CO₂, respecto al resto de contaminantes.

Tabla 6-6 Emisiones por quemas agrícolas, 2022 [ton/año]

Contaminante	Emisión
COV	1,4
CO	174,4
PTS/MP	18,2
MP10	19,7
MP2,5	16,9
NH ₃	1,9
CN	2,0
NOx	8,9
SOx	2,6
CO ₂	1.731,8
CH ₄	3,1

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la categoría agrícola, se tiene el uso de **productos químicos** como **fertilizantes**, cuyas emisiones de NH₃ de distintos tipos de fertilizantes se muestran en la Tabla 6-7 por tipo de cultivo, mientras que en la Tabla 6-8 se muestran las emisiones de NO también por tipo de cultivo.

Se observa que el fertilizante Urea es el con mayores emisiones de NH₃, mientras que el Nitrato de amonio es el mayor emisor de NO, para el año 2022 en la Región Metropolitana.

Otros productos químicos son los **plaguicidas**, cuyas emisiones de COV de los 20 más emisores muestran en la Tabla 6-9 para el año 2019. Si se considera todos los ingredientes activos, el total es de 1.817 ton de emisión de COV al año.

Tabla 6-7 Emisiones de NH₃ por uso de fertilizantes, año 2022 [ton/año]

Tipo de cultivo	Amoniaco Anhidro	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Cloruro de amonio
Trigo	8	292	-	-	-
Avena	1	35	-	-	-
Maíz	7	283	-	-	-
Poroto	0	0	-	-	-
Papa	1	37	-	-	-
Maravilla	0	16	-	-	-
Total	17	662	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-8 Emisiones de NO por uso de fertilizantes, año 2022 [ton/año]

Tipo de cultivo	Amoniaco Anhidro	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Cloruro de amonio
Trigo	-	157	372	352	118
Avena	-	19	45	42	14
Maíz	-	152	360	340	114
Poroto	-	0	0	0	0
Papa	-	20	47	44	15
Maravilla	-	9	20	19	6
Total	-	356	844	798	267

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-9 Emisiones de COV por uso de plaguicidas, año 2019 [ton/año]

Ingrediente activo	Emisiones COV
AZUFRE	622
ACEITE PARAFÍNICO	242
ÁCIDO GIBERÉLICO	164
CIANAMIDA HIDROGENADA	134
GLIFOSATO-ISOPROPILAMONIO	95
GLIFOSATO-MONOAMONIO	49
DICLORURO DE PARAQUAT	41
ACETATO DE (E/Z)-8-DODECEN-1-ILO	40
CLORPIRIFÓS	38
PIRACLOSTROBINA	35
ÓXIDO CUPROSO	32
POLISULFURO DE CALCIO	31
HIDRÓXIDO DE COBRE	25
GLIFOSATO-POTASIO	19
TEBUCONAZOL	16
OXICLORURO DE COBRE	15
Bacillus subtilis Cepa QST 713	15
OXIFLUORFENO	13
MANCOZEB	12
PENDIMETALINA	10

Fuente: Elaboración propia

6.2 Identificación de sectores, categorías, subcategorías u otros con mayor aporte de contaminantes atmosféricos

6.2.1 Sectores

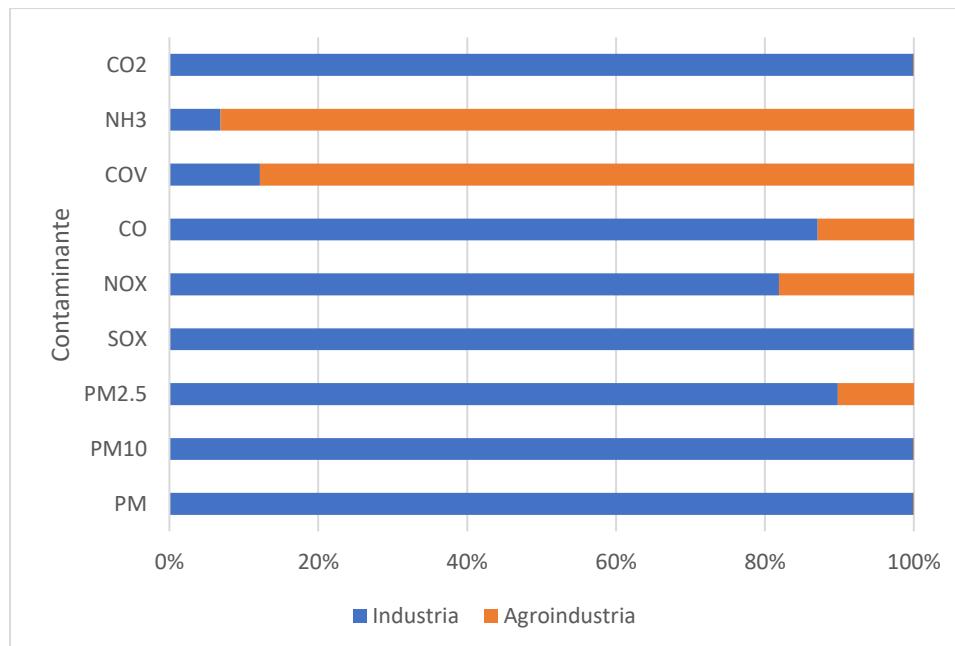
Se compara el Sector Industrial con el Agroindustrial. Se presentan las emisiones en la Tabla 6-10, con el porcentaje que cada sector representa respecto al total de emisiones por contaminante. Se observa que el Sector Industrial tiene entre el 82% al 100% de las emisiones de todos los contaminantes, excepto de COV y NH₃, contaminantes para los cuales únicamente representa un 12,2% y un 6,9%. Se puede observar gráficamente en la Figura 6-2.

También se observa en la Tabla 6-10, una mayor emisión de CO₂, luego de MP. Estas últimas provienen principalmente de procesos industriales (ver Tabla 6-11). Mientras que, para el Sector Agroindustrial, el contaminante con mayor emisión es el NOx y luego COV, los cuales representan un 18,1% y 87,8% de las emisiones totales de cada uno de los contaminantes respectivamente, proveniendo principalmente de actividades agrícolas (ver Tabla 6-11).

Tabla 6-10 Emisiones por Sector para el año 2022

Contaminante	Industria		Agroindustria	
	ton/año	%	ton/año	%
PM	32.937	99,9%	18	0,1%
PM10	26.954	99,9%	20	0,1%
PM2.5	149	89,8%	17	10,2%
SOX	23.264	100,0%	3	0,0%
NOX	10.317	81,9%	2.281	18,1%
CO	1.176	87,1%	174	12,9%
COV	266	12,2%	1.918	87,8%
NH3	51	6,9%	693	93,1%
CO2	2.898.453	99,9%	1.732	0,1%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-2 Representación porcentual de emisiones de cada sector por contaminante**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-11 Emisiones por Sector y Clase para el año 2022

Sector	Industria				Agroindustria			
Clase	Combustión		Proceso		Agrícola		Ganadería	
Contaminante	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
PM	104	0%	32.833	100%	18	0%		0%
PM10	97	0%	26.857	100%	20	0%		0%
PM2.5	92	56%	56	34%	17	10%		0%
SOX	5.508	24%	17.757	76%	3	0%		0%
NOX	4.565	36%	5.751	46%	2.281	18%		0%
CO	1.176	87%	-	0%	174	13%		0%
COV	163	7%	103	5%	1.918	88%		0%
NH3	51	7%	-	0%	683	92%	10	1%
CO2	1.384.169	48%	1.514.285	52%	1.732	0%		0%

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Categorías

Las categorías de ambos sectores se muestran en la Tabla 6-12, y sus emisiones en la Tabla 6-1. A continuación, se muestra entre la Figura 6-3 y Figura 6-9, gráficos de comparación de emisiones por contaminante, para cada categoría.

Tabla 6-12 Categorización de fuentes

Sector	Clase	Categoría	Rubro
Industria	Combustión	Industria	Comercio
			Ventas y mantención de vehículos automotores
			Captación, tratamiento y distribución de agua
			Gestores de residuos
			Industria de la madera y silvicultura
			Industria del papel y celulosa
			Industria química, de plástico y caucho
			Minería
			Otras centrales de generación eléctrica
			Otras industrias manufactureras
			Pesca y acuicultura
			Plantas de tratamiento de aguas servidas
			Producción agropecuaria
			Producción de cemento, cal y yeso
	Proceso	Industria	Refinería de petróleo
			Termoeléctricas
			Otras actividades
Agroindustria	Agrícola	Agrícola	Gestores de residuos
			Minería
	Ganadería	Ganadería	Otras industrias manufactureras
			Producción de cemento, cal y yeso
	Ganadería	Ganadería	Químicos
			Quemas agrícolas
			Crianza animal

Fuente: Elaboración propia

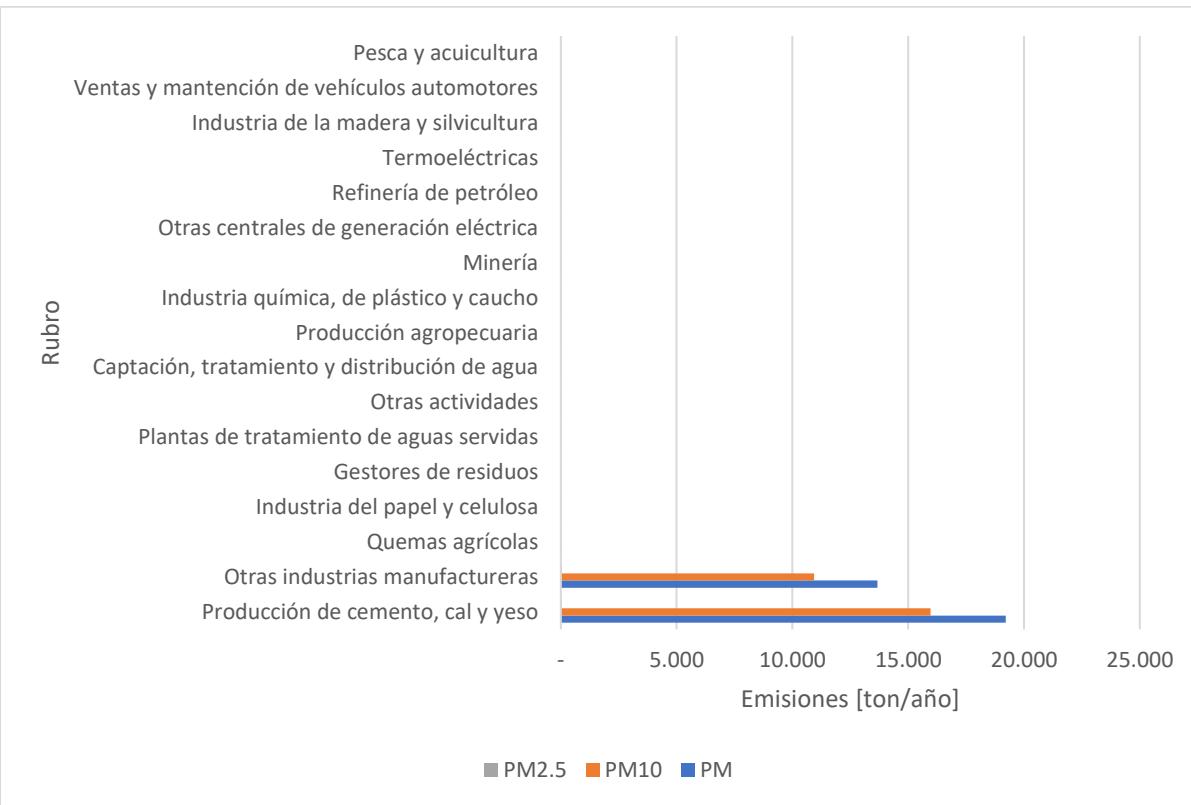


Figura 6-3 Comparación de emisiones de MP por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

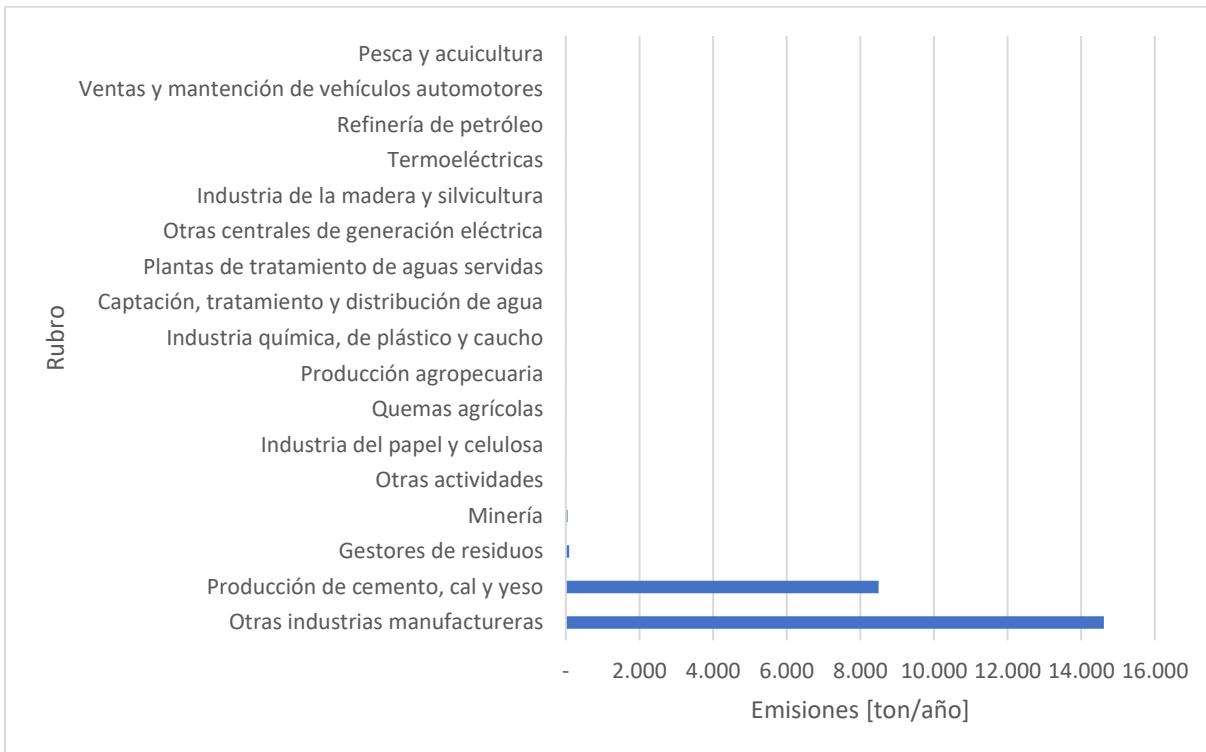


Figura 6-4 Comparación de emisiones de SOx por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

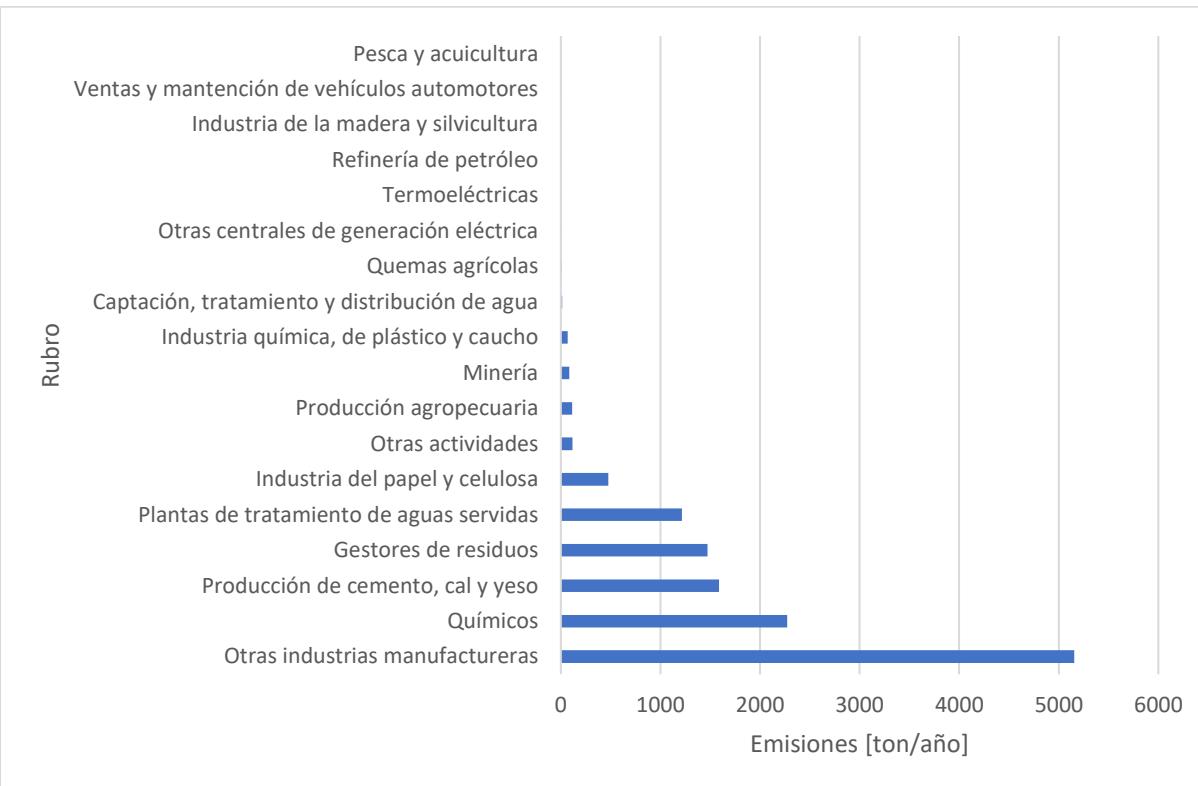


Figura 6-5 Comparación de emisiones de NOx por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

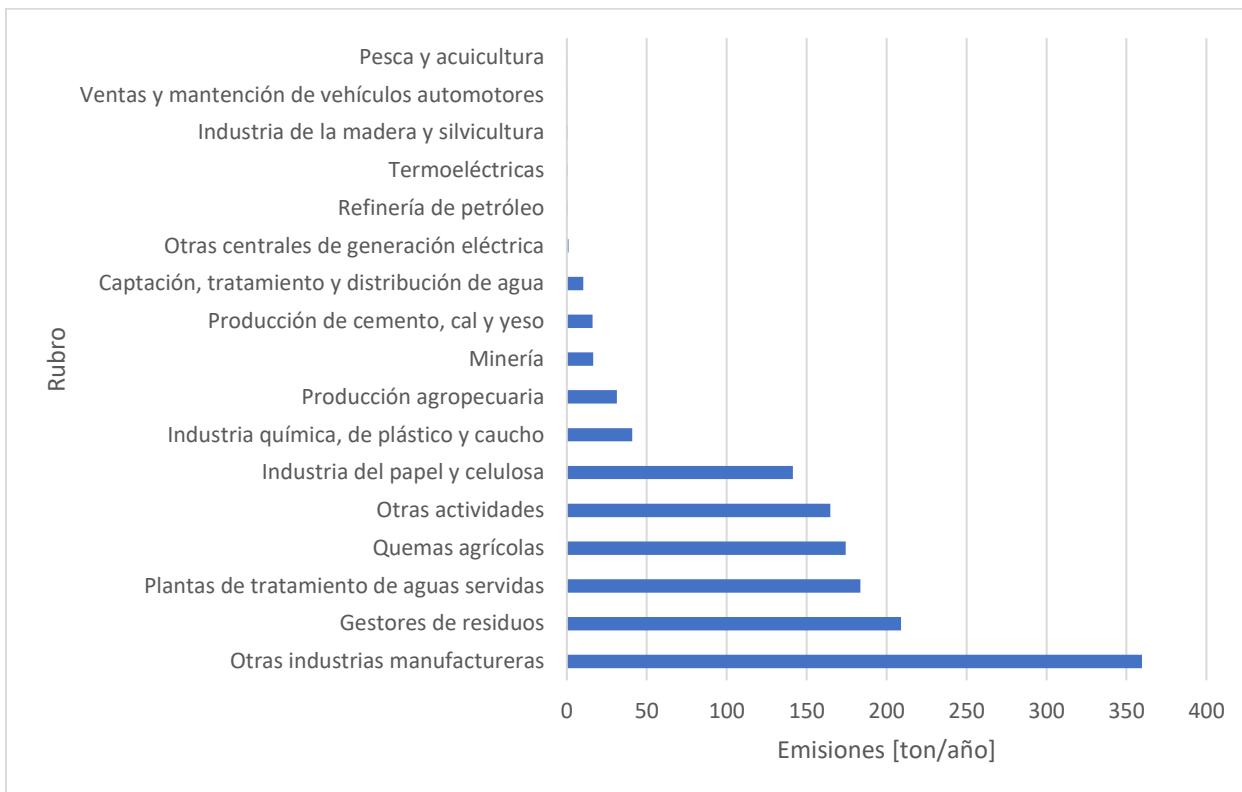


Figura 6-6 Comparación de emisiones de CO₂ por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia



Figura 6-7 Comparación de emisiones de COV por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

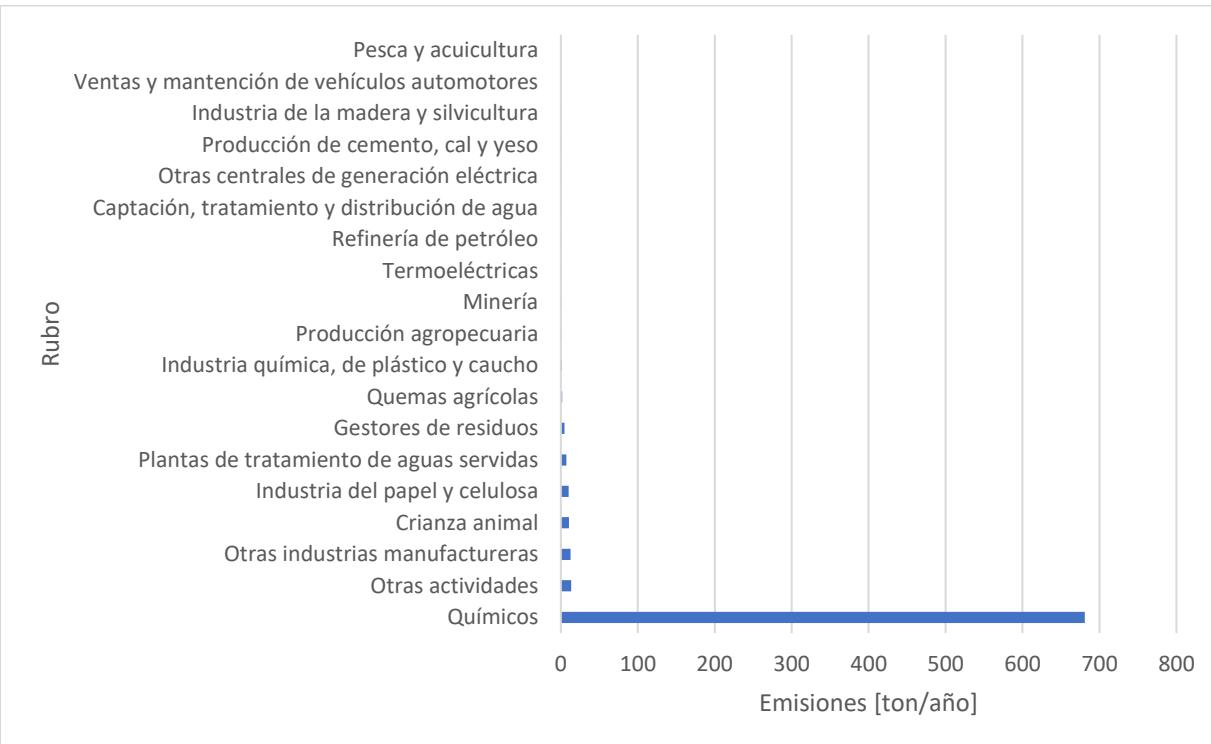
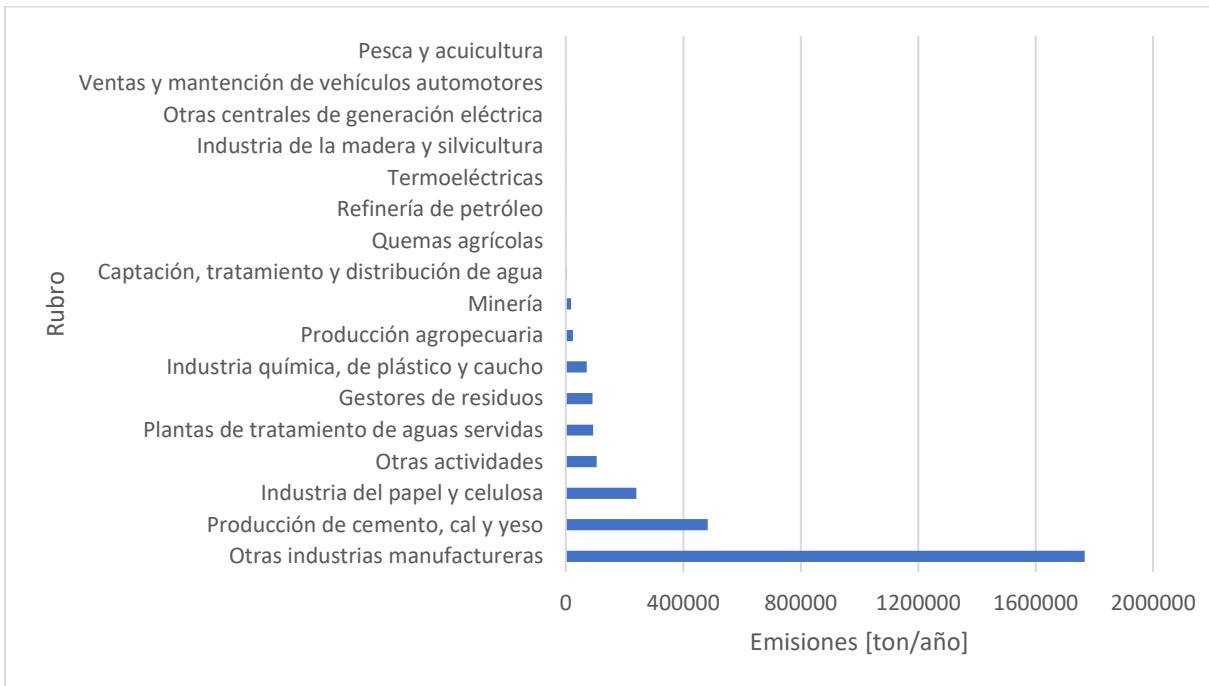


Figura 6-8 Comparación de emisiones de NH₃ por categoría [ton/año]

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-9 Comparación de emisiones de CO₂ por categoría [ton/año]**

Fuente: Elaboración propia

6.3 Identificación del aporte de emisiones al Sector Industrial de los Grandes Establecimientos de la RM

A continuación, se presentan las emisiones provenientes de los titulares catalogados como grandes establecimientos en el “Listado actualizado de listado de grandes establecimientos de la RM (14 junio 2023)⁵” (ver Tabla 4-5). El listado entrega titulares con sus RUTs, los cuales fueron buscados en el Registro de Fuentes y Procesos (2023) para obtener los códigos de fuentes y establecimientos que le corresponden. Tal como se menciona en la Sección 4.1.2, hay 3 de los 62 grandes establecimientos que no cuentan con información.

⁵ Disponible en: <https://mma.gob.cl/listado-de-grandes-establecimientos-en-la-rm/>

Tabla 6-13 Emisiones de Grandes Establecimientos [ton/año]

Empresa	PM	PM10	PM2.5	SOX	NOX	CO	COV	NH3	CO2
ACEROS AZA S.A.	1	1	1	0	62	18	4	1	968.557
ACEROS CHILE S A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AISLANTES NACIONALES SOCIEDAD ANONIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AISLANTES VOLCAN S A	0	0	0	0	0	0	0	0	4
ASTARA LOGISTICA CHILE SPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AUTOMOTORA INALCO S.A.	1								
BALL CHILE S.A.	1	1	1	0	79	12	3	0	6.330
CEMENTO POLPAICO S A	1.160	547	53	8.499	1.572	16	2	0	479.206
CEMENTOS BICENTENARIO S.A	18.049	15.417	0	0	0	0	0	0	0
CHILENA DE MOLDEADOS S.A.	1								
CIA INDUSTRIAL EL VOLCAN S A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CIA MOLINERA SAN CRISTOBAL S A	0	0	0	0	0	0	0	0	48
CMPC TISSUE S A	4	4	4	2	207	54	2	5	86.867
COMUNIDAD DE SERVICIOS REMODELACION SAN BORJA	5	5	5	0	7	9	0	0	2.844
CONSORCIO SANTA MARTA S A	10	10	10	0	1.437	202	59	5	53.989
CRISTALERIAS DE CHILE S A	2	2	2	72	132	39	19	2	114.223
CRISTALERIAS TORO SPA	3	2	2	143	291	20	19	1	78.905
DIANA FOOD CHILE SPA	1	1	1	0	1	10	1	0	11.570
ELECTROLUX DE CHILE S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EMPRESAS CAROZZI S A	1	1	1	0	11	7	0	0	12.630
ENERGIAS INDUSTRIALES S.A	10	7	5	6	110	164	5	13	103.387
ESCO ELECMETAL FUNDICION LIMITADA	2	2	0	10.726	2.922	2	22	0	88.804
ESSITY CHILE S.A.	0	0	0	0	5	4	0	0	7.418
EVERCRISP SNACK PRODUCTOS DE CHILE S A	0	0	0	0	1	0	0	0	263
EXTRUDER S A	0	0	0	0	4	3	0	0	5.754
FASTPACK S A	0	0	0	0	0	0	0	0	55
FUNDICION VULCO LTDA	2	2	0	1.372	400	0	3	0	11.947
GENERADORA METROPOLITANA SPA	0	0	0	0	2	0	0	0	738
GOODYEAR DE CHILE S A I C	0	0	0	0	13	11	1	0	20.044
INDUSTRIAS CERESITA S A	0	0	0	0	0	0	0	0	17
INDUSTRIAS DE BALATAS SPA	0	0	0	0	0	0	0	0	321
KIMBERLY-CLARK CHILE S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	4
LATAM AIRLINES GROUP S.A.		0	0	0	4	1			1.977
LICAN ALIMENTOS S A	0	0	0	0	0	0	0	0	21

Empresa	PM	PM10	PM2.5	SOX	NOX	CO	COV	NH3	CO2
LUCCHETTI CHILE S.A.	1	1	1	0	4	6	0	0	4.294
MAGOTTEAUX ANDINO S.A.	1	231	0	4	4	0	0	0	0
MALTEXCO S A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MANUFACTURAS METALURGICA RHEEM CHILENA S.A.	2								
METALPREN CHILE SPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
METALURGICA ARRIGONI S.A.	11								
MOLINERA FERRER HNOS. S.A.	1								
MOLYMETNOS S.A.	1	1	1	0	15	7	0	0	13.044
NESTLE CHILE SA	1	1	1	0	9	8	1	0	14.144
PAPELES CORDILLERA SPA	5	5	5	2	236	65	3	4	110.070
PROA S.A	0	0	0	0	2	2	0	0	3.609
PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA TUBEXA S.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	4
QUIMETAL INDUSTRIAL S A	0	0	0	0	5	4	0	0	7.840
REFRACTARIOS IUNGE LTDA	0	0	0	0	0	0	0	0	2
SCHAFFNER S A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SGS CHILE LTDA SOCIEDAD DE CONTROL	0	0	0	0	1	0	0	0	41
SGS MINERALS S.A.	0	0	0	0	1	0	0	0	22
SOC INDUSTRIAL ROMERAL S A	4.698	3.019	1	0	23	12	1	1	25.504
SOC MINERA PETREOS QUILIN LIMITADA	0	0	0	0	2	1	0	-	1.961
SOCIEDAD INDUSTRIAL PIZARRENO S.A.	0	0	0	0	3	3	0	0	4.856
SOPROCAL CALERIAS E INDUSTRIAS S A	-	-	-	-	17	0		0	3.451
SOPROLE S.A.	2	2	2	1	52	15	1	1	23.165
UNILEVER CHILE LTDA	0	0	0	0	7	5	0	0	9.160
VULCO S A	0	0	0	0	4	3	0	0	4.868
WATT'S S.A.	1	1	1	0	17	14	1	1	25.344

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6-14 se comparan los totales de estos establecimientos con respecto a los totales del sector. En esta se puede observar que estos establecimientos tienen un aporte distinto según el contaminante, representando alrededor de un 89,5% de las emisiones de SOx, mientras que para el NH3 representan sólo un 4,8% aproximadamente.

Tabla 6-14 Aporte de emisiones al Sector Industrial de los Grandes Establecimientos [ton]

Contaminante	Emisión Grandes Establecimientos	Emisión Sector Industrial	Porcentaje
PM	23.979	32.956	72,8%
PM10	19.266	26.974	71,4%
PM2.5	99	166	59,7%
SOX	20.829	23.267	89,5%
NOX	7.665	12.597	60,8%
CO	717	1.351	53,1%
COV	149	2.184	6,8%
NH3	36	745	4,8%
CO2	2.307.303	2.900.185	79,6%

Fuente: Elaboración propia

Para analizar establecimientos de manera más gráfica, en las siguientes figuras se muestran gráficos de Pareto para algunos contaminantes. Para poder visualizarlo mejor, fueron excluidos los establecimientos con emisiones muy bajas.

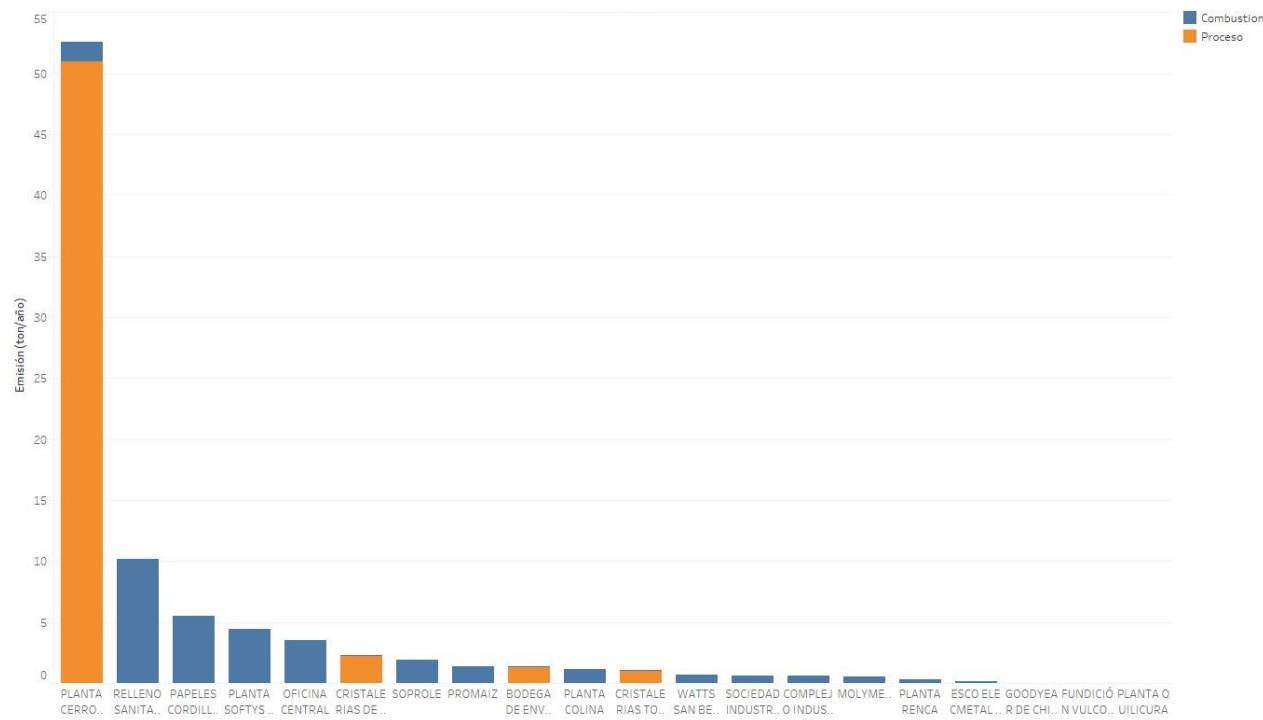


Figura 6-10 Gráfico de Pareto para emisiones de MP2.5 por grandes establecimientos (ton/año)

Fuente: Elaboración propia



Figura 6-11 Gráfico de Pareto para emisiones de SOx por grandes establecimientos (ton/año)

Fuente: Elaboración propia

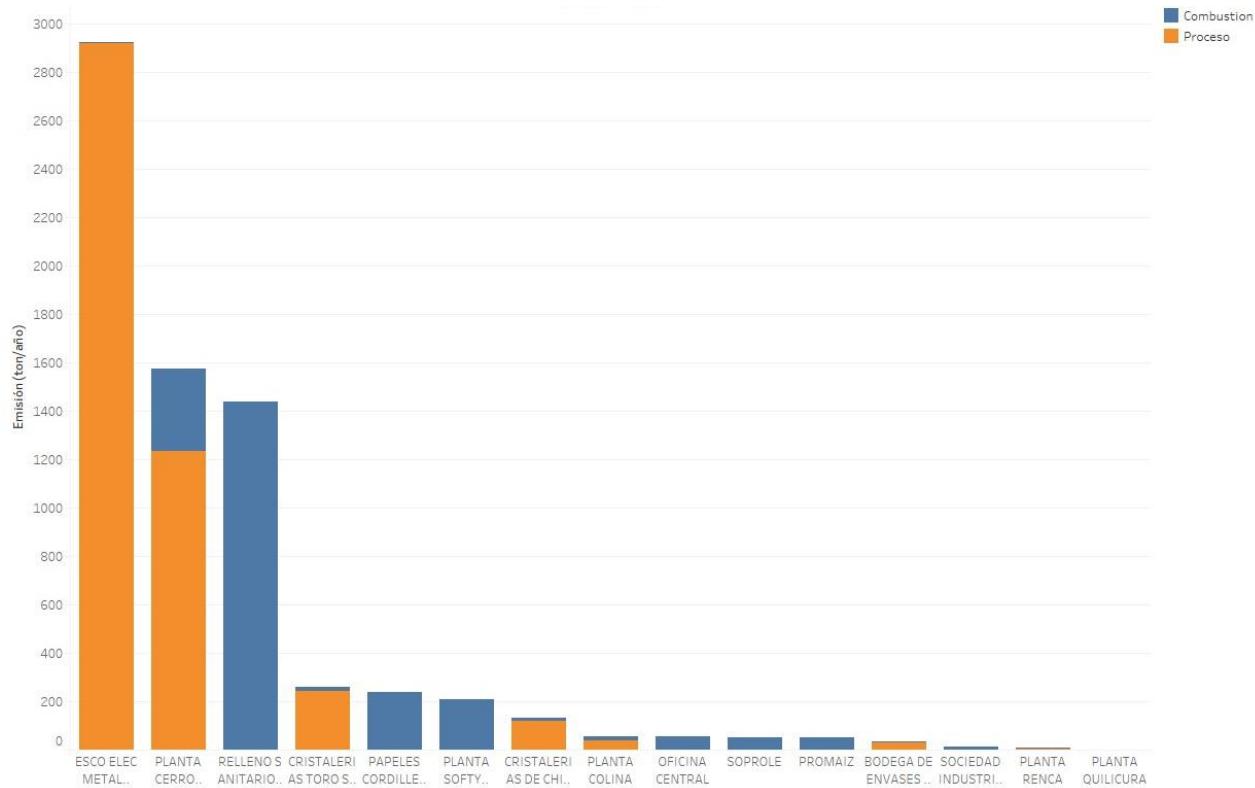


Figura 6-12 Gráfico de Pareto para emisiones de NOx por grandes establecimientos (ton/año)

Fuente: Elaboración propia

6.4 Comparación con inventarios anteriores

En las secciones siguientes se comparan los resultados obtenidos en este estudio con otros inventarios previos. Se comparan primero las estimaciones realizadas para el inventario del sector industrial y luego el sector agroindustrial.

6.4.1 Sector Agroindustrial

6.4.1.1 Crianza animal

En la Tabla 6-15 se compara el inventario realizado en este estudio para las emisiones de NH₃ asociadas a la crianza animal con otros tres inventarios realizados por USACH (2014), POCH (2016) y MMA (2016a). Se observa que los inventarios realizados por USACH (2014) y MMA (2016b) son cercanos a las estimaciones de este estudio, mientras que POCH (2016) supera por varias órdenes de magnitud las estimaciones de todos los otros inventarios.

Tabla 6-15 Comparación de emisiones provenientes de crianza animal con otros inventarios

Estudio	Emisión de NH ₃ [ton/año]
POCH (2016)	14.631
MMA (2016a)	17
USACH (2014)	19
Elaboración propia	10

Fuente: Elaboración propia

6.4.1.2 Fertilizantes

En la Tabla 6-16 se compara el inventario estimado para las emisiones de NO_x y NH₃ asociadas al uso de fertilizantes en la agroindustria con otros dos inventarios realizados nuevamente por USACH (2014) y POCH (2016). Cabe notar que ninguno otro estudio estima NO_x.

Además, se observa que en el inventario realizado por POCH (2016), nuevamente las estimaciones superan ampliamente las emisiones estimadas en los otros dos.

Tabla 6-16 Comparación de emisiones provenientes de fertilizantes con otros inventarios

Estudios	Emisiones [ton/año]	
	NO _x	NH ₃
POCH (2016)	-	2.579
USACH (2014)		14
Elaboración propia	2.272	681

Fuente: Elaboración propia

6.4.1.3 Plaguicidas

En el caso de las emisiones asociadas a plaguicidas, no se encontraron antecedentes que permitieran comparar con algún inventario realizado en Chile. Por ello, se consultó el inventario elaborado en el condado de Ventura, Estados Unidos (California Environmental Protection Agency, 2023), según el cual se emiten 1.151 ton/día de COVs asociadas a plaguicidas. Se tomó este inventario debido a la similitud en la superficie utilizada con fines agrícolas en dicho lugar, que alcanza 105.260 ha (United States Department of Agriculture, 2017), mientras que en la RM la superficie agrícola alcanza 103.479 ha (ODEPA & CIREN, 2020). En base a esta información, se estimó un factor de emisión por hectárea de $1,093 \cdot 10^{-5}$ y luego se multiplicó por el número de hectáreas cultivadas en la RM. Los resultados y comparación se muestran en la Tabla 6-17.

Tabla 6-17 Comparación de emisiones provenientes de plaguicidas con otros inventarios

Estudio	Emisión de COV [ton/año]
Estimación en base a CEPA (2023)	413
Elaboración propia	1.817

Fuente: Elaboración propia

6.4.1.4 Quemas agrícolas

A continuación, en la Tabla 6-18 se compara el inventario estimado para las emisiones de MP₁₀, MP_{2,5}, NOx, SOx, COV, CO, NH₃ y CO₂ asociadas a las quemas agrícolas en la agroindustria con otros inventarios realizados por CONAMA (1997), (DICTUC, 2007), MMA (2016a) y USACH (2014). Se observa que, en general, ninguno de los inventarios precedentes supera en todos los contaminantes al inventario desarrollado y que además, los órdenes de magnitud son similares.

Tabla 6-18 Comparación de emisiones provenientes de quemas agrícolas con otros inventarios

Estudios	Emisiones [ton/año]							
	MP10	MP2,5	NOx	SOx	COV	CO	NH3	CO2
CONAMA (1997)	65	-	1	-	74	410	-	-
DICTUC (2007)	167	159	69	8	116	1.447	8	-
MMA (2016a)	131	118	81	28	-	731	1	6
USACH (2014)	31	26	10	2	2	299	11	-
Elaboración propia	20	17	9	3	1	174	2	1.732

Fuente: Elaboración propia

7. Identificación del potencial de reducción de emisiones

7.1 Antecedentes revisados

Para levantar información de posibles medidas de reducción se consultaron los siguientes documentos:

- **EPA**, La Agencia de Protección del Medio Ambiente, una agencia del gobierno de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente, mediante el documento “Important Information Concerning the Menu of Control Measures” (US-EPA, 2022).
- “Guía Metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales” (MMA, 2019)
- “Guía para la estimación de emisiones de amoniaco en Sector Agroindustrial” (GreenLab-Dictuc, 2021).
- **IISA**, “International Institute for Applied Systems Analysis”, una organización científica de investigación localizada en Luxenburgo, Austria, mediante el documento “Policy Scenarios for the Revision of the Thematic Strategy on Air Pollution” (IIASA, 2013)
- Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones en el Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago (POCH, 2016).
- “Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28 N°23.VOL. 28 No. 3. (Hoyos, et. al., 2008).

7.2 Medidas de reducción disponibles

A continuación, se explican las medidas disponibles por contaminante según categorías, subcategorías y tipos de fuentes.

7.2.1 Medidas de reducción de material particulado

El sector industrial presenta las mayores emisiones de MP2.5, MP 10 y MPS. En la Tabla 6-3 se observan las categorías con mayor emisión de material particulado.

Tabla 7-1 Categorías con mayor emisión de material particulado [ton/año]

Categoría	MPS	MP10	MP2,5
Plantas de tratamiento de aguas servidas	790	787	787
Producción de cemento, cal y yeso	949	337	192
Otras actividades	575	571	569
Otras industrias manufactureras	226	216	214
Producción agropecuaria	88	88	88
Total	2.628	1.999	1.849

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las subcategorías y tipos de fuentes que se utilizan en el sector industrial con mayores emisiones de material particulado fino.

Tabla 7-2 Emisiones de MP2,5 por tipo de fuente [ton/año]

Categoría	Subcategoría	Fuente	Combustible	Emisiones MP2,5
Plantas de tratamiento de aguas servidas	Calderas	Caldera agua caliente	Gas natural	777
Producción de cemento, cal y yeso	Horno	Horno rotatorio	Coke de petróleo (petcoke)	191
Otras actividades	Calderas	Caldera agua caliente	Gas Natural Gas licuado de Petróleo	149
	Grupos Electrógenos	-	Petróleo N 2 (diésel)	70
Otras industrias manufactureras	Calderas	Caldera industrial	Gas natural	123
	Grupo Electrógeno	-	Petróleo N 2 (diésel)	22
	Horno	Horno de panadería	Licuado de petróleo	9
Producción agropecuaria	Grupo Electrógeno	-	Petróleo N 2 (diésel)	87

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.1 Medidas de reducción de material particulado en calderas

La selección del tipo de equipo a utilizar depende del porcentaje de reducción de emisiones de MP que se desea obtener, además de la normativa a cumplir, del caudal de gases, de las características del polvo (tamaño, comportamiento eléctrico, etc.) y del costo. Las características y volumen de polvo dependen a su vez de las características del combustible. Así las siguientes medidas de reducción para calderas son las siguientes:

Tabla 7-3 Eficiencia de medidas de reducción de MP para calderas

Tamaño de partículas	Eficiencia medidas de reducción calderas [%]		
	Filtros de mangas	Precipitadores electroestáticos	Ciclones
MP2,5	99	99,4	20
MP10	99	99,6	80
MPS	>99	99,8	90

Fuente: Elaboración propia

Un **filtro de mangas** consiste en capas de filtros de tela dispuestas para que el flujo gaseoso las atreviese y el material particulado se acumule en estas. Opera con largos ciclos de funcionamiento y ciclos cortos de limpieza. Un parámetro importante que determina la limpieza del filtro es el aumento de la pérdida de carga en el filtro, debido a la formación de una capa de partículas, la cual también mejora la eficiencia de remoción. Un filtro de mangas puede llegar a tener eficiencias de remoción entre 99% y 99,9% de material particulado. Los parámetros de operación más relevantes son las características del gas, partículas y de la tela del filtro. Equipos como los filtros de manga actualmente pueden ser utilizados en flujos de gases de alta temperatura ya que existen en el mercado telas que permiten fabricar mangas resistentes hasta 700 °C, además su eficiencia es independiente del flujo de gases y de la composición de estos. Se destaca la capacidad de los ESP y filtro de mangas, de no sólo controlar emisiones de MP, **sino que también mercurio y otros metales HAP.**

Los filtros de tela son útiles para recolectar partículas con resistividades demasiado bajas o demasiado altas para la recolección con precipitadores electrostáticos. Los filtros de tela son útiles para controlar partículas menores o iguales a 10 micrómetros de diámetro (PM10) y partículas menores o iguales a 2,5 micrómetros de diámetro (PM2,5). Su eficiencia es independiente del caudal.

En el caso de **precipitador electrostático (ESP)**, por sus siglas en inglés) utiliza las fuerzas eléctricas para atraer las partículas de la corriente gaseosa hacia una placa de control, para así remover material particulado. Las partículas son cargadas eléctricamente al pasar por una región con un flujo gaseoso de iones, para luego ser atraídas por placas de control de alto voltaje. Las partículas atrapadas en las placas de control son removidas periódicamente por el equipo de control (US-EPA, 2002). Los parámetros de diseño del equipo dependen de las características de la operación como eficiencia deseada, densidad del gas, flujo gaseoso, viscosidad del gas, entre otras.

El uso de **ciclones** es aplicable sólo para material particulado grueso, normalmente se emplean como sistema preliminar de recolección de emisiones. Son mecanismos simples, pero ineficientes a partículas menores a 10 µm y su eficiencia depende de los caudales.

En el caso de los **lavadores de gases tipo venturi**, la eficiencia de captación es mayor para tamaños de partículas gruesas sobre 10 µm y requieren del uso de un sistema para eliminar la

neblina, tratar los residuos líquidos y posteriormente los lodos generados. Requieren el uso de un separador ciclónico y un eliminador de neblina para la recuperación del líquido del lavado.

7.2.1.2 Medidas de reducción de material particulado en grupos electrógenos

Las medidas de reducción de MP para grupos electrógenos de combustibles diésel, son principalmente filtros DPF y oxidación catalítica diésel.

Los **filtros DPF** por sus siglas en inglés (Diesel Particulate Filter), son un componente importante en los motores diésel modernos. Un filtro **DPF** es un dispositivo que se coloca en el sistema de escape de un motor diésel para capturar y retener partículas de hollín y otros contaminantes generados por la combustión del combustible. Estas partículas son extremadamente pequeñas, y en algunos casos pueden ser demasiado pequeñas para ser visibles a simple vista. Sin embargo, pueden ser muy dañinas para el medio ambiente y la salud humana. El DPF está diseñado para eliminar estas partículas antes de que salgan del escape y lleguen al aire.

El filtro DPF funciona mediante la creación de una barrera física que atrapa y retiene las partículas de hollín y otros contaminantes que se generan durante la combustión del diésel. Esta barrera física está compuesta por una serie de poros microscópicos que están diseñados para ser lo suficientemente pequeños para capturar partículas, pero lo suficientemente grandes para permitir que los gases de escape pasen a través de ellos. Con el tiempo, el filtro se llena de partículas y necesita ser limpiado. Para hacer esto, el sistema de escape del motor diésel inyecta combustible adicional en el motor, lo que eleva la temperatura de los gases de escape. Estos gases de escape calientes se mueven a través del filtro y queman las partículas atrapadas, reduciéndolas a ceniza. Este proceso se conoce como regeneración y ocurre automáticamente mientras el vehículo está en uso normal.

La **Oxidación Catalítica Diesel (DOC)** o el catalizador de oxidación diésel es un dispositivo de postratamiento para motor diésel, que consta de un sustrato en forma de panal de cerámica /metal recubierto con un catalizador de oxidación a base de metales preciosos de alta actividad, empaquetado en un recipiente de acero inoxidable. El catalizador de oxidación diésel está diseñado para convertir el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y la fracción SOF de materia particulada en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

Tabla 7-4 Eficiencia de medidas de reducción de MP para grupos electrógenos

Medida de reducción	% eficiencia MP
Filtros DPF	85-95
Oxidación catalítica diésel	10-40

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Medidas de reducción de NOx

El sector industrial presenta las mayores emisiones, donde según la Tabla 6-3, las categorías con mayor emisión de óxidos de nitrógeno son:

Tabla 7-5 Categorías con mayor emisión de NOx [ton/año]

Sector	Categoría	NOx
Industrial	Plantas de tratamiento de aguas servidas	12.324
	Otras actividades	3.860
	Termoeléctricas	1.700
	Otras industrias manufactureras	1.257
	Producción agropecuaria	1.245
	Industria de papel y celulosa	448
Agrícola	Agricultura	2.274
Total		21.863

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las subcategorías y tipos de fuentes y combustible que mayores emisiones presentan según categoría para óxidos de nitrógeno:

Tabla 7-6 Emisiones de NOx por tipo de fuente [ton/año]

Categoría	Subcategoría	Fuente	Combustible	Emisiones NOx
Plantas de tratamiento de aguas servidas	Calderas	Caldera agua caliente	biogás	11.175
	Grupo electrógeno	-	Gas natural	1.134
Otras actividades	Calderas	Caldera agua caliente	Gas licuado de petróleo	2.162
		Caldera industrial	Gas licuado de petróleo	481
	Grupo electrógeno	-	Petróleo N 2 (Diesel)	1.017
Agricultura				
Termoeléctricas	Turbina	Turbina de gas	Gas	1.699
Otras industrias manufactureras	Caldera	Caldera industrial	Gas licuado de petróleo	505
	Grupo electrógeno	-	Petróleo N 2 (Diesel)	325
Producción agropecuaria	Grupo electrógeno	-	Petróleo N 2 (Diesel)	1.241
Industria de papel y celulosa	Turbina	Turbina de gas	Gas	310

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.1 Medidas de reducción de NOx en calderas

Un **quemador de baja emisión de NOx** (LNB, por sus siglas en inglés: Low-NOx Burner) es un conjunto de técnicas basadas en equipo de combustión diseñados para emitir bajas emisiones óxidos de nitrógeno. El principio tras el quemador de baja emisión de NOx, es el ajuste de la temperatura (evitando una llama de alta temperatura o inestable) de la llama para evitar la formación del gas. Lo anterior se logra mediante distintas técnicas como la inyección de vapor de

agua, recirculando gases o limitando el exceso de oxígeno (US-EPA, 1994). Dado que se trata de una técnica aplicada durante la combustión puede ser aplicada en conjunto con otras técnicas de control post-combustión como los SNCR y SCR (US-EPA, 2002).

Los **SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction o reducción selectiva no catalítica)** son equipos utilizados en calderas industriales, generadores eléctricos e incineradores para reducir las emisiones de NOx. Este equipo se puede aplicar de forma única o complementaria a otras tecnologías de abatimiento. Su eficiencia de remoción de NOx en la aplicación va desde 30% a 50%, y en general a mayor potencia del equipo menor es la eficiencia de remoción (US-EPA, 2002).

La tecnología de los SNCR se basa principalmente en la reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno gaseoso y vapor de agua. Se le inyecta un agente reductor, como amonio o urea, a la corriente gaseosa para que reaccione químicamente, sin utilizar un catalizador. Como agente reductor puede reaccionar con otras sustancias, se debe mantener la reacción dentro de un rango de temperatura y con presencia de oxígeno, por lo que se considera una reacción selectiva. Estos rangos dependen del agente reductor a utilizar (US-EPA, 2002).

Por su parte, los **SCR (Selective catalytic reduction o Reducción selectiva catalítica)** se han utilizado típicamente para fuentes estacionarias de combustibles fósiles, calderas industriales y turbinas de ciclo combinado para reducir las emisiones de NOx. Esta tecnología ha sido aplicada para equipos con potencias desde 25 W hasta 800 MW, y su aplicación puede ser complementaria a la de otras tecnologías de abatimiento. En la práctica, estos equipos operan con eficiencias entre 70% y 90% (US-EPA, 2002).

Al igual que SNCR, la tecnología de los SCR se basa en la reducción química de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno gaseoso y vapor de agua. La diferencia es que los SCR emplean un catalizador metálico para aumentar la cinética de la reacción. Al igual que el SNCR, es un proceso selectivo porque requiere un adecuado rango de temperatura y presencia de oxígeno para la reducción del NOx, junto a la aplicación de un agente reductor. El uso de un catalizador provee dos ventajas principales frente al SNCR, pero a un mayor costo: mayor eficiencia en la remoción de NOx y temperaturas menores de reacción con un rango permitido más amplio (US-EPA, 2002).

7.2.2.2 Medidas de reducción de NOx en grupos electrógenos

Las tecnologías de abatimiento disponibles para emisiones de grupos electrógenos, según tipo de combustible y mezcla son catalizadores de Tres Vías y los Sistemas de Reducción Catalítica Selectiva (SCR).

Los **catalizadores de 3 vías** (CTVs) son esenciales para reducir la emisión de gases de los vehículos con motor de gasolina a niveles reglamentarios. Su función es importante en términos ambientales ya que disminuyen hasta un 99% las emisiones de CO, HC y NOx. Su formulación y diseño actuales influyen en su rendimiento y eficiencia de conversión de gases.

Sin embargo, su uso prolongado genera transformaciones en la composición original, causando la pérdida de sus propiedades catalíticas. Sirven para motor de combustión rica, lambda menor a 1, que indica deficiencia de aire. Por lo tanto, se recomienda su reemplazo oportuno para evitar la emisión de gases tóxicos y de material particulado a la atmósfera. Reduce las emisiones de NOx entre un 90-99%

Los **sistemas SCR**, ya se han mencionado anteriormente, se basa en la reducción química de la molécula de NOx, utiliza un catalizador a base de platino con sitios activos. Se utilizan en motores de tipo diésel y combustión pobre, lambda mayor a 1, que implica un exceso de aire. Presenta una eficiencia entre 80-95% en emisiones de NOx.

7.2.2.3 Medidas de reducción de NOx en turbinas de gas

La primera medida es la **combustión catalítica**, este control consiste en el uso de combustión catalítica para reducir las emisiones de NOx. Las cámaras de combustión catalíticas reducen la cantidad de NOx creada al oxidar el combustible a temperaturas más bajas (y sin llama) que en las cámaras de combustión convencionales. La combustión catalítica utiliza un lecho catalítico para oxidar una mezcla pobre de aire y combustible dentro de una cámara de combustión en lugar de quemar con una llama. La mezcla de combustible y aire se oxida a temperaturas más bajas que en una cámara de combustión convencional, produciendo menos NOx. La eficiencia es de 98% de emisiones de NOx en turbina de gas (coST).

La **combustión Low NOx dry**, consiste en el uso de tecnología de quemadores de bajo NOx (LNB) para reducir las emisiones de NOx. Los LNB reducen la cantidad de NOx creado por la reacción entre el nitrógeno del combustible y el oxígeno al reducir la temperatura de una zona de combustión y reducir la cantidad de oxígeno disponible en otra. Este control se aplica a turbinas de gas natural de gran tamaño (83,3 MW a 161 MW) con emisiones no controladas de NOx superiores a 10 toneladas por año. Presenta un control de eficiencia del 84% (coST).

La **combustión EMx y Dry Low NOx**, consiste en el uso de EMx en combinación con una combustión seca de bajo NOx. EMx es una tecnología de absorción y oxidación catalítica postcombustión que utiliza un sistema catalizador/absorbente de dos etapas para el control de NOx, así como de CO, VOC y, opcionalmente, SOx. Un catalizador recubierto oxida NO a NO2, CO a CO2 y VOC a CO2 y agua. Luego, el NO2 se absorbe en la superficie del catalizador, donde se convierte químicamente y se almacena como nitratos y nitritos de potasio. Periódicamente se pasa un gas de regeneración patentado a través del catalizador para desorber el NO2 del catalizador y reducirlo a nitrógeno elemental (N2). EMx se ha demostrado con éxito en varios proyectos pequeños de turbinas de combustión de hasta 45 MW. El fabricante ha afirmado que EMx se puede ampliar de forma eficaz a turbinas más grandes. La eficiencia es de 99% en emisiones de NOx (coST).

7.2.3 Medidas de reducción de SOx

En sector industrial y agroindustrial presenta las mayores emisiones, donde según la Tabla 6-3 las categorías con mayor emisión de óxidos de azufre son:

Tabla 7-7 Categorías con mayor emisión de SOx [ton/año]

Categoría	SOx
Termoeléctricas	324.479
Industria del papel y celulosa	60.634
Otras actividades	27.034
Otras industrias manufactureras	5.823

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las subcategorías y tipos de fuentes y combustible que mayores emisiones presentan según categoría para SOx.

Tabla 7-8 Emisiones de SOx por tipo de fuente [ton/año]

Categoría	Subcategoría	Fuente	Combustible	Emisiones SOx
Termoeléctricas	Turbina	Turbina de gas	Gas	324.472
Industria del papel y celulosa	Caldera	Caldera agua caliente	Petróleo N 2 (Diesel)	833
		Caldera industrial	Petróleo N 2 (Diesel)	583
Otras actividades	Caldera	Turbina de gas	Gas	59.192
		Caldera agua caliente	Gas natural	1.163
		Caldera industrial	Petróleo N 2 (Diesel)	9.142
Otras industrias manufactureras	Caldera	Caldera industrial	Petróleo N 2 (Diesel)	16.245
	Horno	Horno de panadería	Petróleo N 2 (Diesel)	2.602

Fuente: Elaboración propia

7.2.3.1 Medidas de reducción de SOx en calderas

Los **Wet Scrubber (depuradores húmedos** en español) son equipos de control que remueven principalmente SO₂ mediante la absorción de este en algún líquido utilizado como solvente. La eficiencia de remoción va desde 90% a 99.9%. Parámetros de operación importantes son características del flujo gaseoso, eficiencia de remoción deseada y características del líquido solvente a utilizar. Un parámetro importante para la elección del solvente a utilizar es la solubilidad del contaminante a remover en este (US-EPA, 2002). Existen diversos diseños de lavadores húmedos, el cual depende de las características de operación específicas. El proceso general consiste en trasponer el flujo gaseoso con el flujo acuoso para que ocurra la absorción.

El **venturi scrubber**, esta medida incluye todo tipo de fregadoras secas y húmedas. Se desarrollaron valores de costo y rentabilidad para procesos de combustión que utilizan gas natural, gas de proceso, petróleo residual o petróleo destilado como fuente de combustible. Con una reducción de eficiencia del 90% y un costo de eficiencia \$9,684.

El **FGD (Flue-gas desulfurization o desulfuración de gases de combustión seco)** de abatimiento, se utiliza para remover SO₂ de un flujo gaseoso mediante la reacción química con algún solvente, como carbonato de calcio. Típicamente el flujo gaseoso contaminante se activa con el solvente, para formar material particulado el cual es removido mediante algún equipo de control. La eficiencia de remoción puede llegar hasta el 99% (US-EPA, 2002) en algunos casos.

De forma similar al FGD seco, pero con la diferencia que el mecanismo de captura del material particulado en el **FGD húmedo** es utilizando un lavador húmedo. Se debe tener en cuenta que el lodo de salida de tratarse adicionalmente, dado su alto contenido de azufre US-EPA.

Por su parte, la utilización de combustible bajo en azufre no es tecnología de abatimiento, sino que corresponde a una técnica donde se privilegian combustibles similares cuyo contenido de azufre sea significativamente menor. Lo anterior se traduce en emisiones menores de SO₂.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

7.3 Propuesta de medidas específicas para los Grandes Establecimientos de la RM

Antes de proponer medidas, es necesario analizar las emisiones por tipo de fuente y revisar si cada tipo de fuente posee sistema de abatimiento. A continuación, en la Tabla 7-9 se presentan los grandes establecimientos con sus tipos de fuentes, sistemas de abatimiento y emisiones de NOx y SOx. Se puede observar que, según la información recibida, el uso de sistemas de abatimiento es muy bajo. El mayor emisor que aparece sin equipos de abatimiento es la Planta Nueva Renca⁶, seguido por la Planta Softys y Papeles Cordillera.

Tabla 7-9 Sistemas de abatimiento y emisiones de NOx y SOx para grandes establecimientos

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
ACEROS CHILE SA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	-	-
AISLANTES VOLCÁN S.A.		Sin Equipo	7	102
AVENIDA PUERTA SUR 03383	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	1	-
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	1	-

⁶ La información entregada no contempla sistemas de abatimiento para esta fuente, aunque según el conocimiento del consultor sí podría contar con algún tipo de abatimiento catalítico.

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	30	462
BALL CHILE SA	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	9	-
BODEGA DE ENVASES DE VIDRIO Y PLANTA DE RECICLADO DE VIDRIO	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	11	161
	Horno de Fusión	SCR Catalizador NOX	221	229
CD NESTLE PURINA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	0	3
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN SOPROLE	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	-	376
CERESITA SANTA MARTA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	5	69
		Sin Equipo	1	8
	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	0	-
CHAMPION	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	14	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	5	82
CIA MOLINERA SAN CRISTOBAL S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	0	-
COMPANIA INDUSTRIAL EL VOLCAN S.A.	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	22	328
		Sin Equipo	2	30
COMPLEJO INDUSTRIAL NOS	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	6	-
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	40	243
CORPORATIVO	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	26	394
COSSBO	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	1.190	23.328
CRISTALERIAS DE CHILE S A	Caldera de Fluido Térmico	Sin Equipo	0	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	4.318	65.697
	Horno de Fusión	Scrubber	241.006	5.845
CRISTALERIAS TORO SPA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	28	423
		Filtro de Mangas	133	157
	Horno de Fusión	Precipitador Electroestatico	86	60
		Precipitador Electroestatico	28	51
EISA DON POLLO	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	-	-
ELABORADORA DE ENVASES	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	-	-
ELECTROLUX DE CHILE S.A.		Sin Equipo	1	12
ESCO ELECMETAL COLINA	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	2	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	287	4.364
	Horno	Filtro de Mangas	5	-
		Sin Equipo	823	237
	Horno de Tostación	Filtro de Mangas	3	-

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
		Sin Equipo	2	-
ESSITY CHILE SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	29	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	10	157
EVERCRISP SNACK PROD. DE CHILE S.A.	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	1	-
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	0	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	46	699
EXTRUDER SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	22	-
FABRICA DE PASTAS		Sin Equipo	9.015	3.712
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	0	4
FASTPACK SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	-	70
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	1	16
FUNDICIÓN VULCO LTDA		Sin Equipo	0	3
	Horno	Sin Equipo	1	-
	Horno Secador	Sin Equipo	0	-
GOODYEAR DE CHILE S.A.I.C. (2)	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	11.027	60
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	1	16
IND.DE BALATAS INDUBAL S.P.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	1	-
MAGOTTEAUX ANDINO S.A.	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	0	1
MALTEXCO TALAGANTE		Sin Equipo	-	-
MOLYMET NOS	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	-	62
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	13.336	10.879
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	920	13.997
	Horno Calcinadores	Scrubber Humedo	9	-
	Horno Tostación	Precipitador Electroestatico	184.361	519
		Precipitador Electroestatico	98.179	277
NESTLE CENTRO DE DISTIBUCION QUILICURA	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	-	2.238
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	0	1
NESTLE CHILE S.A FÁBRICA MAIPU	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	1.292	4
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	1	20
NESTLE MACUL		Sin Equipo	40	-

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
OFICINA CENTRAL	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	16.155.547	54.610
	Chimenea	Sin Equipo	-	-
PAPELES CORDILLERA S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	202	94.389
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	3	39
	Turbina de Gas	Sin Equipo	24.443.348	128.018
PLANTA ANACSA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	0	4
PLANTA CENTRAL MAIPU	Caldera de Fluido Termico	Sin Equipo	0	-
PLANTA CERRO BLANCO - TIL TIL	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	27	405
	Horno Rotatorio	SCR Catalizador NOX	6.885	110.392
PLANTA COLINA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	709	10.788
	Horno Palanquillas	Filtro de Mangas	16	25
		Sin Equipo	93	17
PLANTA INDUSTRIAL LAMPA TUBEXA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	7	105
PLANTA LO ECHEVERS		Sin Equipo	0	7
PLANTA PAG	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	0	-
		Sin Equipo	66	1.010
PLANTA PINTURA EN POLVO	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	34	517
PLANTA QUILICURA		Sin Equipo	1	9
PLANTA RENCA		Sin Equipo	-	-
PLANTA SANTIAGO	Horno Palanquillas	Sin Equipo	23	4
PLANTA SOFTYS PUENTE ALTO		Sin Equipo	7	114
PLANTA SOFTYS TALAGANTE	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	77	1.170
		Sin Equipo	15	-
		Sin Equipo	61	923
PROMAIZ	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	34.749.599	181.995
PUERTO MADERO	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	-	-
QUIMETAL INDUSTRIAL S.A.	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	37	556
REFRACTARIOS IUNGE	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	60	14.394
RELLENO SANITARIO SANTA MARTA	Motor Generación Electrica	Sin Equipo	0	2
		Sin Equipo	4	61
		Sin Equipo	0	3

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
RENCA NUEVA RENCA	Caldera de Generacion Electrica	Sin Equipo	7.313	24
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	8	122
	Turbina de Gas	Sin Equipo	324.472.667	1.699.549
SCHAFFNER S A	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	-	-
SKBERGE LOGISTICA SA		Sin Equipo	0	2
SOCIEDAD INDUSTRIAL PIZARREÑO SA	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	19	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	3	46
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A., PLANTA SANTA ROSA		Sin Equipo	1	19
Marmita de Calcinacion	Filtro de Mangas	27	19	
Secador	Sin Equipo	50	-	
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL, PLANTA SAN GABRIEL	Horno Rotarorio	Filtro de Mangas	338	10.127
SOCIEDAD MINERA PETREOS QUILIN LTDA LAMPA	Calentador	Filtro de Mangas	-	1.872
SOFTYS LO ECHEVERS	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	1	11
SOPROLE	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	-	40
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	87	40.801
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	728	11.069
UNILEVER CHILE LTDA CD Lampa		Sin Equipo	19	285
UNILEVER CHILE LTDA Panamericana	Caldera Agua Caliente	Sin Equipo	2	-
	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	33	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	2	33
VULCO	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	0	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	1	15
VULCO S.A.	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	19	896
VULCO SA	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	3	43
		Sin Equipo	4	56
WATTS LONQUÉN	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	47	-
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	2	26
WATTS SAN BERNARDO	Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Sin Equipo	52	-

Establecimiento	Tipo de Fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (kg)	Emisión NOx (kg)
	Grupo Electrógeno	Sin Equipo	16	243
Total general				400.404.937 2.501.289

Fuente: Elaboración propia

Considerando la información anterior, se proponen algunas medidas de reducción aplicables a cada tipo de fuente (ver Tabla 7-10). Sin embargo, se sabe que el catastro de sistemas de abatimiento asociados a cada establecimiento no está completo y se considera prioritario actualizarlo para poder analizar correctamente donde hacen faltas medidas puntuales.

Tabla 7-10 Potenciales medidas de reducción de emisiones por tipo de fuente

Tipo de fuente	Posibles medidas de reducción
Caldera	Filtros electrostáticos
Grupo Electrógeno	Cambio de combustible
Horno Panadero	N.A.
Proceso con Combustión	Filtros de partículas diésel
Proceso sin Combustión	Precipitador electrostático
Turbina a Gas	Scrubber venturi, precipitador electrostático o aglomerador indigo

Fuente: Elaboración propia

7.4 Potencial de reducción de los contaminantes NOx y SOx en el sector industrial

A continuación, se presenta un resumen de las alternativas de reducción de los contaminantes NOx y SOx en el sector industrial planteadas en las secciones anteriores junto al documento “Important Information Concerning the Menu of Control Measures” (US-EPA, 2022).

Tabla 7-11 Resumen de medidas de reducción de NOx y SOx en el sector industrial

Sistema de abatimiento	Contaminante	Eficiencia NOx	Costo efectividad \$/Ton reducida
Reducción catalítica selectiva (RCS)	NOx	90%	\$7.618
Reducción selectiva no catalítica (RSNC)	NOx	10%-85%	\$667
Tecnologías de oxidación	NOx	90%-95%	-
Catalytic Ceramic Filter	NOx	80%	\$11.414
Wet Scrubber	SOx	95,2%	\$1.267
Adición de Cal apagada	SOx	80-90%	\$3.201
lecho fluidizado circulante	SOx	90%	-
Dry Scrubber	SOx	90%	\$21.830

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar el potencial total de reducción de NOx, se aplicó el equipo de Reducción catalítica Selectiva, con una eficiencia del 90% en las Caldera de Fluido Térmico, Caldera de Generación Eléctrica, Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente) y Turbina de gas. En la Tabla 7-12 se puede ver el efecto en las emisiones, bajando de 21.413 a 14.713 toneladas al año.

Por su parte, para estimar el potencial total de reducción de SOx, se aplicó un Wet Scrubber en las fuentes de Turbina de gas, SCR en Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente), Grupo Electrogenero y horno, y un Dry Scrubber en las fuentes Caldera de fluido térmico y caldera de generación eléctrica. Con esto, las emisiones iniciales de 418.970 toneladas bajan a 34.074, lo que demuestra un gran potencial de reducción (ver Tabla 7-13).

Tabla 7-12 Potencial de reducción de NOx

Tipo fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión NOx (ton)	Equipo aplicable	Eficiencia NOx	Nueva Emisión	Reducción
Caldera Agua Caliente	Filtro de Mangas	0			0	-
	Sin Equipo	13.608			13.608	-
Caldera de Fluido Térmico	Sin Equipo	3	RCS	0,9	0	3
Caldera de Generacion Electrica	Sin Equipo	0	RCS	0,9	0	0
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Filtro de Mangas	2			2	-
	Scrubber húmedo	-			-	-
	Sin Equipo	1.264	RCS	0,9	126	1.138
Calentador	Filtro de Mangas	2			2	-
Grupo Electrogenero	Sin Equipo	4.128	SCR	0,9	413	3.715
Horno	Filtro de Mangas	0			0	-
	Lavador Venturi	0			0	-
	Sin Equipo	1			1	-
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	Sin Equipo	0			0	-
Horno Calcinadores	Scrubber húmedo	-			-	-
Horno de cocción	Filtro de Mangas	0			0	-
Horno de Fusión	Filtro de Mangas	0			0	-
	Precipitador Electroestático	0			0	-
	Precipitador electrostático	0			0	-
	SCR Catalizador NOX	0			0	-
	Scrubber	6			6	-
Horno de panadería	Sin Equipo	262	SCR	0,9	26	236
Horno de Refino	Sin Equipo	1			1	-
Horno de tostación	Filtro de Mangas	-			-	-
	Sin Equipo	-			-	-
	Precipitador Electroestático	1			1	-
	Precipitador electrostático	0			0	-
Horno Palanquillas	Filtro de Mangas	0			0	-
	Sin Equipo	0			0	-
Horno Rotatorio	Filtro de Mangas	10			10	-
	Filtro de Mangas	0			0	-
	SCR Catalizador NOX	110			110	-
Horno Rotatorio Secador	Sin Equipo	2			2	-
Horno Secador	Sin Equipo	-			-	-
Marmita de Calcinación	Filtro de Mangas	0			0	-

Tipo fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión NOx (ton)	Equipo aplicable	Eficiencia NOx	Nueva Emisión	Reducción
Motor Generación eléctrica	Sin Equipo	2			2	-
Secador	Sin Equipo	-			-	-
Turbina de Gas	Sin Equipo	2.010	CCF	0,8	402	1.608
Total		21.413			14.713	6.699

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-13 Potencial de reducción de SOx

Tipo fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (ton)	Equipo aplicable	Eficiencia SOx	Nueva Emisión	Reducción
Caldera Agua Caliente	Filtro de Mangas	0,0			0,0	-
	Sin Equipo	12.087,8			12.087,8	-
Caldera de Fluido Térmico	Sin Equipo	146,9	Dry Srubber	0,9	14,7	132,2
Caldera de generación eléctrica	Sin Equipo	7,3	Dry Srubber	0,9	0,7	6,6
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	Filtro de Mangas	0,2			0,2	-
	Scrubber húmedo	0,0			0,0	-
	Sin Equipo	18.867,4	SCR	0,9	1.886,7	16.980,7
Calentador	Filtro de Mangas	-			-	-
Grupo electrógeno	Sin Equipo	188,2	SCR	0,9	18,8	169,4
Horno	Filtro de Mangas	145,4	SCR	0,9	14,5	130,8
	Lavador Venturi	1,3			1,3	-
	Sin Equipo	2,0			2,0	-
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	Sin Equipo	-			-	-
Horno Calcinadores	Scrubber húmedo	0,0			0,0	-
Horno de cocción	Filtro de Mangas	0,0			0,0	-
Horno de fusión	Filtro de Mangas	0,1			0,1	-
	Precipitador Electroestático	0,1			0,1	-
	Precipitador electrostático	0,0			0,0	-
	SCR Catalizador NOX	0,2			0,2	-
	Scrubber	241,0			241,0	-
Horno de panadería	Sin Equipo	3.326,0	SCR	0,9	332,6	2.993,4
Horno de Refino	Sin Equipo	-			-	-
Horno de tostación	Filtro de Mangas	0,0			0,0	-
	Sin Equipo	0,0			0,0	-
	Precipitador Electroestático	184,4			184,4	-

Tipo fuente	Equipo de Abatimiento	Emisión SOx (ton)	Equipo aplicable	Eficiencia SOx	Nueva Emisión	Reducción
Horno Palanquillas	Precipitador electrostático	98,2			98,2	-
	Filtro de Mangas	0,0			0,0	-
	Sin Equipo	0,1			0,1	-
Horno Rotatorio	Filtro de Mangas	0,3			0,3	-
	SCR Catalizador NOX	6,9			6,9	-
Horno Rotatorio Secador	Sin Equipo	-			-	-
Horno Secador	Sin Equipo	0,0			0,0	-
Marmita de Calcinación	Filtro de Mangas	0,0			0,0	-
Motor generación eléctrica	Sin Equipo	0,1			0,1	-
Secador	Sin Equipo	0,1			0,1	-
Turbina de Gas	Sin Equipo	383.665,6	Wet Scrubber	0,95	19.183,3	364.482,3
Total		418.969,8			34.074,4	384.895,4

Fuente: Elaboración propia

8. Conclusiones

El presente estudio se desarrolló para dar cumplimiento al objetivo de elaborar un inventario de emisiones actualizado para MP10, MP2,5, NOx, SOx, NH₃, CO, COV y CO₂, del Sector Industrial y de NH₃ para el sector Agroindustrial de la Región Metropolitana, que sirva de medio habilitante para identificar medidas para la reducción y control de emisiones de ambos sectores.

En primer lugar, se realizó una revisión de antecedentes, los cuales en su mayoría fueron utilizados para la elaboración del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago, en donde se presenta el inventario de emisiones del año 2015. También se revisaron los estudios más recientes en que se realizaron inventarios de emisiones de la Región Metropolitana de Santiago.

En la elaboración del inventario de emisiones, la metodología de estimación de emisiones siguió principalmente la recomendación del "Manual para desarrollo de inventarios" (MMA, 2017). Para el sector Industrial, las emisiones se calcularon a partir de los datos de consumo de combustibles primarios y secundarios por fuente, reportados por los establecimientos industriales en el RETC durante el año 2022. En el caso del Sector Agroindustrial, las emisiones se clasificaron en quemas agrícolas (determinadas a partir de la superficie quemada), crianza de animales (estimadas a partir del número de animales por tipo), aplicación de fertilizantes (calculadas a partir del consumo de fertilizante por cultivo) y uso de plaguicidas (calculadas a partir de la venta de estos productos).

Los resultados obtenidos revelaron que, en el sector Industrial, las fuentes de proceso, específicamente en los rubros de producción de cemento, cal y yeso y otras industrias manufactureras son las principales emisoras de material particulado, mientras que los gestores de residuos y otras industrias manufactureras lideran las emisiones de óxidos de nitrógeno. En el sector Agroindustrial, las emisiones de NH₃ asociadas a la crianza de animales son generadas principalmente por la aplicación de estiércol, seguido del alojamiento de animales. En la misma línea, la mayor emisión por animal corresponde a los cerdos. En cuanto a las quemas agrícolas, se destaca una mayor emisión de CO₂ respecto al resto de contaminantes. En el caso de la aplicación de fertilizantes, las emisiones de NH₃ provienen principalmente del uso de urea como fertilizante para el cultivo de trigo y maíz, mientras que las emisiones de NO provienen principalmente de la aplicación de nitrato de amonio y sulfato de amonio en los mismos cultivos.

Por último, se analizan posibles medidas de reducción para las principales fuentes emisoras del sector Industrial y Agroindustrial. En el sector Industrial, la fabricación del cemento presenta las mayores emisiones de NOx y SOx, por lo que se proponen medidas de reducción de estos contaminantes para dicha industria. En particular, se presentan las siguientes medidas secundarias: reducción catalítica selectiva, reducción selectiva no catalítica y tecnologías de oxidación para el control de NOx. En el caso de SOx, una posible medida primaria de reducción es trabajar con materia prima de bajo contenido de azufre, mientras que como medidas

secundarias se encuentran la adición de cal apagada y la absorción en lecho fluidizado circulante. También se proponen medidas de reducción para la industria de fabricación de vidrio.

9. Bibliografía

- GreenLab Dictuc. (2022). *ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DIFUSAS PARA LA GENERACIÓN DEL DÉCIMO SEXTO INFORME CONSOLIDADO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIAS DE CONTAMINANTES DEL RETC.*
- GreenLab-Dictuc. (2021). *Guía para la estimación de emisiones de amoníaco en Sector Agroindustrial.*
- GreenLabUC. (2016). *Elaboración de Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas* (Estudio pr). Estudio preparado para la Subsecretaría del Medio Ambiente.
- Klimont, Z., & Brink, C. (2004). Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. *IIASA, September*, 75.
- MMA. (2016). *Decreto 31: Establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago.* <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.10.100>
- MMA. (2017). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas.*
- MMA. (2019). *Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales.*
- MMA. (2023). *Listado de Grandes Establecimientos en la RM.* <https://mma.gob.cl/listado-de-grandes-establecimientos-en-la-rm/>. Recuperado Noviembre 2023
- POCH. (2016). *Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de Medidas para la Reducción de Emisiones del Sector Agropecuario, en el marco del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago.*
- RETC. (2022). *Reporte de niveles de actividad del RETC.*
- Santiago Megacities Partnership. (2018). *Evaluación de la Gestión de la Calidad del Aire en la Región Metropolitana.*
- SISTAM Ingeniería. (2013). *Actualización de metodología de estimación de emisiones de NH3.*
- USACH. (2014). *Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana.* http://www.sinia.cl/1292/articles-56914_Inf_Inventarios_FINAL.pdf.
- US-EPA. (n.d.). *Emission Factor Documentation.* <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>

10. Anexos

10.1 Fuentes eliminadas por duplicidad

Tabla 10-1 Detalle de fuentes eliminadas

Tipo de Fuente	Cantidad de Fuentes	Código de Fuente	Consumo (MJ/año)
Caldera Agua Caliente	12	CA-OR-15074	79.206
		CA-OR-15085	79.206
		CA-OR-15107	79.206
		CA-OR-15251	202
		CA-OR-15282	202
		CA-OR-15286	202
		CA-OR-42967	115
		CA-OR-47679	348.310
		CA-OR-47680	180.230
		CA-OR-51006	819.944
		CA-OR-9490	550
		CA-OR-9501	333
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	1	IN-GEV-31728	622.653
Grupo Electrógeno	23	EL-OR-13478	3.662
		EL-OR-13692	2.189
		EL-OR-17582	1.371
		EL-OR-23931	0
		EL-OR-25575	18
		EL-OR-27086	18
		EL-OR-38226	31.796
		EL-OR-46134	368.913
		EL-OR-47666	60.199
		EL-OR-47913	2
		EL-OR-47914	1
		EL-OR-47915	1
		EL-OR-47918	2
		EL-OR-47923	2
		EL-OR-47926	2
		EL-OR-47928	10
		EL-OR-51007	17.786
		EL-OR-53069	3
		EL-OR-54392	140.648
		EL-OR-5971	40.662
		EL-OR-5982	1

Tipo de Fuente	Cantidad de Fuentes	Código de Fuente	Consumo (MJ/año)
		EL-OR-6025	11
		EL-OR-9482	1
Horno	1	HR-FS-42840	1.822.550
		HR-OR-10891	187.754
		HR-OR-10896	187.754
		HR-OR-26580	350.338
		HR-OR-27324	-
		HR-OR-33394	2.279.277
		HR-OR-35702	-
		HR-OR-36226	-
		HR-OR-37134	362.080
		HR-OR-37135	266.801
		HR-OR-37136	362.080
		HR-OR-37137	276.926
		HR-OR-47505	198.384
Total	49		9.171.603

Fuente: Elaboración propia

10.2 Corrección CCF8

Tabla 10-2 Corrección de CCF8

Corrección CCF8	Cantidad de fuentes	Nº Combustible	Tipo de Fuente	Código de Fuente
El CCF8 primario 10300501 significa que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume petróleo destilado. El CCF8 primario 10301001 significa que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume GLP, específicamente de butano. Por lo que se corrige el CCF8 para que sea consistente con el combustible que dice que utiliza. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en hornos de panadería para los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).	2	1	Horno de Panadería	HR-OR-39546 HR-OR-57409
El CCF8 primario 20300201 significa que es una máquina de combustión interna de uso comercial/institucional que consume gas natural. El CCF8 primario 20300101 significa que es una máquina de combustión interna de uso comercial/institucional que consume diésel. Al realizar una búsqueda online de marca "Cummins" se confirma que la fuente corresponde a un grupo electrógeno. Dado que los grupos electrógenos generalmente consumen diésel, se asume que este dato está correcto, por lo que el CCF8 sería el dato erróneo y se corrige	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-29561
No tenía CCF8 primario. Se asigna CCF8 primario (10301001) ya que es un horno (máquina de combustión externa) de uso comercial/institucional que combustionea Gas Licuado de Petróleo. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en hornos de panadería para los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).		1	Horno de Panadería	HR-OR-54834 HR-OR-54835 HR-OR-54836 HR-OR-55432 HR-OR-55433 HR-OR-55846 HR-OR-55957 HR-OR-55958 HR-OR-55959 HR-OR-56335 HR-OR-56336 HR-OR-56623 HR-OR-56626 HR-OR-56903 HR-OR-56904 HR-OR-56905 HR-OR-57411 HR-OR-57916 HR-OR-57936

Corrección CCF8	Cantidad de fuentes	Nº Combustible	Tipo de Fuente	Código de Fuente
No tenía CCF8 primario. Se asume CCF8 de motor de generación eléctrica que combustionia biogás (20100202) (los demás motores que consumen biogás tienen todos el mismo CCF8). Este código significa que es una máquina de combustión interna, para generación eléctrica y que consume gas natural	2	1	Motor Generación Eléctrica	HR-OR-58001
				HR-OR-58002
				HR-OR-58003
				HR-OR-58004
				HR-OR-58005
No tenía CCF8 secundario. Se asigna CCF8 secundario (10201002) ya que es un horno (máquina de combustión externa) de uso industrial que combustionia Gas Licuado de Petróleo. Se asume que utiliza propano (terminación 02 del código), ya que este es el gas más utilizado en hornos de uso industrial para los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).	3	2	Horno Calcinadores	MG-GEV-56978
				MG-GEV-56980
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Al realizar búsqueda online se encuentra que el modelo corresponde a la marca Cummis en vez de SDMO y se compara con otros equipos de ese modelo y uso de combustible (ID 1896, 4217, 9497).	1	1	Grupo Electrógeno	HR-PMM-2302
				HR-PMM-2541
				HR-PMM-2546
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Se compara con otros equipos de la misma marca, modelo y combustible (ID 10498).	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-57915
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Se compara con otros equipos de la misma marca, modelo y combustible (ID 1586, 4324, 5264, 5668, 7054, 7057).	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-57974
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Se compara con otros equipos de la misma marca, modelo y combustible (ID 1701, 10301).	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-55983
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Se compara con otros equipos de la misma marca, modelo y combustible (ID 3477, 3935, 3940, 10690).	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-26658
Se asigna CCF8 primario (20300101) ya que es un grupo electrógeno con combustible diésel de uso comercial/institucional. Se compara con otros equipos de la misma marca, modelo y combustible (ID 3477, 3935, 3940, 10690).	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-51253
Se asume que tiene el mismo CCF8 secundario que la otra fuente del mismo establecimiento que consume el mismo tipo de combustible y es el mismo tipo de fuente	1	2	Horno de Panadería	HR-OR-33394

Corrección CCF8	Cantidad de fuentes	Nº Combustible	Tipo de Fuente	Código de Fuente
<p>Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10300603) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas natural, de potencia menor a 10 millones de Btu/hr. Se corrige a 10301001, correspondiente a una caldera de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas licuado de petróleo, específicamente butano. La corrección se hace de acuerdo a comparación con las demás fuentes de la BD que son calderas de agua caliente que consumen GLP. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en calderas de agua caliente que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).</p>	1	1	Caldera Agua Caliente	CA-OR-52781
<p>Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10300603) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas natural, de potencia menor a 10 millones de Btu/hr. Se corrige a 10301001, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume GLP, específicamente butano. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en hornos de panadería para los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).</p>	1	1	Horno de Panadería	HR-OR-24658 HR-OR-24659 HR-OR-24716 HR-OR-24718 HR-OR-24730 HR-OR-24731 HR-OR-25045 HR-OR-25074 HR-OR-25081 HR-OR-25091 HR-OR-25112 HR-OR-25113 HR-OR-25146 HR-OR-25152 HR-OR-25242 HR-OR-25246 HR-OR-25247 HR-OR-25249 HR-OR-25250 HR-OR-25258 HR-OR-25259 HR-OR-25425 HR-OR-25427 HR-OR-25428 HR-OR-27077

Corrección CCF8	Cantidad de fuentes	Nº Combustible	Tipo de Fuente	Código de Fuente
				HR-OR-27078 HR-OR-27090 HR-OR-27102 HR-OR-41154 HR-OR-41155
Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10300908) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume madera/residuos de corteza, específicamente madera seca. Se corrige a 10300603, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas natural, de potencia menor a 10 millones de Btu/hr. La corrección se hace de acuerdo a comparación con las demás fuentes de la BD que son calderas de agua caliente que consumen biogás	1	1	Caldera Agua Caliente	CA-OR-36633 CA-OR-47621
Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10300908) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume madera/restos de corteza, específicamente madera seca. Se corrige a 10301001, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume GLP, específicamente butano. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en hornos de panadería para los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).	1	1	Horno de Panadería	HR-OR-16684
Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10301001) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas licuado de petróleo, específicamente butano. Se corrige a 10300603, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas natural, de potencia menor a 10 millones de Btu/hr. La corrección se hace de acuerdo a comparación con las demás fuentes de la BD que son calderas de agua caliente que consumen biogás	1	1	Caldera Agua Caliente	CA-OR-10880
	2	1	Caldera Agua Caliente	CA-OR-54268

Corrección CCF8	Cantidad de fuentes	N Combustible	Tipo de Fuente	Código de Fuente
<p>Se corrige el CCF8 primario. El CCF8 originalmente (10301001) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas licuado de petróleo, específicamente butano. Se corrige a 10300603, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso comercial/institucional que consume gas natural, de potencia menor a 10 millones de Btu/hr. La corrección se hace de acuerdo a comparación con las demás fuentes de la BD que son calderas de agua caliente que consumen biogás.</p> <p>No tenía CCF8 secundario. Se asigna CCF8 secundario (10301001) ya que es una caldera (caldera de combustión externa) de uso comercial/institucional que combusciona Gas Licuado de Petróleo. Se asume que utiliza butano (terminación 01 del código), ya que este es el gas más utilizado en calderas de agua caliente en los casos en que utilizan GLP (de acuerdo a la información de las demás fuentes en la BD).</p>		2	Caldera Agua Caliente	CA-OR-54268
<p>Se corrige el CCF8 secundario. El CCF8 originalmente (10200502) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso industrial que consume petróleo destilado (Diésel N2) con 10-100 Millón Btu/hr. Se corrige a 10200401, correspondiente a una máquina de combustión externa que consume petróleo residual grado 6.</p>	1	2	Horno de Fusión	HR-PDV-8581
<p>Se corrige el CCF8 secundario. El CCF8 originalmente (10201001) indicaba que es una máquina de combustión externa de uso industrial que consume butano. Se corrige a 10201002, correspondiente a una máquina de combustión externa de uso industrial que consume propano.</p>	4	2	Horno Secador	HR-FS-31032 HR-FS-31033 HR-FS-31035 HR-FS-31036
<p>Todos los grupos electrógenos que consumen diésel marca perkins tienen CCF8 20300101. El CCF8 10300501 significa que es una caldera de combustión externa de uso comercial/institucional que consume diésel. El CCF8 20300101 significa que es una máquina de combustión interna de uso comercial/institucional que consume diésel. Al realizar una búsqueda online de marca y modelo se confirma que la fuente corresponde a un grupo electrógeno y no una caldera, por lo que el CCF8 sería el dato erróneo y no el tipo de fuente</p>	1	1	Grupo Electrógeno	EL-OR-50708
Total	81			

Fuente: Elaboración propia

10.3 Propiedades de los combustibles

A continuación, se presentan las propiedades de combustibles utilizadas para la normalización tanto del consumo de combustible como los factores de emisión.

Tabla 10-3 Propiedades de los combustibles

Combustible	PC (Kcal/kg)	Densidad (kg/m3)	PC (KJ/kg)	PC (KJ/m3)
Aserrín	3.500	370,00	14.644	5.418.280
Bencina	11.200	730,00	46.861	34.208.384
Biogas	5.600	1,30	23.430	30.460
Biomasa Combustible	3.500	370,00	14.644	5.418.280
Butano	12.100	579,00	50.626	29.312.686
Coke de Petróleo (Petcoke)	7.000	850,00	29.288	24.894.800
Combustible Sólido Alternativo	9.000	1.200,00	37.656	45.187.200
Gas de Cañería	12.100	0,54	50.626	27.490
Gas Licuado de Petróleo	12.100	543,00	50.626	27.490.135
Gas Natural	13.940	0,76	58.325	44.327
Kerosene	11.100	810,00	46.442	37.618.344
Leña	3.500	370,00	14.644	5.418.280
Petróleo N 2 (Diesel)	10.900	840,00	45.606	38.308.704
Petróleo N 6	10.500	945,00	43.932	41.515.740
Propano	12.100	507,00	50.626	25.667.585

Fuente: Elaboración propia

10.4 Niveles de actividad del Sector Industrial

Tabla 10-4 Consumo mensual por fuente del Sector Industrial

Fuente	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Caldera Agua Caliente	kg/h	1.052.898	950.496	1.069.248	1.109.504	1.171.623	1.448.973	1.050.140	1.482.099	1.096.836	1.073.177	1.034.283	1.048.686
	L/h	11.065	10.462	8.365	6.364	5.965	6.364	8.365	10.665	10.864	10.865	10.464	10.665
	m3N/h	5.160.455	4.477.515	5.114.756	5.510.534	6.492.818	6.385.564	6.945.008	6.863.007	6.510.984	6.177.209	5.035.170	5.286.396
	ton/h	162.294	153.276	162.437	157.442	164.458	159.932	165.394	165.627	159.988	163.074	156.743	227.986
Caldera de Fluido Térmico	kg/h	4.404	4.104	18.233	15.314	14.775	16.356	14.809	13.979	8.280	11.144	12.687	10.861
	m3N/h	114.299	38.903	89.261	22.441	30.401	24.236	24.595	33.571	66.939	631.594	80.914	71.283
	ton/h	425	423	493	506	504	541	570	546	489	517	507	504
	L/h	8.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Caldera de Generación Eléctrica	m3N/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caldera Industrial (Generadora de Vapor o Agua Caliente)	kg/h	4.106.931	4.557.961	5.477.486	5.302.844	5.708.110	5.524.795	4.911.373	4.708.357	4.077.604	5.367.932	5.100.855	5.197.935
	m3N/h	4.819.371	4.525.021	5.054.094	4.650.047	4.793.083	4.468.898	4.838.449	5.082.967	4.753.399	4.785.932	4.884.560	4.544.141
	ton/h	72.772	32.227	94.164	65.584	43.790	54.936	91.252	125.689	61.447	54.350	62.488	63.303
Calentador	ton/h	42	26	40	46	75	61	39	49	73	50	62	52
Chimenea	kg/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grupo Electrógeno	kg/h	314.143	340.211	280.756	465.999	477.532	442.472	447.980	435.159	374.593	209.808	253.621	274.573
	L/h	541.891	707.559	869.778	1.064.208	1.300.128	1.119.874	1.155.227	1.254.163	1.075.530	760.017	733.101	903.370
	m3N/h	2.570.831	1.794.433	2.384.593	2.132.269	2.058.785	2.030.975	2.167.031	2.131.940	2.380.997	1.892.449	2.446.042	2.596.016
	ton/h	567	726	663	2.749	3.271	3.388	2.835	2.493	1.475	619	1.009	528
Horno	kg/h	12.733	0	16.389	13.402	12.866	13.692	11.666	13.283	11.426	12.061	13.012	12.827
	L/h	0	0	140	90	190	0	0	0	0	0	0	0
	m3N/h	19.612	19.624	22.135	21.080	20.856	18.919	20.391	20.027	20.168	19.437	21.165	21.766
	ton/h	113	116	138	120	138	135	134	140	134	123	127	127
Horno Basculante - Refinamiento a Fuego	m3N/h	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Horno Calcinadores	ton/h	70	68	67	75	93	13	82	38	53	23	43	65
Horno de Cocción	m3N/h	530.024	543.857	512.037	540.778	541.203	536.193	215.650	0	0	428.349	576.612	542.341
Horno de Fusión	m3N/h	808.644	922.822	1.219.847	1.216.482	1.351.053	1.432.140	1.512.669	1.467.584	1.436.286	1.509.557	1.449.414	1.364.228
Horno de Fusión	m3N/h	2.938.364	2.192.698	2.808.040	2.378.968	2.345.447	2.164.930	2.960.888	3.143.956	3.057.881	3.212.530	2.681.004	2.971.348
Horno de Panadería	kg/h	49.575	46.037	51.382	48.222	49.705	49.050	50.275	45.675	43.875	32.333	32.061	36.778
	L/h	13.444	12.375	13.224	14.074	13.844	14.174	14.644	14.724	14.757	13.400	13.274	14.498
	m3N/h	119.926	119.814	120.204	120.155	121.487	121.715	122.141	122.323	122.470	121.726	121.814	120.633
	ton/h	237	199	243	252	263	796	270	268	263	273	246	228
Horno de Panadería	kg/h	225.260	211.212	225.748	222.616	225.388	232.815	227.312	226.208	222.162	225.327	222.657	225.273
	L/h	20.654	19.127	20.654	20.345	20.654	20.345	20.654	20.654	20.345	20.654	20.345	20.654

Fuente	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horno de Refino	m3N/h	382.894	245.128	357.536	327.383	358.578	340.458	319.050	298.275	299.732	295.021	267.009	341.972
	ton/h	3.770	3.668	4.073	4.394	2.821	3.744	4.285	3.828	3.796	5.030	3.313	4.015
Horno de Refino	ton/h	0	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Horno de Tostacion	ton/h	17	16	19	17	18	18	18	18	18	16	18	18
Horno de Tostación	ton/h	14	14	16	14	16	15	15	16	15	14	15	15
Horno Palanquillas	m3N/h	1.417.313	1.113.739	1.397.148	1.184.159	928.879	1.326.759	759.897	1.111.870	1.057.247	814.414	1.237.745	1.322.243
Horno Rotarorio	kg/h	167.225	152.820	178.141	118.430	177.184	166.509	143.381	123.924	97.075	145.312	144.108	85.132
	m3N/h	179.943	208.254	201.007	118.592	186.631	116.835	99.140	119.181	149.976	146.014	128.977	120.985
	ton/h	5.440	3.593	5.342	4.836	1.727	4.541	5.148	5.249	4.725	5.257	4.857	4.414
Horno Rotatorio Secador	ton/h	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Horno Secador	m3N/h	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	ton/h	5	4	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5
Horno Tostación	L/h	2.100	14.000	46.400	46.800	52.400	23.800	10.600	3.200	21.400	3.800	62.000	45.600
Marmita de Calcinación	ton/h	187	124	193	188	188	181	197	133	166	173	183	183
Motor Generacion Electrica	L/h	184	184	316	1.781	1.725	4.917	3.325	2.092	3.708	1.079	483	184
	m3N/h	3.432.222	3.221.178	3.183.121	2.926.545	3.206.440	2.834.316	3.520.415	3.015.187	3.661.806	3.145.440	2.342.777	2.531.102
Secador	ton/h	343	228	359	357	361	363	361	255	326	347	321	306
Turbina de Gas	m3N/h	0	0	0	13.585.086	41.459.396	45.955.847	45.963.980	42.073.618	27.924.964	25.435.401	35.836.222	37.787.740
	ton/h	2.490	3.275	1.935	2.188	2.369	5.952	3.836	5.882	4.302	3.876	3.252	3.886

Fuente: Elaboración propia

10.5 Sistemas de abatimiento y eficiencias del Sector Industrial

Tabla 10-5 Sistemas de abatimiento por fuente y su eficiencia por contaminante [%]

Establecimiento	Identificador Rfp	Tipo abatimiento	MP	SO2	NOX	CO	COV	CO2
PLANTA COLINA	HR-PPH-21680	Filtro de Mangas	99,8					
	HR-PPH-21680	Ciclon Seco	40					
PLANTA CERRO BLANCO - TIL TIL	HR-PCM-8974	SCR Catalizador NOX			30			
	HR-PCM-8974	Filtro de Mangas	98					
	HR-PCM-8974	Inyeccion de Agua			15			
CERAMICA SANTIAGO	HR-PCR-3183	Filtro de Mangas	98					
Planta Maipú	HR-MNM-17741	Filtro de Mangas	98					
Planta Puente Verde	HR-MNM-17770	Filtro de Mangas	99					
CRISTALERIAS DE CHILE S A	HR-PDV-54279	Scrubber		75				
	HR-PDV-54279	SCR Catalizador NOX			77			
	HR-PDV-54279	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-8581	Scrubber		75				
	HR-PDV-8581	SCR Catalizador NOX			77			
	HR-PDV-8581	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-8582	Scrubber		75				
	HR-PDV-8582	SCR Catalizador NOX			77			
	HR-PDV-8582	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-8584	Scrubber		75				
	HR-PDV-8584	SCR Catalizador NOX			77			
	HR-PDV-8584	Precipitador Electroestatico	98					
BODEGA DE ENVASES DE VIDRIO Y PLANTA DE RECICLADO DE VIDRIO	HR-PDV-37737	SCR Catalizador NOX			90			
	HR-PDV-37737	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-37737	Desulfurizador		50				

Establecimiento	Identificador Rfp	Tipo abatimiento	MP	SO2	NOX	CO	COV	CO2
CRISTALERIAS TORO SPA	HR-PDV-1047	Filtro de Mangas	98					
	HR-PDV-1047	Desulfurizador		55				
	HR-PDV-1541	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-1541	Desulfurizador		60				
	HR-PDV-1710	Precipitador Electroestatico	98					
	HR-PDV-1710	Desulfurizador		55				
ESCO ELECMETAL COLINA	HR-FS-47049	Filtro de Mangas	99					
	HR-FS-47221	Filtro de Mangas	99					
FORESTAL ACZA	CA-OR-33624	Filtro de Mangas	98					
	CA-OR-33624	Ciclon	90					
FUNDICION DE METALES METALBRAS LTDA	HR-FS-18920	Filtro de Mangas	90					
	HR-FS-18963	Filtro de Mangas	90					
MOLYMET NOS	HR-PMM-2138	Precipitador Electroestatico	99,9					
	HR-PMM-2138	Planta de a�cidio		99,9				
	HR-PMM-2138	Decantador Seco	99,9					
	HR-PMM-2140	Precipitador Electroestatico	99,9					
	HR-PMM-2140	Planta de a�cidio		99,9				
	HR-PMM-2140	Lavador Venturi	99,9					
	HR-PMM-2140	Decantador Seco	99,9					
	HR-PMM-2141	Precipitador Electroestatico	99,9					
	HR-PMM-2141	Precipitador Electroestatico	99,9					
	HR-PMM-2141	Planta de a�cidio		99,9				
	HR-PMM-2141	Decantador Seco	99,9					
	HR-PMM-2142	Precipitador Electroestatico	99					
	HR-PMM-2142	Planta de a�cidio		99,9				
	HR-PMM-2142	Decantador Seco	99,9					
	HR-PMM-2142	Ciclon Seco	99					
	HR-PMM-2302	Scrubber Humedo	99					
	HR-PMM-2541	Scrubber Humedo	99					

Establecimiento	Identificador Rfp	Tipo abatimiento	MP	SO2	NOX	CO	COV	CO2
	HR-PMM-2546	Scrubber Humedo	99					
PRUNESCO S A	IN-GEV-40978	Filtro de Mangas	90					
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL S.A., PLANTA SANTA ROSA	MC-PYS-8531	Filtro de Mangas	98					
	MO-PYS-8521	Filtro de Mangas	98					
	HR-PYS-2938	Filtro de Mangas	99					
SOCIEDAD INDUSTRIAL ROMERAL, PLANTA SAN GABRIEL	HR-PYS-2938	Ciclon Seco	75					
	HR-PYS-2950	Filtro de Mangas	98					
	HR-PYS-2950	Ciclon Seco	75					
SOCIEDAD MINERA PETREOS QUILIN LTDA LAMPA	CL-PAS-51673	Filtro de Mangas	99,99					
TINTORERIA INDUSTRIAL PEDRO DE VALDIVIA S.A.	IN-GEV-23435	Scrubber Humedo	98					
ZETAENE	HR-FS-39755	Lavador Venturi	98					

Fuente: Elaboración propia