



“Inventario de emisiones de maquinaria fuera de ruta para la región Metropolitana”



INDIVIDUALIZACIÓN DE LA EMPRESA CONSULTORA

Nombre o Razón Social	Ingeniería y Gestión Ambiental ParticuloTech Limitada
Nombre de Fantasía	PARTICULAS
RUT	76.398.593-8
Tipo de Empresa	Servicios de Ingeniería
Condición de Nacionalidad	Chilena
Representante Legal	
Nombre	Luis Alonso Díaz Robles
Rut	11.162.556-5
e-mail	luisdiazrobles@particulas.cl
Domicilio Legal en Chile	
Dirección	La Concepción 191, Oficina 601, Providencia
Teléfonos	56 9 79775810
web	www.particulas.cl
e-mail	contacto@particulas.cl

DATOS DE CONTACTO

Nombre	Odel Gallardo Contreras		
Cargo	Gerente Comercial		
e-mail	contacto@particulas.cl		
Fono		Celular 56 9 5322 7950	Fax

“Inventario de emisiones de maquinaria fuera de ruta para la región Metropolitana”

INFORME 1

Preparado por:

PARTICUOLOTECH LTDA.

Versión del Documento		1	
Responsables Elaboración de Informe		Responsable Revisión	Responsable Aprobación
Nombre:	Isidora González Zubieta	Fidel Vallejo Gallardo	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniera de Proyectos Ingeniera Civil Química	Gerente de Operaciones	Jefe de Proyecto Gerente General
Fecha:	03-03-2022	03-03-2022	03-03-2022



CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN	7
2.- OBJETIVOS	8
2.1.- Objetivo general	8
2.2.- Objetivos específicos	8
3.- METODOLOGÍA	9
3.1.- Inventario de Emisiones	9
3.2.- Depuración base de datos de aduana	10
3.2.1.- Tipología	11
3.2.2.- Potencia.....	12
3.2.3.- Rubro	13
3.2.4.- Combustible	15
3.2.5.- Nivel tecnológico.....	15
3.2.6.- Origen y antigüedad	17
3.3.- Asignación geográfica	17
3.4.- Información faltante y supuestos para el cálculo de emisiones	18
4.- RESULTADOS	23
4.1.- Participación según clasificaciones	23
4.2.- Emisiones	28
5.- CONCLUSIONES	32
6.- BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipologías y definiciones de maquinaria móvil fuera de carretera(CALAC, 2021).	11
Tabla 2 Ejemplo de clasificación y asignación de la potencia del motor según códigos arancelarios	12
Tabla 3 Clasificación de MMFR según tipo de rubro.....	13
Tabla 4 Clasificación de tipología según rubro.....	14
Tabla 5 Equivalencia entre estándares de emisión europeo y estadounidense.....	15
Tabla 6 Estándar de emisiones de MMFR en distintos países del mundo.	16
Tabla 7 Criterios utilizados para la distribución de la flota dentro de la Región Metropolitana	17
Tabla 8 Porcentaje de participación para la RM	18
Tabla 9. Horas de operación y factor de carga para la tipología seleccionada.	18
Tabla 10. Factor de deterioro para los contaminantes.	19
Tabla 11 Factor de ajuste transitorio para maquinaria móvil fuera de ruta y los distintos contaminantes.....	20
Tabla 12 Participación de MMFR en la Región Metropolitana según tipo de rubro	23
Tabla 13 Participación de la flota según tipo de rango de potencia.	24
Tabla 14 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología (supuesto Tier 2)	25
Tabla 15 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología y rubro (supuesto Tier 2)	26
Tabla 16 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología y rubro (supuesto Tier 4)	26
Tabla 17 Participación de la maquinaria según origen (Elaboración propia).....	27
Tabla 18 Emisiones en [ton/año] en la Región Metropolitana, clasificado por tipo de rubro utilizando supuesto de Tier 4	28
Tabla 19 Emisiones en [ton/año] en la Región Metropolitana, clasificado por tipo de rubro utilizando supuesto de Tier 2	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación de MMFR dentro de RM según rubro (Elaboración propia).....	24
Figura 2 Participación de la flota según rango de potencia (Elaboración propia)	25
Figura 3 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología (supuesto Tier 2) – Elaboración propia.....	26
Figura 4 Participación de la maquinaria según origen (Elaboración propia 2023)	27
Figura 5 Distribución de emisiones dentro de la RM para MMFR (Utilizando supuesto de Tier 4) – Fuente: Elaboración propia	29
Figura 6 Distribución de emisiones dentro de la RM para MMFR (Utilizando supuesto de Tier 2) – Fuente: Elaboración propia	29
Figura 7 Comparación de emisiones de Tier 4- Tier2 dentro de la RM (Elaboración propia)..	30

Figura 8 Distribución de las emisiones de MMFR según rubro dentro de la RM, utilizando supuesto de Tier 4 (Elaboración propia).	30
Figura 9 Distribución de las emisiones de MMFR según rubro dentro de la RM, utilizando supuesto de Tier 2 (Elaboración propia).	31



1.- INTRODUCCIÓN

El D.S. N°31/2016 del MMA, del 24 de noviembre del 2017, que establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago, tiene como objetivo el cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental de aire. EL PPDA identifica en su inventario de emisiones de 2015, el sector de maquinaria móvil fuera de ruta (MMFR) como uno de los principales aportadores de las emisiones de $MP_{2,5}$ (20%) y NO_x (60%) en la región. En la actualidad 2022, existe un avance tanto del crecimiento de la región como también de las mejoras tecnológicas en control de emisiones aportan un grado de incertidumbre a cuál es la cantidad efectiva de emisiones de este sector.

El presente informe detalla el inventario de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta para la región Metropolitana. Como base para esto se tomará el inventario nacional de MMFR desarrollado el año 2021 por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). El presente informe tiene como objetivo el proceso de actualización del inventario de emisiones de MMFR del PPDA. La metodología de este inventario nacional está basada en dos documentos, en primer lugar, en el “Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling”(EPA, 2010), que aporta con la fórmula general de obtención de emisiones, y, en segundo lugar, Non Road Mobile Machinery (EMEP/EEA, 2019b), que aporta con factores de emisión y parámetros más actualizados que los indicados por la EPA.

2.- OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un inventario de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta de la Región Metropolitana de Santiago (RM), en base al inventario nacional, año 2018, desarrollado por el MMA.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar la información necesaria para el inventario regional, presentado en el inventario nacional.
2. Depurar base de datos de la aduana en el periodo de 2011 a 2021.
3. Realizar los cálculos para el inventario de emisiones de maquinaria fuera de ruta de la RMS.

3.- METODOLOGÍA

3.1.- INVENTARIO DE EMISIONES

A nivel nacional, existe un inventario nacional que estimó las emisiones de Maquinaria Móvil Fuera de Ruta (MMFR) generadas el año 2018, el cual corresponde al “Inventario Nacional y Proyecciones de Emisiones de Maquinaria móvil fuera de ruta”, el cual fue elaborado en el marco de Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina- CALAC+ (CALAC, 2021).

Este proyecto desarrolló un inventario de MMFR para la Región Metropolitana, basándose en dicho inventario nacional. Para ello, la primera actividad realizada consistió en la revisión del inventario nacional con la finalidad de identificar la información necesaria para el desarrollo de un inventario regional. También se revisó de manera referencial el modelo de emisiones para la componente en ruta y no en carretera de la EPA (MOVES) definida en sus respectivos reportes técnicos de la Agencia Ambiental Europea (EEA) (US EPA, 2018).

El algoritmo para la estimación de las emisiones provenientes de la operación de maquinaria móvil fuera de ruta está dado por la siguiente ecuación:

$$E_{i,j} = h \times P_i \times (1 + FD_i) \times FC_i \times TAF_i \times FE_{Base\ i,j}$$

Donde:

- $E_{i,j}$: Emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/año].
- h_i : Horas de utilización de la maquinaria i, en [h/año].
- P_i : Potencia del tipo de maquinaria i, en [kW].
- FD_i : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.
- FC_i : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.
- TAF_i : Factor de ajuste transiente de la maquinaria i, adimensional.
- FE_{Base} : Factor de emisión de contaminantes j, de la maquinaria i, en [g/kWh].

Esta metodología utiliza factores de emisión para la estimación de emisiones que provienen del capítulo 1.A.4 Non Road Mobile Machinery (Ole Kenneth, 2019), los cuales se encuentran sintetizados en la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana” en el apartado de “Combustión de maquinaria fuera de ruta” (MMA, 2019), donde son definidos en base a la potencia y la tecnología de la maquinaria.

En base a la revisión desarrollada, se identificó que para elaborar un inventario de emisiones de maquinaria fuera de ruta para la Región Metropolitana es necesario conocer:



- Cantidad de maquinaria por tipo y rubro
- Rubro
- Potencia
- Tecnología
- Horas de operación
- Edad
- Factor de carga y deterioro
- Asignación geográfica

Para cada uno de estos ítems el Inventario Nacional y Proyecciones de Emisiones de Maquinaria móvil fuera de ruta desarrollado por CALAC+, utiliza información y supuestos que se utilizaron dentro de los cálculos para las emisiones.

3.2.- DEPURACIÓN BASE DE DATOS DE ADUANA

Esté inventario fue realizado con una base de información en la fuente de datos de la “Declaración de importaciones (DIN). Servicio Nacional de Aduanas, la cual incluye información en el periodo de 2010 a 2021, información que fue extraída el 15 de diciembre del año 2022 en base a lo solicitado en los códigos arancelarios que corresponden a la maquinaria móvil fuera de ruta segmentada según el tipo de potencia, esta clasificación es mencionada a modo de ejemplo en la Tabla 2.

Para el desarrollo del inventario se rescató la metodología de cálculo “Inventario Nacional y Proyecciones de Emisiones de Maquinaria móvil fuera de ruta”, el cual fue elaborado en el marco de Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina- CALAC+. De la misma forma, este documento está basado en la “Guía Metodológica para la construcción de inventario de maquinaria móvil no de carretera (estimación de la población de maquinaria)” (CALAC+, 2020) herramienta que se utilizó para la depuración de la base de datos de aduana.

La base de datos incluye información con respecto al año de importación, país de origen, información de empresa importadora, además de una glosa descriptiva de otros parámetros que caracterizan a la mercadería tal como la potencia, maquinaria, tipo de combustible, etc. Toda la información anterior requiere una depuración y orden para realizar correctamente la clasificación de la flota y posterior cálculo de emisiones de cada una de ellas.

Para el presente inventario se consideraron MMFR con tipo de combustible diésel, gasolina y gas, además se consideró toda maquinaria MMFR con potencia menos a 19 kW y mayores a 560 kW, al igual que la normativa estadounidense desde Tier 0 a Tier 4.

Con el propósito de utilizar la base de datos para el cálculo de las emisiones, la información de mayor relevancia para la depuración es: tipología de maquinaria, potencia del motor, rubro,

tipo de combustible, antigüedad de la maquinaria, nivel tecnológico y origen. Se detalla en secciones independientes del presente informe cada uno de estos parámetros, lo que incluye los supuestos utilizados para sus cálculos (en su mayoría son similares a los mismos utilizados en el inventario 2020 de CALAC+)

3.2.1.- TIPOLOGÍA

La caracterización del tipo de tecnología de la MMFR no puede tener variaciones en las designaciones. Las categorías que se le den dependerán del país en que se realice el estudio, por lo tanto para el presente inventario se rescató la tipología de referencia utilizada en guía (CALAC+, 2020), dado que la descripción de la mercadería contaba con información muy variada, se utilizó algoritmos computacionales para poder depurar de manera más eficiente la tipología mencionada en la Tabla 1. La columna que indica “Homologación Aduana” corresponde a algunos de los ejemplos de la descripción de la mercadería.

Tabla 1 Tipologías y definiciones de maquinaria móvil fuera de carretera(CALAC, 2021).

Tipología	Homologación Aduana
Asfaltadora	Pavimentadora, Terminadora, Maquina asfaltadora
Barredora	Barredora
Bulldozer	Topadora frontal, bulldozer
Camión fuera de carretera	Camión volquete, camión volteador, camión tolva y Dumper con potencia superiores a 50 kW
Cargador de troncos	Cargador de troncos, arrastrador de troncos.
Cargador Frontal	Cargador, cargador frontal
Cosechadora	Cosechadora, maquina cosechadora, trilladora
Dumper	Dumper con potencia menores a 50 kW
Excavadora	Excavadora
Grúa Horquilla	Montacargas, grúa horquilla perteneciente al rubro industrial
Grúa Horquilla todo terreno	Grúa horquilla, montacargas pertenecientes a construcción, minería, forestal y agricultura.
Grúa telescópica	Grúa telescópica, grúas.
Minicargador	Minicargador
Miniexcavadora	Miniexcavadora
Motoniveladora	Motoniveladora
Manipulador	Manipulador telescópico, manipulador

Tipología	Homologación Aduana
Otros equipos agrícolas	Recolector agrícola, sembradora, sacudidor, maquina vendimiadora
Otros equipos de construcción	Tiendetubo
Otros equipos en minas subterráneas	Maquina tunelera, máquina para hacer túneles
Perforador	Perforadora, perforador
Plataforma telescópica	Plataforma de elevación, plataforma tijeras, plataforma telescópica
Quitanieves	Quitanieves
Retroexcavadora	Retroexcavadora
Rodillo	Rodillo compactador, rodillo aplanador
Tractor	Tractores pertenecientes al rubro construcción y minería
Tractor agrícola	Tractor perteneciente al rubro agrícola
Zanjadora	Zanjadora

Fuente: Inventario nacional y proyecciones de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta (CALAC, 2021).

3.2.2.- POTENCIA

Para el caso de la potencia del motor de la maquinaria, se puede rescatar esta información de la base de datos de la glosa descriptiva de la aduana, y viene en unidades de [HP] o [kW] la cual fue unificada a unidades de kW para los posteriores cálculos. Para la mercancía que no contaba con la potencia dentro de la descripción, fue asignado la mayor potencia dentro de su código arancelario correspondiente, como se muestra a modo de ejemplo en la Tabla 2, en donde solo se incluyeron una parte de las categorías.

Tabla 2 Ejemplo de clasificación y asignación de la potencia del motor según códigos arancelarios

Código arancelario	Descripción
8426.4110	Con motor de potencia inferior a 19 kW
8426.4120	Con motor de potencia superior o igual a 19 kW pero inferior a 37 kW
8426.4130	Con motor de potencia superior o igual a 37 kW pero inferior a 56 kW
8426.4140	Con motor de potencia superior o igual a 56 kW pero inferior a 75 kW
8426.4150	Con motor de potencia superior o igual a 75 kW pero inferior a 130 kW
8426.4160	Con motor de potencia superior o igual a 130 kW pero inferior o igual a 560 kW
8426.4170	Con motor de potencia superior a 560 kW

3.2.3.- RUBRO

Considerando como base el inventario de CALAC+ y EEA 2013, Se muestra en la Tabla 3 la clasificación de la tipología de la maquinaria móvil fuera de ruta según rubro, en base a las citas mencionadas anteriormente.

Tabla 3 Clasificación de MMFR según tipo de rubro.

Rubro	MMFR	Rubro	MMFR	
Construcción	Minicargador	Minería	Grúa horquilla	
	Asfaltadora/ Pavimentadora		Bulldozer	
	Bulldozer		Motoniveladora	
	Cargador frontal		Maq. para hacer túneles	
	Excavadora		Dumper	
	Grúa Horquilla		Rodillo	
	Grúa Telescópica		Zanjadora	
	Máquina para hacer túneles		Agricultura	Zanjadora
	Miniexcavadora			Cosechadoras
	Motoniveladora	Tractores de dos ruedas		
	Plataforma telescópica	Swatchers		
	Retroexcavadora	Empacadoras agrícolas		
	Rodillo	Tractores		
	Tiendetubo	Cosechadora		
	Zanjadora	Desmalezador		
	Manipulador	Sembradora		
	Perforadora	Recolector agrícola		
	Dumper	Sacudidor		
	Minería	Limpiadores de alta presión	Trilladora	
Motoniveladora		Deshojadora		
Aeropuerto GSE		Forestal	Cosechadora (Forestal)	
Pavimentadora de asfalto			Expedidor	
Minicargador			Tractores (Silvicultura)	
Perforador			Cargador de troncos	
Camión Tolva			Arrastrador de troncos	
Retroexcavadora			Rodillo	
Cargador frontal				

Fuente: Inventario nacional y proyecciones de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta (CALAC, 2021).

Para el presente inventario se consideraron la siguiente clasificación de rubros:

- Agrícola-Forestal
- Construcción
- Industrial
- Minería

Dentro de esta clasificación se consideró que la MMFR importada solo aplica a un rubro en específico, para realizar esta clasificación se consideró el mayor porcentaje de participación según rubro del inventario 2018, llegando a clasificar la tipología de maquinaria del actual inventario como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Clasificación de tipología según rubro.

Rubro	Tipología
Agrícola-Forestal	Cargador de troncos
	Cosechadora
	Otros equipos agrícolas
	Rodillo
	Tractor
	Tractor agrícola
	Zanjadora
Construcción	Asfaltadora
	Bulldozer
	Cargador frontal
	Excavadora
	Grúa telescópica
	Manipulador
	Manipulador telescópico
	Motoniveladora
	Otros equipos de construcción
	Plataforma telescópica
	Quitanieves
	Retroexcavadora
Industrial	Barredora
	Camión fuera de carretera
	Grúa horquilla
Minería	Otros equipos en minas subterráneas
	Perforador

Fuente: Inventario nacional y proyecciones de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta (CALAC, 2021).

3.2.4.- COMBUSTIBLE

En el presente inventario se considera los siguientes tipos de combustible:

- Diésel
- Gas
- Gasolina

Para asignación del tipo de combustible de la MMFR, se tuvo en cuenta dos posibilidades: en el caso de contar con la información en la glosa descriptiva, esta se mantuvo. Mientras que en el caso de no contar con dicha información se consideró el tipo de combustible Diésel.

3.2.5.- NIVEL TECNOLÓGICO

Para el nivel tecnológico de la flota la cual permite calcular las emisiones durante la operación de la maquinaria, se han desarrollado estándares de emisiones para los motores de maquinaria en Estados Unidos y la Unión Europea, en la Tabla 5 se muestra la equivalencia entre ambas normativas de estándares de emisiones.

Tabla 5 Equivalencia entre estándares de emisión europeo y estadounidense

Tier	Stage
Tier 0	Stage I
Tier 1	
Tier 2	Stage II
Tier 3	Stage IIIA
Tier 3B	
Tier 4A	Stage IIIB
Tier 4B	Stage IV
Tier 4	

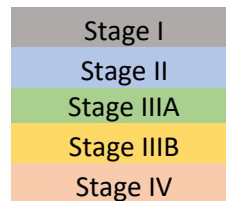
Fuente: Elaboración propia 2023

Además, se utilizaron los estándares de emisión de MMFR de distintos países, separados según el rango de potencia como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Estándar de emisiones de MMFR en distintos países del mundo.

Estados Unidos	Rango de potencia	1196	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
	P < 8																											
	8 ≤ P ≤ 19																											
	19 ≤ P ≤ 37																											
	37 ≤ P ≤ 56																											
	56 ≤ P ≤ 75																											
	75 ≤ P ≤ 130																											
	130 ≤ P ≤ 225																											
	225 ≤ P ≤ 450																											
	450 ≤ P ≤ 560																											
	P ≥ 560																											

Fuente: Elaboración propia 2023



Teniendo en consideración que en Chile para la MMFR no existe un reglamento a nivel nacional que permita controlar la entrada de MMFR, ingresa a Chile maquinaria nueva o usada sin importar las emisiones de los contaminantes. Por lo anterior se consideraron los siguientes supuestos:

1. El criterio acordado con la industria fue que la maquinaria llegaba a Chile cumpliendo en general la norma de ingreso del país de origen con un retraso de 5 años. (Se considera Tier 4)
2. Los estándares de emisiones se asignan con base en el año modelo y la suposición mencionada anteriormente. Se escogen los factores de emisión y metodología EPA.
3. Para realizar un peor escenario, se le asigna Tier 2 a la maquinaria que no contaba con año de antigüedad.

3.2.6.- ORIGEN Y ANTIGÜEDAD

En el caso del origen de la maquinaria importada, toda la MMFR incluyó la información en la descripción de la base de datos de la aduana.

Por otra parte, la antigüedad de la maquinaria se asigna de acuerdo con el año de fabricación que se indica en la descripción de la información aduanal. Para los casos dónde no se contaba con esta información, se considera que el año de fabricación es igual al año de importación del país., considerándose el supuesto N°1 y N°3 de la sección 3.2.5.-

3.3.- ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA

La información de la maquinaria importada proviene de aduana, la cual corresponde a la información a nivel país. Se consideraron los criterios adoptados en el inventario nacional para poder segmentar la data a la Región Metropolitana de Santiago, en donde se utilizó la misma proporción (se encuentra actualizada para el año 2020). Los criterios adoptados son adoptados según tipo de rubro, como se puede mostrar en la Tabla 7.

Tabla 7 Criterios utilizados para la distribución de la flota dentro de la Región Metropolitana

Rubro	Criterio
Agrícola-Forestal	Superficie sembrada agrícola y superficie forestal y reforestada
Construcción	m^2 construidos

Rubro	Criterio
Industrial	Trabajadores del sector manufacturero
Minería	Producción regional de cobre

Fuente: Inventario nacional y proyecciones de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta (CALAC, 2021)

Considerando lo anterior, se dan a conocer en la Tabla 8 el resumen de porcentaje de participación dentro de la Región Metropolitana con respecto a la base de datos nacional, clasificada según tipo de rubro.

Tabla 8 Porcentaje de participación para la RM

Rubro	Participación RM [%]
Agrícola-Forestal	3,6%
Construcción	40%
Industrial	47%
Minería	5,9%

Fuente: Inventario nacional y proyecciones de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta (CALAC, 2021)

Teniendo como base estos supuestos y consideraciones mencionados anteriormente se tiene una participación de 113.102 maquinarias móvil fuera de ruta.

3.4.- INFORMACIÓN FALTANTE Y SUPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES

Las emisiones de los contaminantes son calculadas en base a la “Guía metodológica para la estimación de emisiones de maquinaria móvil no de carretera”, la cual está basada en la EPA.

Con lo mencionado en las secciones anteriores se tuvieron una gran cantidad de los parámetros necesarios para el cálculo de las emisiones, pero aún mucho de ellos faltaron, como lo es el nivel de actividad de la maquina (cantidad de horas al día que trabaja la maquinaria), nivel de deterioro del motor, factor de ajuste transitorio, entre otros. Dicha información fue rescatada de las fuentes de información primaria, los cuales son:

1. **Horas de operación y factor de carga:** Se utilizaron valores de literatura EPA 2010, mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9. Horas de operación y factor de carga para la tipología seleccionada.

Maquinaria	Nivel de Actividad [horas/año]	Factor de carga
ASFALTADORA	392	0.66
BARREDORA	1220	0.43

Maquinaria	Nivel de Actividad [horas/año]	Factor de carga
BULLDOZER	899	0.59
CAMION FUERA DE CARRETERA	450	0.8
CARGADOR DE TRONCOS	175	0.48
CARGADOR FRONTAL	761	0.59
COSECHADORA	1276	0.59
EXCAVADORA	378	0.59
GRUA HORQUILLA	1800	0.3
GRUA TELESCOPICA	384	0.21
MANIPULADOR	1276	0.59
MANIPULADOR TELESCOPICO	1276	0.59
MOTONIVELADORA	899	0.59
OTROS EQUIPOS AGRICOLA	124	0.55
OTROS EQUIPOS DE CONSTRUCCION	371	0.48
OTROS EQUIPOS EN MINAS SUBTERRANEA	260	0.8
PERFORADOR	466	0.43
PLATAFORMA TELESCOPICA	1135	0.21
QUITANIEVE	40	0.34
RETROEXCAVADORA	1135	0.21
RODILLO	621	0.62
TRACTOR	1135	0.21
TRACTOR AGRICOLA	550	0.62
ZANJADORA	402	0.66

Fuente: (EPA, 2010)

2. **Factor de deterioro:** Se utilizaron valores de literatura EPA 2018, indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Factor de deterioro para los contaminantes.

Contaminante	Stage II	Stage III +
HC	0.034	0.027
CO	0.101	0.151
NO _x	0.009	0.008
PM	0.473	0.473

3. **Factor de ajuste transitorio:** Se utilizaron valores de literatura EPA 2018, tal como se observa en la Tabla 11.

Tabla 11 Factor de ajuste transitorio para maquinaria móvil fuera de ruta y los distintos contaminantes

Maquinaria	HC (SN-T3)	CO (SN-T3)	NOx (SN-T2)	NOx (Tier 3)	MP (SN-T2)	MP (Tier 3)
BARREDORA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
BULLDOZER	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
CAMION FUERA DE CARRETERA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
CARGADOR FRONTAL	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
MANIPULADOR TELESCOPICO	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
PLATAFORMA TELESCOPICA	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
EXCAVADORA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
GRUA TELESCOPICA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
COSECHADORA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
MANIPULADOR	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
GRUA HORQUILLA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
RETROEXCAVADORA	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.5
MOTONIVELADORA	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
QUITANIEVE	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
OTROS EQUIPOS AGRICOLA	2.3	1.5	1	1	1.2	1.5
OTROS EQUIPOS EN MINAS SUBTERRANEA	1.1	1	1	1	1	1
OTROS EQUIPOS DE CONSTRUCCION	1	1.5	1	1	1.2	1.5
CARGADOR DE TRONCOS	1.1	2.6	1.1	1.2	2	2.4
ASFALTADORA	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
PERFORADOR	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
RODILLO	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4
TRACTOR	1.1	1.5	1	1	1.2	1.5
TRACTOR AGRICOLA	1	1	1	1	1	1
ZANJADORA	2.3	2.6	1.1	1.2	2	2.4

Fuente: (US EPA, 2018)

4. **Factor de emisión:** Los factores de emisión EPA fueron extraídos del documento Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b [EPA 2018]. Los factores de emisión EEA fueron obtenidos del documento EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. Chapter Non-Road Mobile Sources and Machinery [EEA 2019].



Potencia del Motor (kW)	Tipo de Tecnología	BSFC	BSFC	Factor de Emisión (g/kW-hr) [Factor de estado estacionario]			
		(lb/kW-hr)	(g/kW-hr)	HC	CO	NOx	PM
>0 A 8	Tier 0	0.55	249.48	2	6.7	13.41	1.3
	Tier 1	0.55	249.48	1	5.5	7	0.6
	Tier 2	0.55	249.48	0.7	5.5	5.77	0.7
	Tier 4A	0.55	249.48	0.7	5.5	5.77	0.4
	Tier 4B	0.55	249.48	0.7	5.5	5.77	0.4
>8 A 12	Tier 0	0.55	249.48	2.3	6.7	11.4	1.2
	Tier 1	0.55	249.48	0.6	2.9	6	0.4
	Tier 2	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
	Tier 4A	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
	Tier 4B	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
>12 A 19	Tier 0	0.55	249.48	2.3	6.7	11.4	1.2
	Tier 1	0.55	249.48	0.6	2.9	6	0.4
	Tier 2	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
	Tier 4A	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
	Tier 4B	0.55	249.48	0.6	2.9	5.95	0.4
>19 A 37	Tier 0	0.55	249.48	2.4	6.7	9.25	1.1
	Tier 1	0.55	249.48	0.4	2.1	6	0.5
	Tier 2	0.55	249.48	0.4	2.1	6.34	0.5
	Tier 4A	0.55	249.48	0.4	2.1	6.34	0.3
	Tier 4	0.55	249.48	0.18	0.21	4.02	0.02
>37 A 56	Tier 0	0.55	249.48	1.33	4.68	9.25	0.97
	Tier 1	0.55	249.48	0.7	3.2	7.51	0.6
	Tier 2	0.55	249.48	0.5	3.2	6.3	0.3
	Tier 4A	0.55	249.48	0.2	3.2	4.02	0.3
	Tier 4	0.55	249.48	0.18	0.32	4.02	0.02
>56 A 75	Tier 0	0.55	249.48	1.33	4.68	9.25	0.97
	Tier 1	0.55	249.48	0.7	3.2	7.51	0.6
	Tier 2	0.55	249.48	0.5	3.2	6.3	0.3
	Tier 3	0.55	249.48	0.2	3.2	4	0.4
	Tier 4	0.55	249.48	0.18	0.32	4.02	0.01
	Tier 4A	0.55	249.48	0.18	0.32	0.37	0.01
>75 A 130	Tier 0	0.55	249.48	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.55	249.48	0.5	1.2	7.58	0.4
	Tier 2	0.55	249.48	0.5	1.2	5.5	0.2
	Tier 3	0.55	249.48	0.2	1.2	3	0.3



Potencia del Motor (kW)	Tipo de Tecnología	BSFC	BSFC	Factor de Emisión (g/kW-hr) [Factor de estado estacionario]			
		(lb/kW-hr)	(g/kW-hr)	HC	CO	NOx	PM
	Tier 4	0.55	249.48	0.18	0.12	3.35	0.01
	Tier 4A	0.55	249.48	0.18	0.12	0.37	0.01
>130 A 225	Tier 0	0.49	223	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.49	223	0.4	1	7.48	0.3
	Tier 2	0.49	223	0.4	1	5.36	0.2
	Tier 3	0.49	223	0.2	1	3	0.2
	Tier 4	0.49	223	0.18	0.1	3.35	0.01
	Tier 4A	0.49	223	0.18	0.1	0.37	0.01
>225 A 450	Tier 0	0.49	223	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.49	223	0.3	1.8	8	0.3
	Tier 2	0.49	223	0.2	1.1	6	0.2
	Tier 3	0.49	223	0.2	1.1	3	0.2
	Tier 4	0.49	223	0.18	0.11	3.35	0.01
	Tier 4A	0.49	223	0.18	0.11	0.37	0.01
>450 A 560	Tier 0	0.49	223	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.49	223	0.2	1.8	8	0.3
	Tier 2	0.49	223	0.2	1.8	5	0.2
	Tier 3	0.49	223	0.2	1.8	3	0.2
	Tier 4	0.49	223	0.18	0.18	3.35	0.01
	Tier 4A	0.49	223	0.18	0.18	0.37	0.01
>560 A 900	Tier 0	0.49	223	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.49	223	0.4	1	8	0.3
	Tier 2	0.49	223	0.2	1	5	0.2
	Tier 4	0.49	223	0.38	0.1	3.21	0.09
	Tier 4A	0.49	223	0.18	0.1	0.62	0.02
> 900	Tier 0	0.49	223	0.91	3.62	11.24	0.54
	Tier 1	0.49	223	0.4	1	8	0.3
	Tier 2	0.49	223	0.2	1	5	0.2
	Tier 4	0.49	223	0.38	0.1	0.62	0.09
	Tier 4A	0.49	223	0.18	0.1	0.62	0.02

Fuente: (US EPA, 2018)

4.- RESULTADOS

Teniendo en consideración todos los supuestos y consideraciones mencionadas anteriormente los resultados obtenidos para la Región Metropolitana son los siguientes.

4.1.- PARTICIPACIÓN SEGÚN CLASIFICACIONES

1. Participación de la maquinaria dentro de la RM según rubro

Considerando la base de datos de aduana en donde la información viene a nivel nacional se consideraron los supuestos de la sección 3.3.- obteniéndose el desglose de las unidades de MMFR según tipo de rubro detalladas en la Tabla 12.

Tabla 12 Participación de MMFR en la Región Metropolitana según tipo de rubro

Rubro	Cantidad [Unidades]
Agrícola-Forestal	3584
Construcción	70559
Industrial	38527
Minería	432

Fuente: Elaboración propia 2023

Además, se puede observar en el Figura 1 que la mayor cantidad de maquinaria está enfocada en el rubro de la construcción con 70.559 maquinarias correspondientes al 62% de la flota a nivel regional, le sigue el rubro industrial con el 34%.

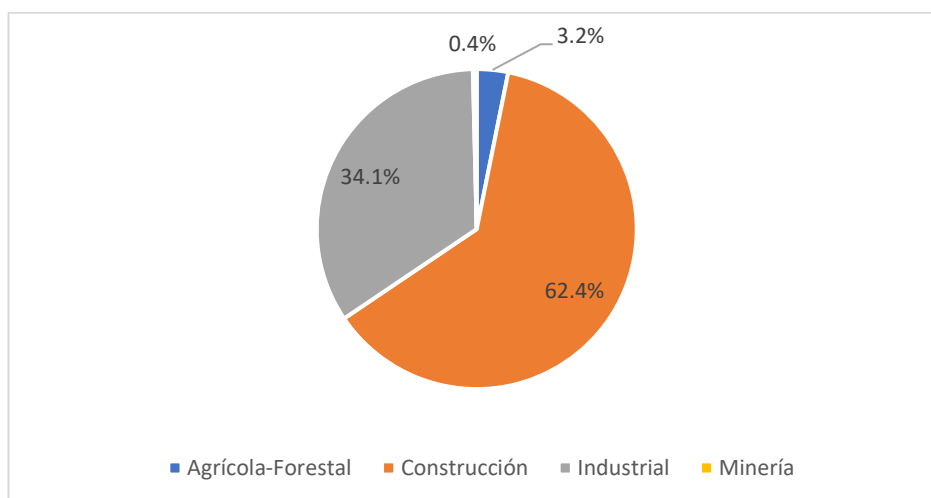


Figura 1. Participación de MMFR dentro de RM según rubro (Elaboración propia)

2. Participación de la maquinaria según potencia

La distribución y participación porcentual de la maquinaria de acuerdo con los rangos de potencia de la base de datos de aduana (a nivel nacional) se muestran en la Tabla 13. Considerando el supuesto tomado en la sección 3.2.2.- .

Tabla 13 Participación de la flota según tipo de rango de potencia.

Rango de potencia [kW]	Cantidad [Unidades]	Participación [%]
Menor a 19	25270	6.9
≥19 - < 37	37840	10.4
≥37 - < 56	43955	12.0
≥56 - < 75	35630	9.8
≥75 - < 130	20113	5.5
≥130 - < 225	9287	2.5
≥225 - < 450	23852	6.5
≥450 - < 560	6065	1.7
≥560	162984	44.7

Fuente: Elaboración propia 2023

El mayor porcentaje de participación es de la MMFR con potencia mayor a 560 [kW] con un 45% con 162.984 unidades de MMFR, esto se puede ver con más claridad en la Tabla 13.

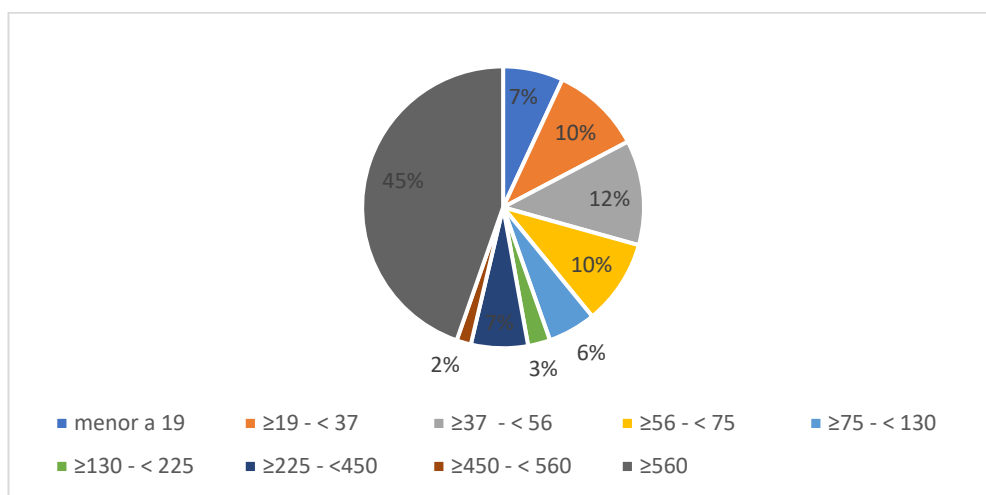


Figura 2 Participación de la flota según rango de potencia (Elaboración propia)

3. Participación de la maquinaria según tipo de tecnología

Considerándose la normativa de Estados Unidos, se tiene en una primera instancia el supuesto de asignación a Tier 2 para la MMFR que no contaba con información de edad de maquinaria dentro de la base de datos de la aduana. Considerando esto se tienen 290.516 unidades de maquinarias correspondiente al 80% con tecnología Tier 2 (Tabla 14 y Figura 3).

Tabla 14 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología (supuesto Tier 2)

Clasificación	Cantidad [Unidades]	Participación [%]
Tier 0 y Tier 1	5225	1.4
Tier 2	290516	79.6
Tier 3	4603	1.3
Tier 4	10689	2.9
Tier 4A	53963	14.8
Total	364995	100

Fuente: Elaboración propia 2023

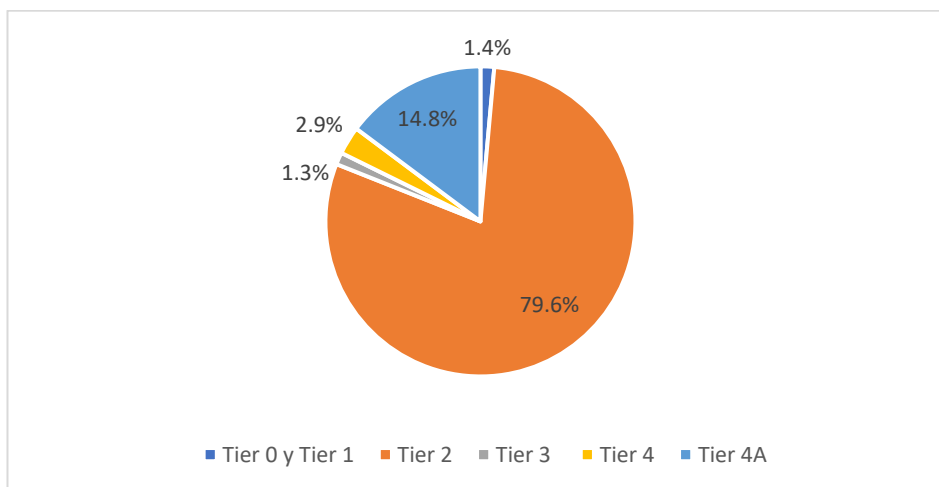


Figura 3 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología (supuesto Tier 2) – Elaboración propia

Considerando el anterior supuesto, la mayor participación es del rubro de la construcción con 152.919 MMFR con tecnología Tier 2.

Tabla 15 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología y rubro (supuesto Tier 2)

Clasificación	Construcción	Industrial	Minería	Agrícola-Forestal
Tier 0 y Tier 1	1844	447	201	3613
Tier 2	152919	27544	4283	53748
Tier 3	1245	727	20	3993
Tier 4	10764	37462	436	23260
Tier 4A	9626	15792	2400	14672
Total	176398	81972	7340	99286

Fuente: Elaboración propia 2023

Este escenario, también fue realizado considerando el supuesto de asignación Tier 4, en donde la maquinaria llega nueva y con la mejor tecnología, la información detallada se encuentra en la Tabla 16.

Tabla 16 Participación de la maquinaria según tipo de tecnología y rubro (supuesto Tier 4)

Clasificación	Construcción	Industrial	Minería	Agrícola-Forestal
Tier 0 y Tier 1	2130	342	128	3603
Tier 2	1709	317	93	1130
Tier 3	1161	173	31	1276
Tier 4	3575	675	209	2603
Tier 4A	33520	6358	2477	31966
Total	42095	7865	2938	40578

Fuente: Elaboración propia 2023

4. Participación de la maquinaria según origen

La mayor participación fue de los países europeos con un 38% (123.922 unidades de MMFR), esto se puede ver con más detalle en la Tabla 17 y Figura 4.

Tabla 17 Participación de la maquinaria según origen (Elaboración propia)

País	Cantidad [Unidades]	Participación [%]
EE. UU	44905	12.3
Brasil	14439	4.0
China	64860	17.8
Japón	26811	7.3
Europa	137922	37.8
Otros	76058	20.8
Total	364995	100.00

Fuente: Elaboración propia 2023

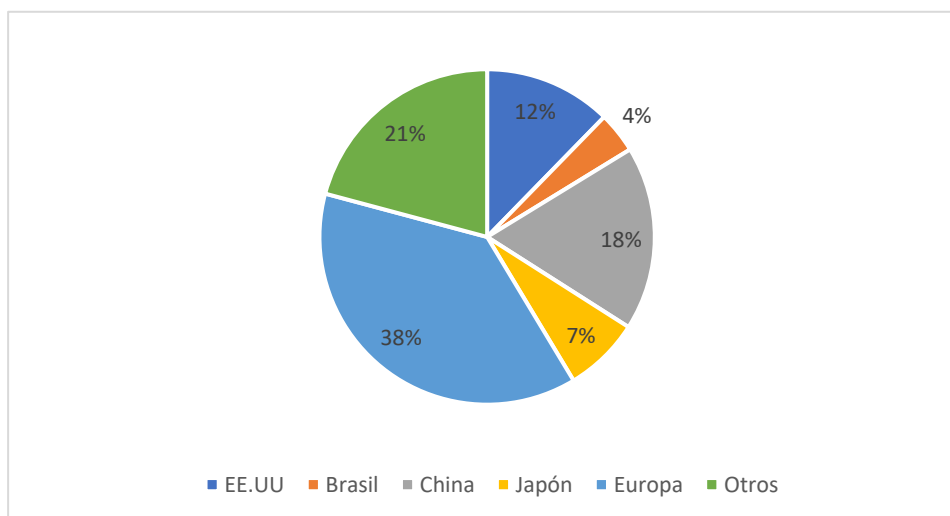


Figura 4 Participación de la maquinaria según origen (Elaboración propia 2023)

4.2.- EMISIONES

Uno de los parámetros importantes para el cálculo es el tipo de tecnología, dentro de la flota existía mucha data sin asignación (77%) en donde se utiliza un supuesto para asignarle clasificación, para llegar a un escenario comparativo, las emisiones fueron comparadas por cálculos del Tier 2 (Tabla 19) y Tier 4 (Tabla 18).

Tabla 18 Emisiones en [ton/año] en la Región Metropolitana, clasificado por tipo de rubro utilizando supuesto de Tier 4

	MPS	HC	NOX	CO	SO2	Unidades
Agrícola-Forestal	88	205	921	509	13	ton/año
Construcción	3460	12689	34187	18775	834	ton/año
Industrial	5487	18616	81354	24914	1838	ton/año
Minería	16	64	142	82	3	ton/año
TOTAL	9051	31575	116605	44280	2688	ton/año

Fuente: Elaboración propia 2023

Tabla 19 Emisiones en [ton/año] en la Región Metropolitana, clasificado por tipo de rubro utilizando supuesto de Tier 2

	MPS	HC	NOX	CO	SO2	Unidades
Agrícola-Forestal	150	139	1687	778	7	ton/año
Construcción	11864	9677	134935	68347	586	ton/año
Industrial	10821	8583	129505	44573	843	ton/año
Minería	43	41	397	219	2	ton/año
TOTAL	22878	18440	266523	113917	1438	ton/año

Fuente: Elaboración propia 2023

Para ambas consideraciones tomadas las emisiones más altas son para NO_x , cuando se consideró el supuesto de Tier 4 alcanza el 52%, lo que equivale a 116.605 [ton/año], para CO un 20% lo que corresponde a 44.280 [ton/año], se puede observar con más detalle en la Figura 5. Por otra parte, al considerar el supuesto de Tier 2, NO_x tiene una participación del 58% equivalente a 266.523 [ton/año].

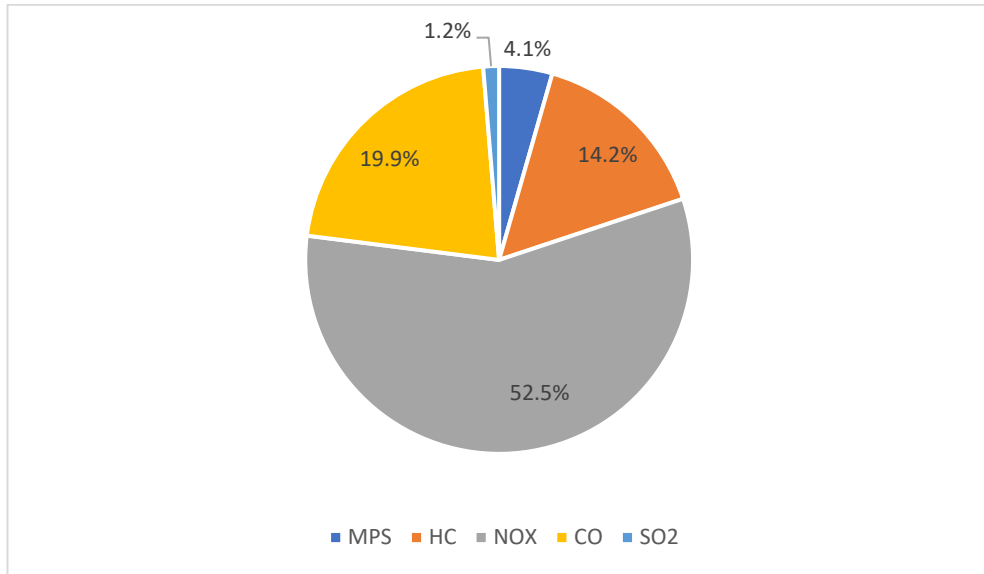


Figura 5 Distribución de emisiones dentro de la RM para MMFR (Utilizando supuesto de Tier 4) – Fuente: Elaboración propia

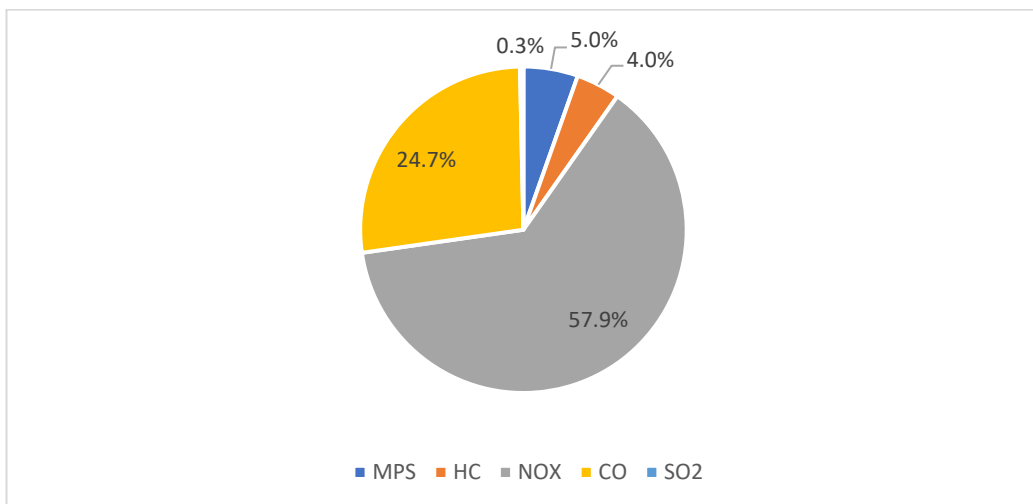


Figura 6 Distribución de emisiones dentro de la RM para MMFR (Utilizando supuesto de Tier 2) – Fuente: Elaboración propia

Comparando las emisiones de NO_x para ambos supuestos a nivel regional, se tiene la representación de la Figura 7.

Además, se presenta en la Figura 8 y Figura 9 las emisiones por tipo de rubro para cada uno de los supuestos mencionados anteriormente.

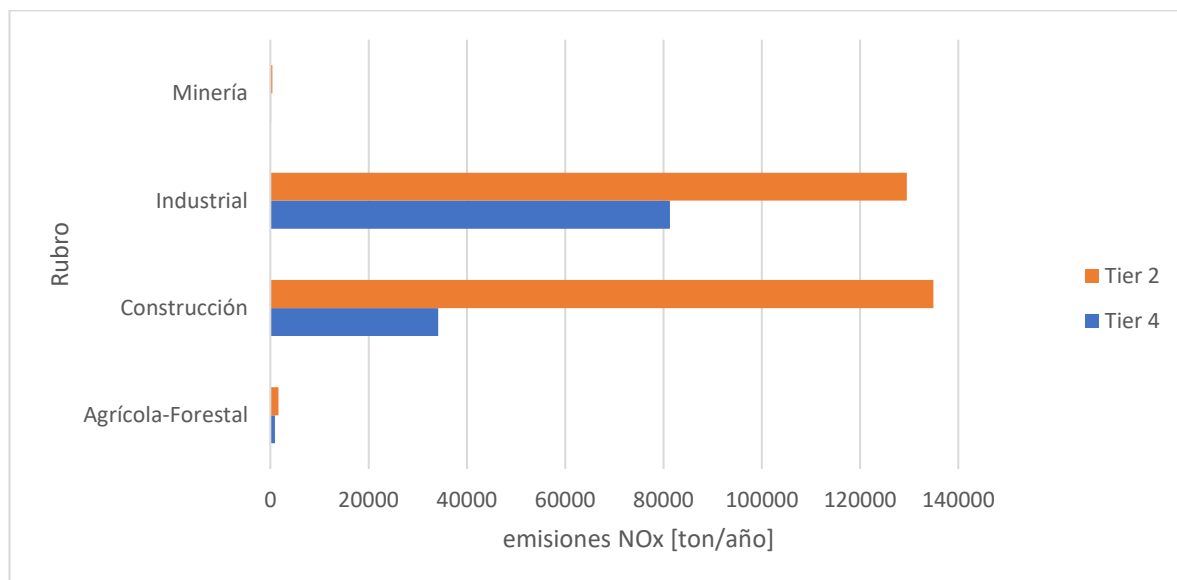


Figura 7 Comparación de emisiones de Tier 4- Tier2 dentro de la RM (Elaboración propia)

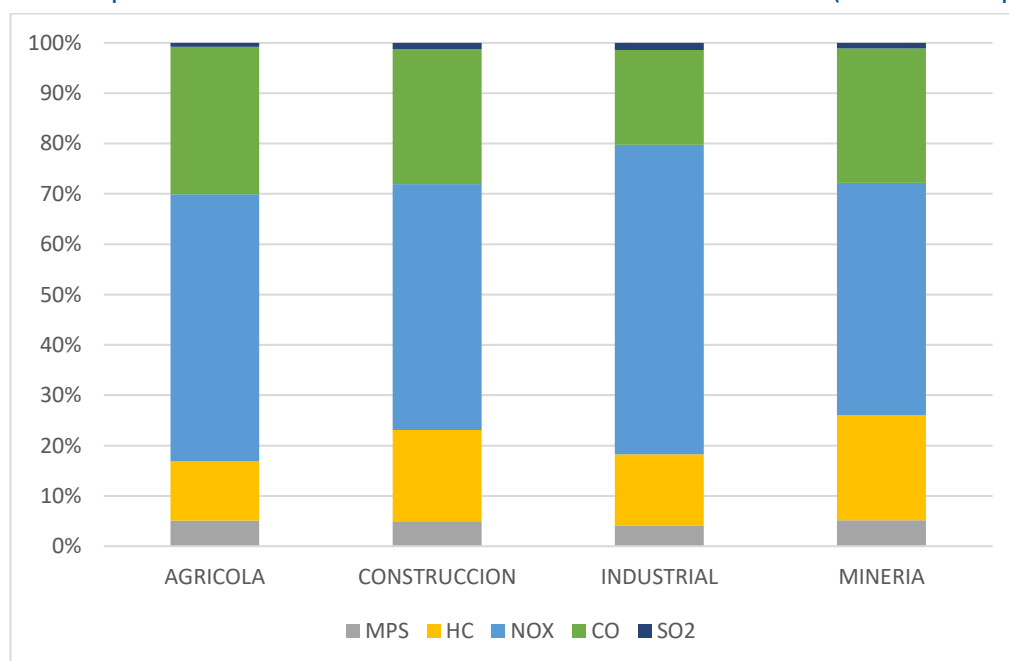


Figura 8 Distribución de las emisiones de MMFR según rubro dentro de la RM, utilizando supuesto de Tier 4 (Elaboración propia).

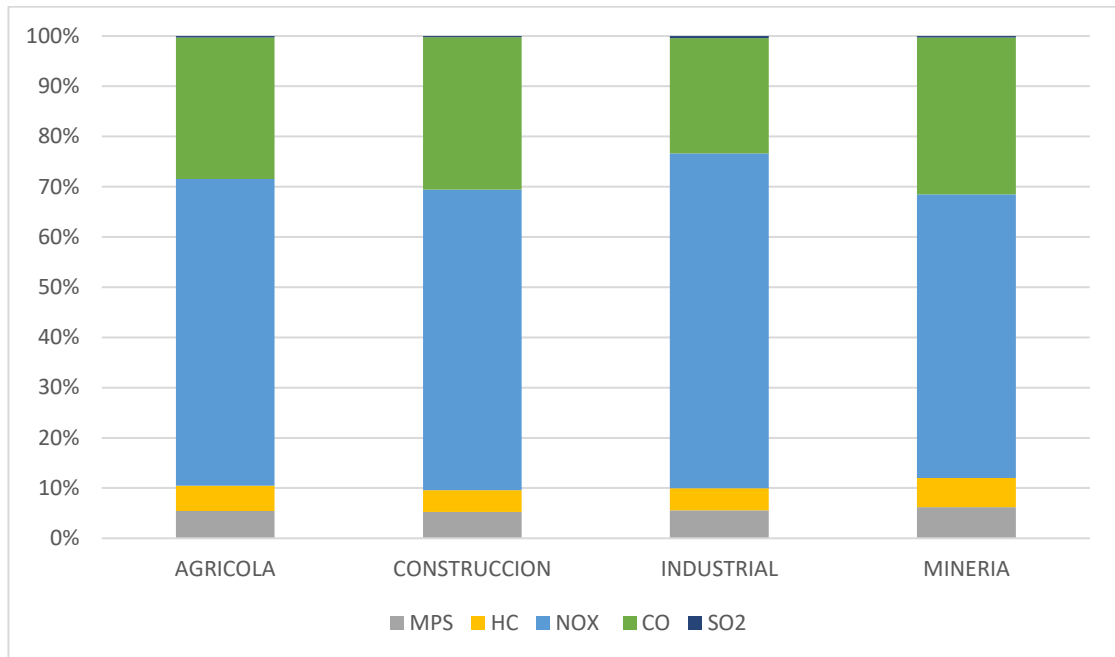


Figura 9 Distribución de las emisiones de MMFR según rubro dentro de la RM, utilizando supuesto de Tier 2 (Elaboración propia).



5.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos del inventario de maquinaria móvil fuera de ruta se concluye que:

- Se determinaron las emisiones que se generaron en el periodo 2010-2021 dentro de la Región Metropolitana, en base a la base de datos de aduana. Utilizando como base de supuestos el inventario nacional de CALAC+ realizado el año 2020, alcanzándose las mayores concentraciones de NO_x, con 116.605 [ton/año] y 266.523 [ton/año] utilizando supuesto Tier 4 y Tier 2 para el nivel de tecnología, respectivamente.
- Se determinó el porcentaje de participación a nivel regional por tipo de rubro, en donde el rubro de la construcción alcanza 70.559 unidades de MMFR, lo que corresponde al 62% del total de la flota de la región. Además, la mayor participación del rango de potencia para toda la base de datos de aduana de MMFR corresponde a potencias mayores a 560 [kW].
- Se logra demostrar la relevancia en la toma de supuestos utilizados para el cálculo del inventario de emisiones, considerando que en Chile ingresa maquinaria sin restricción, la flota no siempre cumple con las normativas del país, o bien no siempre son nuevas (esto también es validado por las encuestas realizadas a las distribuidoras).



6.- BIBLIOGRAFÍA

- CALAC+. (2020). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (Estimación de la población de maquinaria)*. <https://programacalac.com/publicaciones/guia-metodologica-para-la-estimacion-de-emisiones-de-maquinaria-movil-no-de-carretera-calculo-de-emisiones-del-inventario/>
- CALAC. (2021). *Inventario Nacional y Proyecciones de Emisiones de Maquinaria Móvil Fuera de Ruta*.
- EPA. (2010). Median Life , Annual Activity , and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling. *EPA-420-R-10-016. NR-005d. U.S. Environmental Protection Agency*, 1–47.
- MMA. (2019). *Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales - Ministerio del Medio Ambiente*.
- Ole Kenneth, N. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories. *EEA Technical Report, 12/2019*. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- US EPA. (2018). Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression - Ignition Engines in MOVES2014b. *EPA-420-R-18-009. U.S. Environmental Protection Agency*, 177.