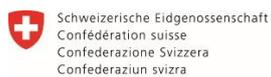


Tipo de documento



Inventario Nacional y Proyecciones de Emisiones de Maquinaria Móvil Fuera de Ruta



Embajada de Suiza en Chile

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



CALAC+ es un programa de COSUDE ejecutado por Swisscontact

Documento de INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA

Este documento ha sido elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 1) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact.

El presente documento es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades.

Lo contenido en este documento debe ser estudiado con cuidado, por las entidades o gobiernos interesados, considerando las condiciones locales propias (ej. riesgos para salud, viabilidad tecnológica, aspectos económicos, factores políticos y sociales, nivel de desarrollo, la capacidad nacional o local, entre otros).

Elaborado por:

Carol Arenas Ibarra - Coordinadora en Chile del Programa CALAC+
Emmanuel Mesías – Profesional Departamento de Planes, MMA

Revisado por:

Nancy Manríquez – Encargada de Regulación de Fuentes Móviles, MMA
Santiago Morales - Coordinador Componente Programa CALAC+
Adrián Montalvo - Director Programa CALAC+

Imagen de Portada:

N/A

Edición: versión julio 2021

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

Índice

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA DE MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA NACIONAL	6
2.1 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE ADUANAS.....	6
a) TIPOLOGÍA DE MAQUINARIA	6
b) POTENCIA.....	13
c) RUBRO	14
d) COMBUSTIBLE	14
e) ORIGEN.....	15
2.2 ANTIGÜEDAD DE LA MAQUINARIA	15
2.3 NIVEL TECNOLÓGICO O NORMATIVO DE LA FLOTA.....	16
2.4 ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA.....	18
a) MAQUINARIA EN EL RUBRO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	19
b) MAQUINARIA EN EL RUBRO AGRÍCOLA-FORESTAL.....	19
c) MAQUINARIA EN EL RUBRO INDUSTRIAL	20
d) MAQUINARIA EN EL RUBRO DE LA MINERÍA	21
3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE LA FLOTA NACIONAL DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA	21
3.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES	22
3.2 RESULTADOS	23
3.3 PROYECCIÓN DE LA MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA	27
4. CONCLUSIONES	30
5. BIBLIOGRAFÍA	31
6. ANEXOS	34
ANEXO 1	34
ANEXO 2	35
ANEXO 3	37
ANEXO 4	38
ANEXO 5	44

RESUMEN

El presente estudio fue desarrollado en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) con el fin de actualizar la información de flota y emisiones provenientes de la maquinaria móvil fuera de ruta (MMFR). Para realizar este inventario se tomaron en cuenta solo las maquinarias con potencias entre 19 y 560 kW que utilizan diésel como combustible.

Caracterización de la flota

- En el año 2018 ingresaron al país 6696 unidades de maquinaria a diésel con rangos de potencia entre 19 y 560 kW, y de estas, un 90% correspondieron a maquinarias nuevas.
- La mayor cantidad de maquinaria se encuentra en el rango de potencia de $56 \leq \text{kW} < 75$.
- El rubro agrícola es el que tiene la mayor cantidad de MMFR con un 39% y luego viene el rubro de la construcción con un 38%.
- La mayoría de la maquinaria proviene de Europa (29%), Estados Unidos (21%) y Brasil (17%).
- Un 48% de la maquinaria tiene norma Stage IIIA y un 27% Stage II.

Caracterización de las emisiones de la flota

Al aplicarse la metodología del retiro de la EPA, el parque total de maquinaria en el país al año 2018 es de 104442. En la tabla siguiente se encuentra el resumen del inventario de emisiones de MMFR con año base 2018, observando que el rubro con mayor cantidad de emisiones corresponde a la construcción.

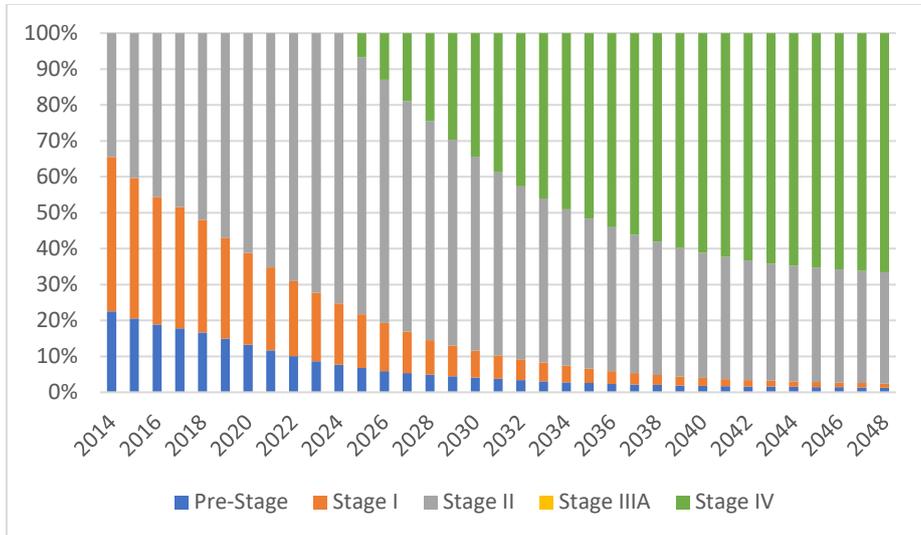
Rubro	PM	PM _{2.5}	NOx	CO	HC	CO ₂	BC	SO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃
Agrícola-Forestal	231	224	2.665	1.730	244	355.680	168	3	16	5	1
Construcción	484	470	5.358	3.625	539	877.680	364	8	40	10	2
Industrial	69	66	1.005	782	91	179.065	53	2	8	2	0
Minería	205	199	2.616	1.531	225	440.955	150	4	21	5	1
TOTAL	989	959	11.643	7.668	1.099	1.853.380	735	17	86	22	5

Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

- Las potencias entre 75 y 130 kW representan el rango con mayor participación en las emisiones, seguido por las potencias entre 56 a 75 kW.
- El rubro de la minería tiene el mayor porcentaje de maquinaria con la norma más alta, Stage IIIA, seguido por el rubro industrial. El rubro agrícola-forestal es el que tiene la mayor cantidad de maquinaria sin norma (Pre-Stage).
- En la Región Metropolitana es donde se encuentra la mayor cantidad del parque de la MMFR, con una alta presencia del rubro de la construcción e industrial, seguido por la Región de la Araucanía con una mayoría de flota del rubro Agrícola-Forestal. Por otro lado, el rubro de la minería tiene el mayor parque en la Región de Antofagasta.
- Las emisiones de MP_{2.5}, NOx, CO₂ y SO₂ se generan mayormente en la Región Metropolitana y en el rubro de la construcción.

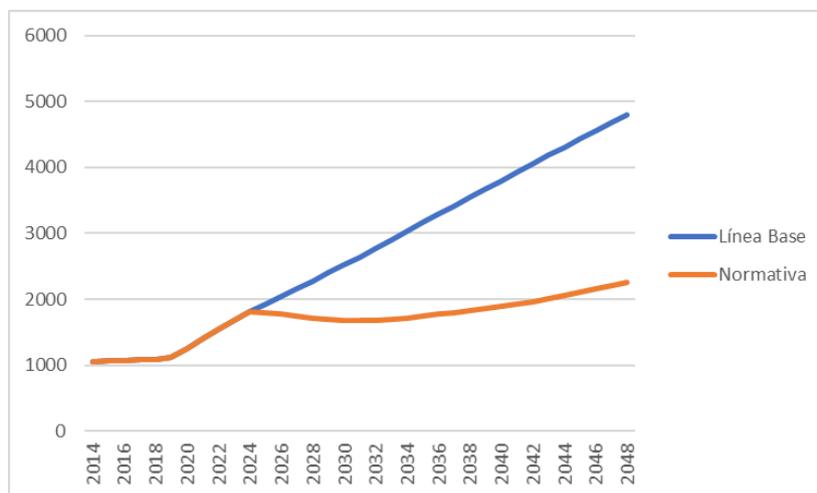
Proyección de la maquinaria

En el siguiente gráfico se observa como cambiaría la distribución del parque bajo el escenario normativo, según estándar de emisión hasta el año 2048, considerando un alto ingreso de maquinaria con normativa Stage IV desde el año 2025.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Por otro lado, en el gráfico siguiente, se muestran las proyecciones de las emisiones de $MP_{2.5}$ con línea base (sin normativa) y bajo el supuesto de que la normativa Stage IV entrara en vigor el año 2025 (con normativa), las cuales demuestran que disminuirían en más de la mitad al año 2048.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio fue realizado en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y solicitado al Programa CALAC+ (Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina), el cual es financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) e implementado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact).

El Programa CALAC+ se ejecuta en 4 ciudades: Bogotá, Ciudad de México, Lima y Santiago, y tiene como objetivos la reducción de hollín en buses del transporte público y la maquinaria fuera de ruta, así como la transferencia del conocimiento entre las ciudades.

El presente informe busca realizar la actualización del inventario de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta con año base 2018 considerando la información del documento: “Elaboración de Diagnóstico e Inventario de Emisión para Maquinaria Fuera de Ruta, Inventario de emisiones de maquinaria del año base 2013” [GEASUR 2013] elaborado para el MMA. En este trabajo se busca igualmente cuantificar las emisiones provenientes de la maquinaria móvil fuera de ruta (MMFR) a nivel nacional para Chile separándolas en los rubros de construcción, minería, industria y agrícola-forestal.

Un inventario de emisiones de MMFR y sus respectivas actualizaciones son necesarias como diagnóstico para cuantificar las emisiones de contaminantes generadas por región, rubro en que se usa la maquinaria y potencia de las unidades, así como también la antigüedad de éstas, el origen y nivel tecnológico. Esta información sirve como soporte y seguimiento a la implementación estratégica de las políticas y regulaciones del MMA que permitan la reducción de emisiones contaminantes para la protección del ambiente, la salud humana, así como la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), que forma parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha establecido que las emisiones de material particulado, generadas por motores diésel están asociadas a enfermedades agudas y crónicas, además de distintos tipos de cáncer, como cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares, por lo que se ha reclasificado como sustancia carcinogénica para los seres humanos (Grupo I).

Este documento se divide en dos secciones principales, contenidas en los Capítulos 2 y 3. El Capítulo 2 consiste en la presentación de la metodología para determinar la flota nacional de la MMFR a partir de la base de datos facilitada por Aduanas. Este trabajo fue realizado en conjunto con profesionales del MMA.

En el capítulo 3, se estiman las emisiones de la flota de la MMFR. Para esta parte, se empleó la herramienta desarrollada por el Programa CALAC+ denominada HEMAQ+: “Herramienta y análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera¹ (Non-Road)”. En esta herramienta se pueden modificar los datos para calcular y actualizar cada vez que el MMA lo requiera, las emisiones de la MMFR, la proyección de la flota y evaluación de normativas en el tiempo.

¹ Para efectos prácticos de este documento entiéndase como equivalentes los términos: *Maquinaria Móvil No de Carretera, Maquinaria Móvil Fuera de Ruta o Maquinaria Fuera de Ruta.*

2. CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA DE MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA NACIONAL

En esta sección se detalla la metodología empleada para la elaboración del inventario de flota nacional de maquinaria móvil fuera de ruta, la cual se basó en la “Guía metodológica para la construcción del inventario de maquinaria móvil no de carretera (Estimación de la población de maquinaria)” elaborado por el Programa CALAC+ [CALAC+ 2020a].

La base de datos para estimar la flota nacional de maquinaria móvil fuera de ruta se obtuvo a través de una solicitud del MMA a Aduanas, la cual considera la importación de maquinarias entre los años 2014 y 2018, de las partidas arancelarias de los capítulos 84 y 87. Esta misma base incluye información con respecto a la fecha de importación, país de origen, empresa importadora, cantidad de maquinarias, además de una glosa descriptiva de la mercadería, la que permite obtener información adicional, tal como tipo de maquinaria (excavadora, cargador frontal, motoniveladora, etc), potencia (en kW, HP o CV), combustible (Diésel, gasolina o gas), año y marca del modelo, entre otros. Toda la información anterior resulta necesaria para la correcta clasificación de la flota y posterior cálculo de emisiones. Por lo que, se consideró adicionalmente la información del documento “Elaboración de Diagnóstico e Inventario de Emisión para Maquinaria Fuera de Ruta”, Inventario de emisiones de maquinaria del año base 2013 [GEASUR 2013], con el fin de tener un período de 18 años de datos en total (2000-2018).

2.1 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE ADUANAS

Con el propósito de utilizar el inventario de la flota de maquinaria móvil fuera de ruta en el cálculo de las emisiones, la información de mayor relevancia es: el tipo de maquinaria, la potencia del motor, el tipo de combustible, el rubro al cual se dedica, la edad y el estándar de emisiones que cumplen. A continuación, se describen los supuestos y criterios que se utilizaron para la caracterización de la flota con esta información, a partir de la información de Aduanas.

a) TIPOLOGÍA DE MAQUINARIA

La caracterización del tipo de maquinaria móvil fuera de ruta se realiza conforme a las definiciones de referencia contenidas en las metodologías de inventario de emisiones de la Unión Europea, denominado “EMEP/EEA Air Pollutant Inventory Guidebook 2013” [EEA 2013], específicamente el punto 2.2 del capítulo 1.A.4., “Non-road mobile sources and machinery”², y en el Appendix B del documento “User’s Guide for the Final NONROAD2005 Model” [EPA 2005-A]³ de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA).

² Información vigente en la última versión publicada del 1.A.4 Non road mobile machinery del EMEP/EEA Air Pollutant Inventory Guidebook 2019

³ El documento de referencia User’s Guide for the Final NONROAD2005 Model no ha sufrido a la fecha modificaciones respecto de los tipos de maquinaria definidos y se entiende contenido hasta la versión [EPA 2018] del modelo de emisiones de la EPA.

A manera de ejemplo se presenta en la Tabla la armonización de términos utilizado en Chile, donde la columna “Homologación Aduana” contiene los nombres encontrados en la descripción de Aduanas y que fueron sustituidos por la tipología convenida. Se presenta también una imagen ilustrativa de referencia, para identificar la maquinaria.

Tabla n°1: Tipologías y definiciones maquinaria móvil fuera de ruta.

Tipología	Definición	Homologación Aduana	Ilustración de referencia
Asfaltadora	Maquinaria autopropulsada usada para pavimentar.	Pavimentadora, Terminadora, Maquina asfaltadora.	
Barredora	Vehículos de barrido autopropulsado.	Barredora	
Bulldozer	Es un tipo de niveladora que empuja y excava la tierra (No es posible cargar materiales sobre camiones tolva). Es utilizada principalmente en construcción y minería.	Topadora frontal, bulldozer	
Camión fuera de carretera	Grandes camiones de volteo, para su uso fuera de carretera.	Camión volquete, Camión volteador, camión tolva y Dumper con potencias superiores a 50 kW	
Cargador de troncos	Equipos de uso forestal, normalmente parecen ser excavadoras o cargadores con pinzas de agarre que suelen cargar troncos enteros, para el transporte.	Cargador de troncos, arrastrador de troncos	

Cargador frontal	Carga frontal con una cuchara de montaje frontal para sacar con pala, aunque puede utilizar otros accesorios en lugar de un cubo.	Cargador, cargador frontal	
Cosechadora	Equipo para la siega destinados a cosechar y enfardar	Cosechadora, maquina cosechadora, trilladora	
Dumper	Pequeños cargadores o camiones, para espacios confinados y de carga ligera. Se utilizan normalmente para proyectos de construcción pequeños.	Dumper con potencias menores a 50 kW.	
Excavadora	Excavadoras de ruedas o de orugas, diseñadas principalmente para excavar con una cuchara o cubo.	Excavadora	
Grúa horquilla	Grúas horquillas utilizadas en almacenes, bodegas, industrias y otros fines generales. Para levantar materiales.	Montacargas, grúa horquilla pertenecientes al rubro industrial	
Grúa horquilla todo terreno	Se pueden confundir con los montacargas típicos, pero poseen ruedas más robustas para trabajo todoterreno. Utilizadas en construcción, minería, forestal y agricultura.	Grúas Horquillas, montacargas pertenecientes al construcción, minería, forestal y agricultura	

Grúa telescópica	Grúas autopropulsadas que usan cables de elevación. No confundir con equipamientos montados en camiones u otros equipos de uso en carretera.	Grúa telescópica, grúas.	
Minicargador	Es un cargador frontal más pequeño que utiliza un cubo como accesorio principal. Puede utilizar otros equipamientos como un perforador.	Minicargador	
Miniexcavadora	Generalmente montada sobre cadenas es una máquina autopropulsada diseñada principalmente para excavar con una cuchara.	Miniexcavadora	
Motoniveladora	Utilizadas para preparar un sitio, sobre todo un camino para la pavimentación.	Motoniveladora	
Manipulador	Maquinaria autopropulsada para la manipulación de objetos en altura.	Manipulador telescópico, manipulador	

Otros equipos agrícolas	Otros tipos diferentes de equipos especiales de cultivo y uso agrícola no especificados anteriormente (Vendimiadora, recolectores, sembradora).	Recolector agrícola, sembradora, sacudidor, maquina vendimiadora	
Otros equipos de construcción	Clasifica a los equipos no categorizado anteriormente utilizados en el rubro de la construcción.	Tiendetubo	
Otros equipos en minas subterráneas	Clasifica a los equipos no categorizado anteriormente utilizados para realizar túneles especialmente diseñado trabajar en espacios confinados (Maquina para hacer túneles)	Maquina tunelera, máquina para hacer túneles	
Perforador	Equipos de perforación autopropulsados utilizados para el movimiento de tierra.	Perforadora, perforador	
Plataforma telescópica	Plataformas telescópicas (articulado, tijeras, y otros), equipo de ascensores para el personal también llamado levanta hombre.	Plataforma de Elevación, Plataforma Tijeras, plataforma telescópica	
Quitanieve	Maquinaria autopropulsada para remover nieve. No confundir con accesorios utilizados en otros vehículos de carretera.	Quitanieve	

Retroexcavadora	Maquinaria multipropósito que posee una pala cargadora y una cuba. Que cumple la función de una excavadora y un cargador frontal.	Retroexcavadora	
Rodillo	Rodillos autopulsados, utilizado para aplanar o compactar el suelo (no debe confundirse con compactadores de placas más pequeñas).	Rodillo compactador, rodillo aplanador	
Tractor	Tractores grandes y pequeños, utilizados para remolcar, arrastrar o empujar. De uso en construcción y minería.	Tractores pertenecientes al rubro construcción y minería.	
Tractor Agrícola	Tractores grandes y pequeños, utilizados para remolcar, arrastrar o empujar. De uso agrícola.	Tractor perteneciente al rubro agrícola.	
Zanjadora	Zanjadoras grandes y pequeñas normalmente utilizando un frente de rotación giratorio, para tirar el material de zanja y distribuirlo a un lado.	Zanjadora	

Fuente: [GEASUR 2014]

A partir de la misma fuente de información ya citada [EEA 2013] [EPA2005-A], se obtiene también una clasificación de las maquinarias fuera de ruta de acuerdo con el rubro donde se utilizan, la que se presenta a continuación:

Tabla n°2: Tipología maquinaria móvil fuera de ruta por rubro

Rubros	MMFR
Agrícola	Cosechadora
	Deshojadora
	Desmalezador

Rubros	MMFR
Construcción	Asfaltadora
	Bulldozer
	Cargador Frontal

	Maquina Vendimiadora		Dumper	
	Plataforma Telescópica		Excavadora	
	Recolector Agrícola		Grúa Horquilla	
	Sacudidor		Grúa Telescópica	
	Sembradora		Manipulador	
	Tractor		Maquina Para Hacer Túneles	
	Trilladora		Minicargador	
	Zanjadora		Miniexcavadora	
Forestal	Arrastrador De Tronco		Motoniveladora	
	Cargador De Troncos		Perforador	
	Grúa Telescópica		Plataforma Telescópica	
	Rodillo		Retroexcavadora	
	Tractor		Rodillo	
Minería	Minicargador		Tiendetubo	
	Bulldozer		Zanjadora	
	Camión Tolva		Industria	
	Cargador Frontal			Grúa Horquilla
	Dumper			Cargador Frontal
	Excavadora			Grúa Telescópica
	Grúa Horquilla			Manipulador
	Maquina Para Hacer Túneles			Plataforma Telescópica
	Motoniveladora			Rodillo
	Perforador			
	Retroexcavadora			
	Rodillo			

Fuente: [GEASUR 2014]

Una vez depurada la base de datos de aduanas, se observa que 15 tipos de maquinaria concentran el 97% del total de la flota como se muestra a continuación:

Tabla n°3: Tipos de maquinaria con mayor porcentaje de participación

TIPOLOGÍA	% PARTICIPACIÓN
Tractor agrícola	31,41
Retroexcavadora	12,13
Excavadora	9,52
Cargador frontal	7,49
Minicargador	7,33
Grúa horquilla	6,32
Plataforma telescópica	4,88
Perforador	3,37
Rodillo	2,99
Cosechadora	2,70
Manipulador	2,04
Otros equipos agrícolas	1,98

Motoniveladora	1,73
Bulldozer	1,47
Grúa telescópica	1,19

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 1 se encuentra la información completa respecto a la participación de todos los tipos de maquinaria.

b) POTENCIA

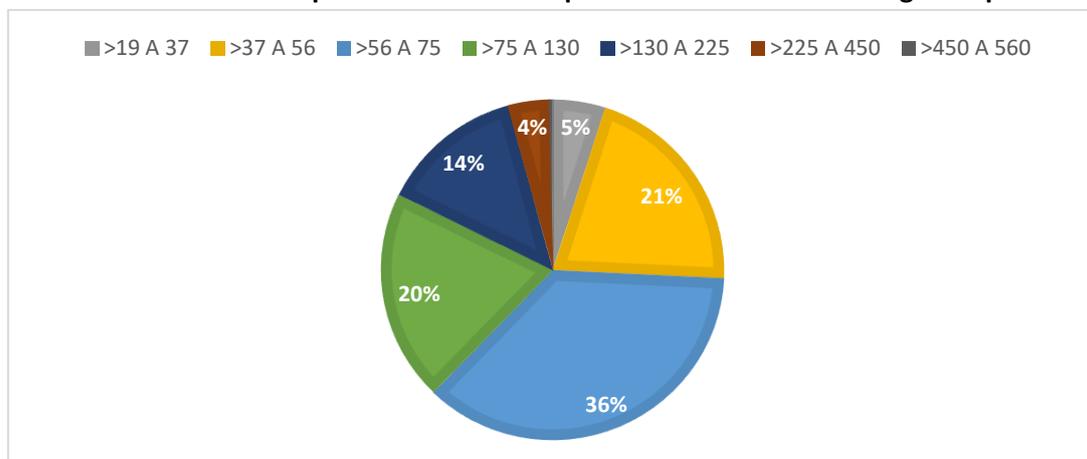
Para el caso de la potencia de referencia del motor, se puede considerar la glosa informativa contenida en las bases de importaciones, la que puede aparecer en unidades de [CV], [HP] o [kW]. También se puede utilizar la información de potencia obtenida por marca/modelo del motor de las maquinarias a través de catálogos disponibles en Internet (Ejemplo: <http://www.ritchiespecs.com>, <http://www.tractordata.com/>, [https://www.lectura-specs.es/es_entre otros](https://www.lectura-specs.es/es_entre_otros)). En general, con esta metodología es posible caracterizar la mayoría de la flota.

La potencia faltante se puede asignar a partir de la información existente. Para ello se debe agrupar la flota de la maquinaria con información de potencia, por rubro y tipo de maquinaria, o al menos por tipo de maquinaria (en ausencia de rubro). Luego obtener la participación y el valor promedio de potencia por rango de potencia. Finalmente, distribuir la flota por tipo y rubro en los rangos de potencia definidos, asignando el valor de potencia promedio correspondiente. Esta extrapolación de los valores de potencia a la flota sin información es aplicable sólo en el caso que no exista otra fuente de información disponible (industria, gremios, encuestas, etc), para completar la información faltante.

En el Anexo 2 se presenta un ejemplo de extrapolación de valores de potencia a la flota sin información.

Realizando el ejercicio mencionado en el Anexo 2 en la base de datos de aduana, se obtiene que la mayor cantidad de maquinaria se encuentra en el rango de potencia de $56 \leq \text{kW} < 75$, como se observa a continuación:

Gráfico n°1: Distribución porcentual de la maquinaria de acuerdo con rangos de potencia.



Fuente: Elaboración propia

c) RUBRO

Para la definición del rubro es necesario tomar en cuenta varios pasos de depuración, dado que esta característica no depende sólo del tipo de maquinaria, sino también del uso que se le da de acuerdo con la actividad que desempeña.

Se consideran 4 rubros, en referencia a los determinados internacionalmente en la documentación de referencia [EEA2013] [EPA2005-A], estos son: Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial y Minería.

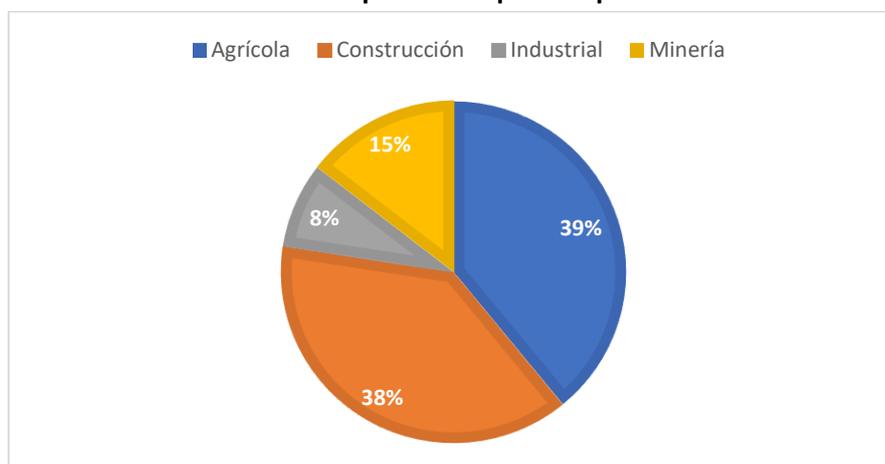
Para la clasificación de la flota según rubros, se pueden utilizar los siguientes criterios:

- Se utiliza la información del rubro para el cual es importada la maquinaria y que en ocasiones es explícitamente indicada en la base de Aduanas.
- La maquinaria importada solo aplica a un rubro específico, por ejemplo, las cosechadoras aplican al rubro agrícola o las pavimentadoras al de la construcción.
- La empresa que importó la maquinaria está asociada u orientada a un rubro específico, por ejemplo, constructoras.

En general la aplicación de estos criterios permite la caracterización de la mayoría de la flota importada.

Al clasificar los tipos de maquinaria por rubro obtenemos que el rubro agrícola es el que tiene la mayor cantidad de maquinarias fuera de ruta con un 39% y luego viene el rubro de la construcción con un 38%, como se muestra a continuación:

Gráfico n°2: Tipos de maquinaria por rubro.



Fuente: Elaboración propia

d) COMBUSTIBLE

Para asignar el tipo de combustible a la maquinaria se revisó el ítem de descripción de la mercancía, en la base de datos de aduana. En el caso de que no estuviera especificada dicha información, se procedió a buscarla en los catálogos según la marca y modelo de la maquinaria.

Para completar la información faltante de tipo de combustible y que no cuentan con información de catálogo, se puede asignar a partir de la información existente. Para ello, igual que en el caso de la Potencia (ver Ejemplo 1 en el Anexo 2), se debe agrupar la flota de la maquinaria con

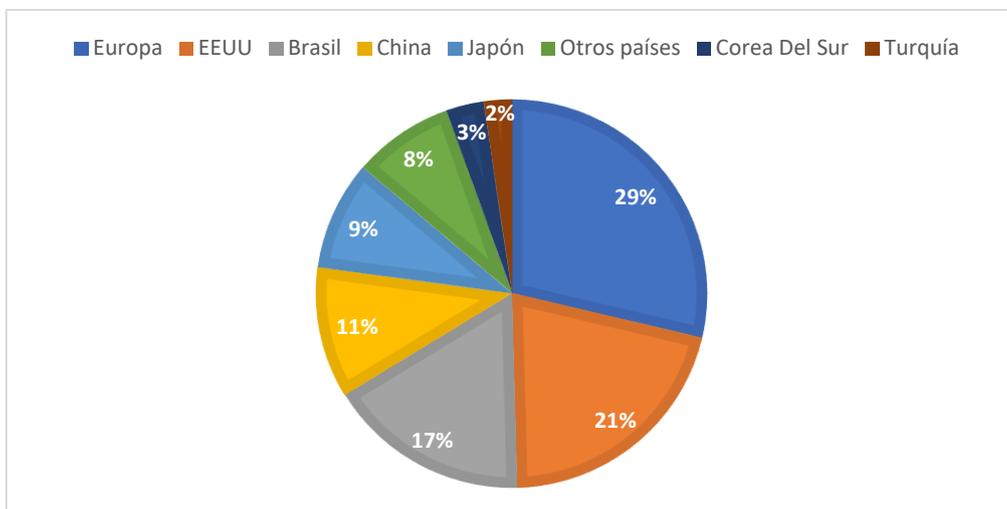
información de tipo de combustible, por rubro y tipo de maquinaria, o al menos por tipo de maquinaria (en ausencia de rubro). Luego, obtener la participación por tipo de combustible en el segmento rubro-tipo de maquinaria. Finalmente, distribuir la flota sin información, agrupada también por rubro y tipo de maquinaria, según la participación por tipo de combustible de la flota con información. Lo anterior asume que la distribución por tipo de combustible de la maquinaria con información es representativa del total de la maquinaria, por lo que se asigna a la información faltante según tipología y rubro.

El objetivo de este inventario se enfocó solo en maquinaria que funciona a combustible diésel, ya que este tipo de maquinaria está afecta a regulación según el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana [PPDA RM 2017] y al proyecto de norma de la maquinaria móvil fuera de ruta [ANTEPROYECTO NORMA MMFR 2016], por lo que la base de datos de aduanas fue depurada para solo considerar la maquinaria a diésel.

e) ORIGEN

Respecto a la caracterización del origen de la maquinaria, esta es información que viene ineludiblemente declarada en la información de Aduanas. Como se observa en el gráfico siguiente, la mayoría de la maquinaria proviene de Europa (29%), Estados Unidos (21%) y Brasil (17%):

Gráfico n°3: Origen de la maquinaria según base de datos de aduanas.



Fuente: Elaboración propia

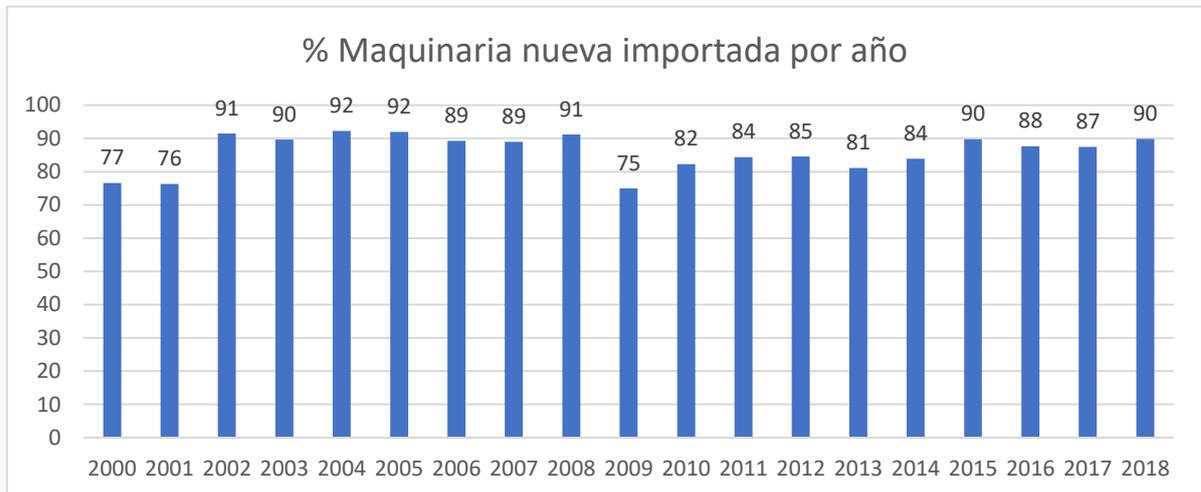
2.2 ANTIGÜEDAD DE LA MAQUINARIA

El año de importación de cada maquinaria viene detallado en la base de datos de aduana. Además, en la descripción de mercancía se indica el año de fabricación de la maquinaria, en el caso de las unidades que fueron compradas usadas. Cuando no se especifica el año de fabricación, se asume el supuesto de que la maquinaria es nueva, por lo que se asigna como año de fabricación el año de su importación al país.

De acuerdo con lo anterior, en el año 2018 ingresaron al país 6696 unidades de maquinaria a diésel con rangos de potencia entre 19 y 560 kW, y de estas un 90% corresponden a maquinarias nuevas.

En el gráfico n°4 podemos observar el porcentaje de maquinaria nueva por cada año:

Gráfico n°4: Porcentaje maquinaria nueva importada por año.



Fuente: Elaboración propia

2.3 NIVEL TECNOLÓGICO O NORMATIVO DE LA FLOTA

Un parámetro fundamental para que la caracterización de la flota permita el cálculo de sus emisiones y una estimación del inventario es el nivel tecnológico, ya que éste determina finalmente su nivel de emisiones durante la operación.

Junto con el desarrollo internacional de los estándares de emisiones para motores diésel de maquinaria móvil fuera de ruta se han desarrollado tecnologías para el control de dichas emisiones, principalmente en lo que se refiere a sistemas de inyección, mejoras en los sistemas de admisión, en la cámara de combustión y finalmente en los sistemas de post tratamiento de emisiones.

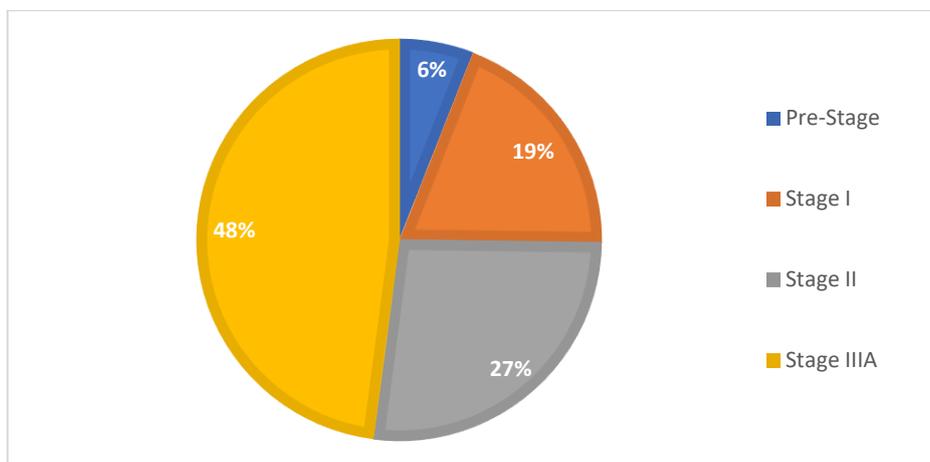
Estados Unidos y la Unión Europa son un buen ejemplo en cuanto a la cobertura de categorías en la regulación de niveles de emisión, dado que abarcan todos los rangos de potencia existentes en el mercado de MMNC, así como los tipos de motor según la ignición de la combustión (chispa y compresión), es por esto que en la siguiente tabla se muestra la equivalencia entre ambas normas:

Tabla n°4: Equivalencia entre estándares de emisión europeo y estadounidense.

ESTÁNDAR ESTADOUNIDENSE	ESTÁNDAR EUROPEO
Tier 1	Stage I
Tier 2	Stage II
Tier 3	Stage IIIA
Tier 4 Interim	Stage IIIB
Tier 4 Final	Stage IV

De acuerdo con la base de datos de aduanas, un 48% de la maquinaria tiene norma Stage IIIA y un 27% Stage II, según el gráfico a continuación:

Gráfico n°6: Distribución de la maquinaria según normativa europea.



Fuente: Elaboración propia.

2.4 ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA

La información de la maquinaria importada proveniente de información de aduanas se encuentra agregada a nivel nacional. Se necesita entonces adoptar criterios para la desagregación geográfica y para estimar la flota correspondiente a la zona de interés. La tabla n°4 presenta el resumen de los criterios utilizados para la distribución geográfica de la flota.

Tabla n°4: Criterios utilizados para la distribución geográfica de la flota

Rubro maquinaria	Criterio
Construcción	m ² construidos
Agrícola y Forestal	Superficie sembrada agrícola y superficie forestada y reforestada
Industrial	Trabajadores del sector manufacturero
Minera	Producción regional de cobre

Fuente: [CALAC+ 2020c]

Para asignar la maquinaria móvil fuera de ruta desde el nivel nacional a nivel regional, se utilizó la metodología de la Guía [CALAC+ 2020a], la cual, a su vez, se basa en la metodología EPA [EPA 2005-C], con los indicadores estadísticos y económicos disponibles en Chile.

a) MAQUINARIA EN EL RUBRO DE LA CONSTRUCCIÓN

El indicador de la actividad de los equipos de la construcción, que plantea la EPA, es el **gasto de la construcción (*dollar value of construction*⁵)**, que es un buen reflejo de la actividad, ya que existe una relación proporcional entre el gasto en construcción y la actividad del rubro construcción en un área determinada, indicando donde se están utilizando los equipos realmente.

Para el desarrollo de este indicador, se examinan los permisos de edificación autorizados de las estadísticas oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Chile, que presenta en su versión extensa las estadísticas autorizadas del sector privado y público, en metros cuadrados, para obras nuevas y ampliaciones por destino [INE 2020a].

Tabla n°5: Porcentaje de distribución regional de la MMFR en el rubro de la construcción.

Región	Edificación total (m ²)	% Maquinaria construcción
Región de Tarapacá	380,278	2%
Región de Antofagasta	545,461	3%
Región de Atacama	235,199	1%
Región de Coquimbo	773,681	4%
Región de Valparaíso	2,154,126	11%
Región de O'Higgins	877,725	5%
Región del Maule	1,343,632	7%
Región del Biobío	1,900,898	10%
Región de la Araucanía	1,293,797	7%
Región de Los Lagos	829,832	4%
Región de Aysén	89,151	0%
Región de Magallanes y de La Antártica Chilena	264,316	1%
Región Metropolitana	7,636,891	40%
Región de Los Ríos	547,407	3%
Región de Arica y Parinacota	268,036	1%
Región de Ñuble	78,824	0%

Fuente: [CALAC+ 2020c]

b) MAQUINARIA EN EL RUBRO AGRÍCOLA-FORESTAL

Para esta categoría, la EPA [EPA2005-C] utiliza la **superficie de tierras de cultivo cosechado** para asignar la población de equipos agrícolas. Afirma la EPA que la cantidad de tierras de cultivo cosechado es un buen predictor de la actividad del equipo agrícola, ya que generalmente existe una relación proporcional entre la cantidad de tierras de cultivo cosechado y la cantidad de actividad para preparar la tierra, plantar, mantener y cosechar los cultivos. Luego, y puesto que el propósito del modelo es estimar los niveles de emisión y dado que las emisiones están más directamente asociadas con los niveles de actividad que con las poblaciones de equipo, la EPA considera que la cantidad de tierras de cultivo cosechado es un factor de asignación adecuada.

⁵ El valor de la construcción incluye el costo de mano de obra y materiales, costos de arquitectura y trabajos de ingeniería, costos de administración, intereses e impuestos pagados durante la construcción, y utilidades (<https://www.investopedia.com/terms/c/constructionspending.asp>)

Para el desarrollo de los indicadores nacionales se utiliza como información disponible el de las superficies sembradas a nivel regional la que se encuentra en las estadísticas reportadas por el INE [INE 2020b] y corroboradas por la ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias).

Por otra parte, para los equipos forestales, a pesar de que en la EPA no se hace referencia a la asignación del rubro forestal, se decidió en la misma línea de la asignación agrícola, hacer la distribución regional a través de la información obtenida por [CONAF 2019].

Tabla n°6: Porcentaje de distribución regional de la MMFR en el rubro agrícola-forestal.

Región	% Maquinaria forestal	%Maquinaria agrícola	%Maquinaria Agrícola- forestal
Región de Tarapacá	0.0%	0.10%	0.10%
Región de Antofagasta	0.0%	0.10%	0.10%
Región de Atacama	0.0%	0.10%	0.10%
Región de Coquimbo	0.1%	0.30%	0.30%
Región de Valparaíso	0.1%	0.51%	0.51%
Región de O'Higgins	1.3%	6.74%	6.63%
Región del Maule	25.6%	15.02%	15.23%
Región del Biobío	34.0%	11.83%	12.27%
Región de la Araucanía	16.8%	36.70%	36.30%
Región de Los Lagos	2.6%	6.56%	6.49%
Región de Aysén	0.0%	0.10%	0.10%
Región de Magallanes y de La Antártica Chilena	0.0%	0.10%	0.10%
Región Metropolitana	0.3%	3.68%	3.61%
Región de Los Ríos	5.8%	3.96%	4.00%
Región de Arica y Parinacota	0.0%	0.10%	0.10%
Región de Ñuble	13.4%	14.09%	14.08%

Fuente: [CALAC+ 2020c]

c) MAQUINARIA EN EL RUBRO INDUSTRIAL

En relación con la maquinaria industrial la EPA utiliza el **número de empleados en el sector manufacturero**. Estos son un buen predictor según la EPA dado que las empresas manufactureras no se trasladan de lugar geográfico como en el caso de las del rubro de la construcción.

Se cuenta con la información de ocupados por rama de actividad económica y por regiones para el año 2019, dichas estadísticas son obtenidas desde el INE [INE 2020c].

La tabla que sigue presenta los ocupados del sector industrial, en miles de personas y el porcentaje de participación en cada región.

Tabla n°7: Porcentaje de distribución regional de la MMFR en el rubro industrial.

Región	Ocupados industria manufacturera (miles)	% Maquinaria industrial
Región de Tarapacá	12	1%
Región de Antofagasta	24	3%
Región de Atacama	12	1%
Región de Coquimbo	27	3%
Región de Valparaíso	62	7%
Región de O'Higgins	44	5%
Región del Maule	47	5%

Región del Biobío	92	10%
Región de la Araucanía	34	4%
Región de Los Lagos	53	6%
Región de Aysén	4	0%
Región de Magallanes y de La Antártica Chilena	8	1%
Región Metropolitana	412	47%
Región de Los Ríos	19	2%
Región de Arica y Parinacota	8	1%
Región de Ñuble	23	3%

Fuente: [CALAC+ 2020c]

d) MAQUINARIA EN EL RUBRO DE LA MINERÍA

Para asignar la población de equipos de minería y actividad del sector, la EPA utiliza como indicador las **toneladas de producción de carbón**. No obstante, se debe pensar en cuál es el recurso minero predominante que se explota en cada país.

Para el caso de Chile el mejor indicador es la producción metálica de minerales de cobre, la que es medida en Toneladas Métricas de contenido Fino (tmf). Para el presente estudio se utilizarán las tmf de cobre reportadas en [SERNAGEOMIN 2013].

Tabla n°8: Distribución regional de la MMFR en el rubro minero.

Región	Producción cobre tmf	% Maquinaria minera
Región de Tarapacá	538,275	9.73%
Región de Antofagasta	2,903,154	52.49%
Región de Atacama	412,607	7.46%
Región de Coquimbo	574,693	10.39%
Región de Valparaíso	332,094	6.00%
Región de O'Higgins	443,877	8.03%
Región del Maule	-	0.00%
Región del Biobío	-	0.00%
Región de la Araucanía	-	0.00%
Región de Los Lagos	-	0.00%
Región de Aysén	-	0.00%
Región de Magallanes y de La Antártica Chilena	-	0.00%
Región Metropolitana	325,537	5.89%
Región de Los Ríos	-	0.00%
Región de Arica y Parinacota	772	0.01%
Región de Ñuble	-	0.00%

Fuente: [CALAC+ 2020c]

3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE LA FLOTA NACIONAL DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA

Esta parte del documento presenta la metodología utilizada para la generación del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a las fuentes de maquinaria móvil fuera de ruta en Chile con año base 2018, así como los resultados obtenidos para la flota objeto de evaluación.

Los contaminantes atmosféricos que fueron contemplados en este inventario son los siguientes:

- Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})
- Monóxido de Carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Carbono Negro (BC o Black Carbon)
- Metano (CH₄)
- Óxido Nitroso (N₂O)
- Amoníaco (NH₃)

Respecto de la maquinaria considerada en este inventario, el alcance abarca aquellas MMFR con motores diésel de potencias nominales entre 19 y 560 (kW), entre los años 2000 y 2018, para lo cual se utilizó la metodología descrita en [CALAC+ 2020b].

3.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Las emisiones contaminantes son calculadas de acuerdo con la “Guía metodológica para la estimación de emisiones de maquinaria móvil no de carretera (Cálculo de Emisiones del Inventario)” [CALAC+ 2020b], la cual a su vez se basa en las siguientes metodologías a manera de referencia: MOVES⁶ de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA), definida en sus respectivos reportes técnicos; Agencia Ambiental Europea (EEA), definida en el documento “EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016” [EEA 2016] y el “Non-road energy consumption and pollutant emissions” de la Oficina de Medioambiente de Suiza (FOEN) [FOEN 2015].

Existen varias características que influyen en la emisión de contaminantes, como son la tipología, la potencia, la configuración del motor, los sistemas de control de emisiones, el deterioro, el combustible con el que funciona, entre otros. El inventario de flota de maquinaria elaborado a partir de la metodología descrita en [CALAC+ 2020a] tiene información fundamental para la estimación de las emisiones contaminantes, sin embargo, carece de otra igual de esencial: cantidad de horas al día que trabaja la máquina (nivel de actividad), la carga que maneja (factor de carga), el nivel de deterioro del motor (factor de deterioro), así como el factor de ajuste transitorio y el ajuste de azufre en el combustible; esta información y la metodología para estimar las emisiones se basó en [CALAC+ 2020b], por lo cual no se mostrará en detalle en este informe. Sin embargo, en la tabla n°9, se presenta un resumen de las fuentes de información para la elaboración del cálculo de emisiones.

⁶ MOVES es el modelo de emisiones para la componente en ruta y No de Carretera de la EPA. La parte No de Carretera corresponde a la adopción del modelo NONROAD anterior.

Tabla n°9: Fuentes de información utilizadas para la estimación de parámetros necesarios para el cálculo de las emisiones contaminantes.

PARÁMETRO	FUENTE DE INFORMACIÓN PRIMARIA
Nivel de Actividad	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling</i> [EPA 2010]
Factor de Carga	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling</i> [EPA 2010]
Factor de Deterioro	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> [EPA 2018]
Factor de Ajuste Transitorio	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> [EPA 2018]
Factores de Emisión	Los factores de emisión EPA fueron obtenidos del documento <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> [EPA 2018]. Los factores de emisión EEA fueron obtenidos del documento <i>EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. Chapter Non-Road Mobile Sources and Machinery</i> [EEA 2019]. Todos estos factores de emisión se encuentran en el Anexo 4.
Ajuste por Azufre en el Combustible	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> [EPA 2018].
Proyección de la Flota de Maquinaria	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Nonroad Engine Growth Estimates</i> [EPA 2002].
Retiro de Maquinaria	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrappage, EPA420-R-05-018 December 2005 NR-007c</i> [EPA 2005-B].
Factor de emisión BC	Los valores fueron obtenidos del documento <i>Non-road mobile sources and machinery, Guidebook 2016</i> [EEA 2016]

Fuente: Elaboración propia.

3.2 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del inventario de emisiones a nivel nacional y regional obtenidos para la maquinaria móvil fuera de ruta a diésel con potencia entre 19 y 560 kW, en relación con la información del parque en funcionamiento en Chile al año base 2018.

Al aplicarse la metodología del retiro de la EPA, mencionada en la tabla n°9, el parque total de maquinaria en el país al año 2018 es de 104442.

El inventario de emisiones se presenta en la tabla n°10 donde se observa que el rubro con mayor cantidad de emisiones corresponde a la construcción.

Tabla n°10: Inventario de emisiones de MMFR, año base 2018.

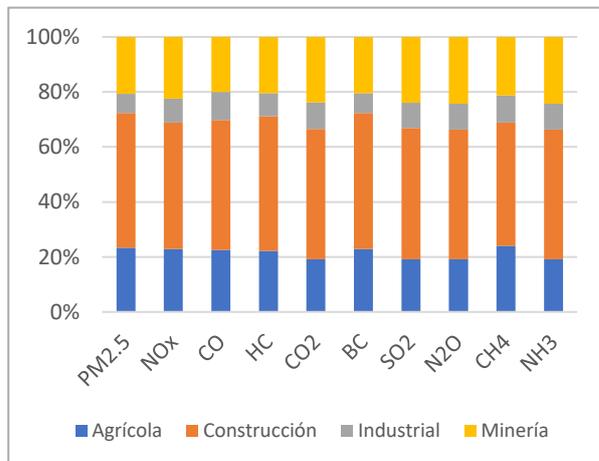
Rubro	PM	PM _{2.5}	NOx	CO	HC	CO ₂	BC	SO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃
Agrícola- Forestal	231	224	2.665	1.730	244	355.680	168	3	16	5	1
Construcción	484	470	5.358	3.625	539	877.680	364	8	40	10	2
Industrial	69	66	1.005	782	91	179.065	53	2	8	2	0
Minería	205	199	2.616	1.531	225	440.955	150	4	21	5	1
TOTAL	989	959	11.643	7.668	1.099	1.853.380	735	17	86	22	5

Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

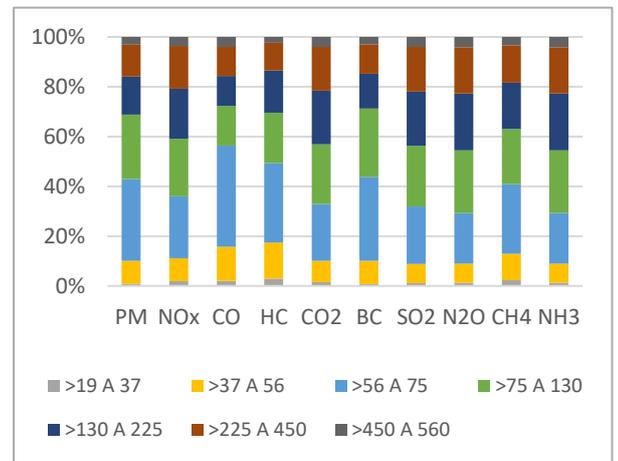
El Gráfico n°7 a) presenta la distribución de emisiones según rubro, del cual se observa que el rubro de la construcción es el que genera mayor cantidad de emisiones. El Gráfico n°7 b) presenta la distribución de las emisiones de acuerdo con la potencia de la flota, del que se observa que las potencias entre 75 y 130 kW representan el rango con mayor participación en las emisiones, seguido por las potencias entre 56 a 75 kW.

Gráfico n°7: Distribución de las emisiones en Chile, año base 2018.

a) Distribución de emisiones según rubro



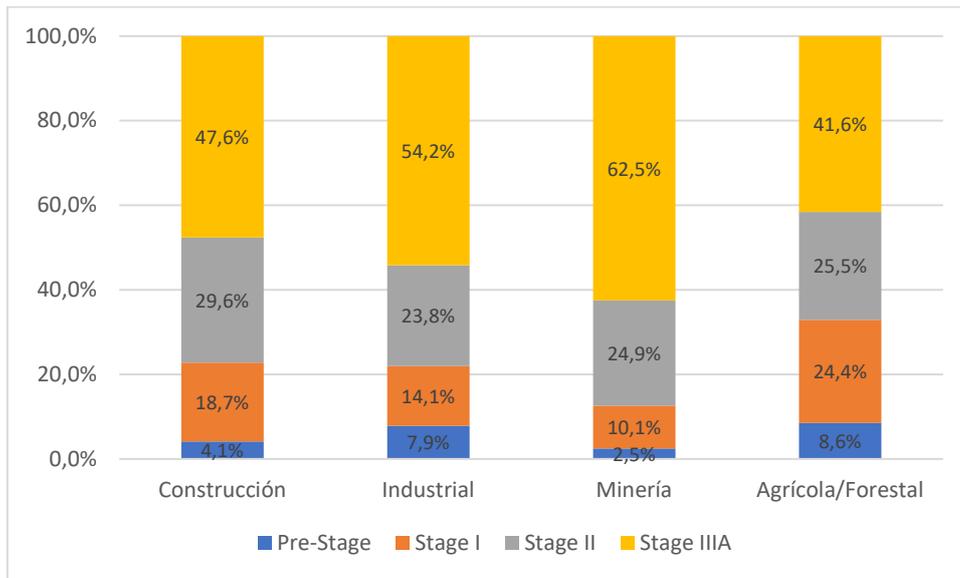
b) Distribución de emisiones según potencia



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+]. La categoría Agrícola incluye también al rubro Forestal.

En el gráfico n°8 se observa que el rubro de la minería tiene el mayor porcentaje de maquinaria con la norma más alta, Stage IIIA, seguido por el rubro industrial. El rubro agrícola-forestal es el que tiene la mayor cantidad de maquinaria sin norma (Pre-Stage).

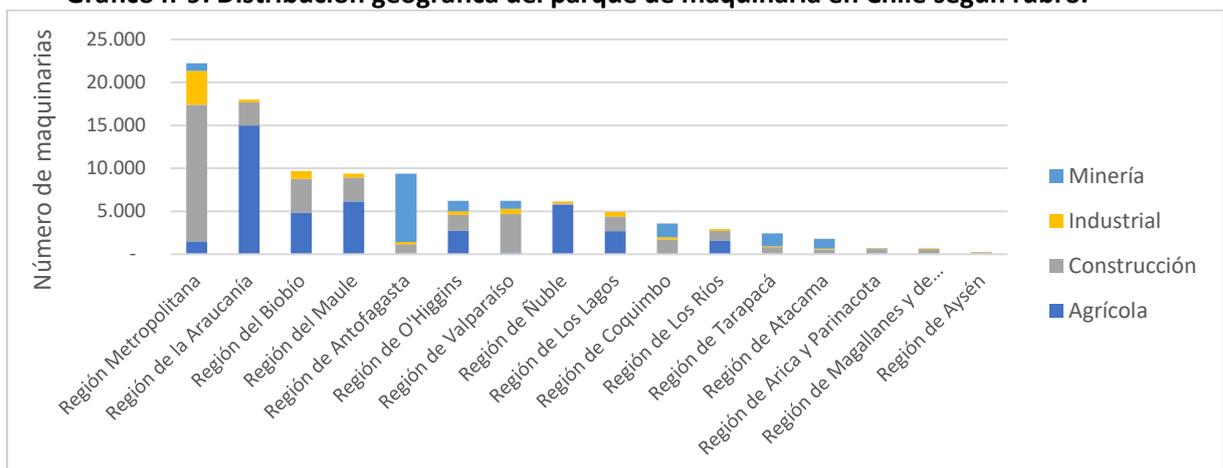
Gráfico n°8: Distribución del parque según estándar de emisión y rubro.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

El Gráfico n°9 presenta la distribución geográfica de la maquinaria en Chile, de acuerdo con el rubro de la maquinaria y a los criterios descritos en la sección 3.4. Aquí se observa que en la Región Metropolitana es donde se encuentra la mayor cantidad del parque de la MMFR, con una alta presencia del rubro de la construcción e industrial, seguido por la Región de la Araucanía con una mayoría de flota del rubro Agrícola-Forestal. Por otro lado, el rubro de la minería tiene el mayor parque en la Región de Antofagasta. En el Anexo 3 se encuentra una tabla con el detalle del parque por región y por rubro.

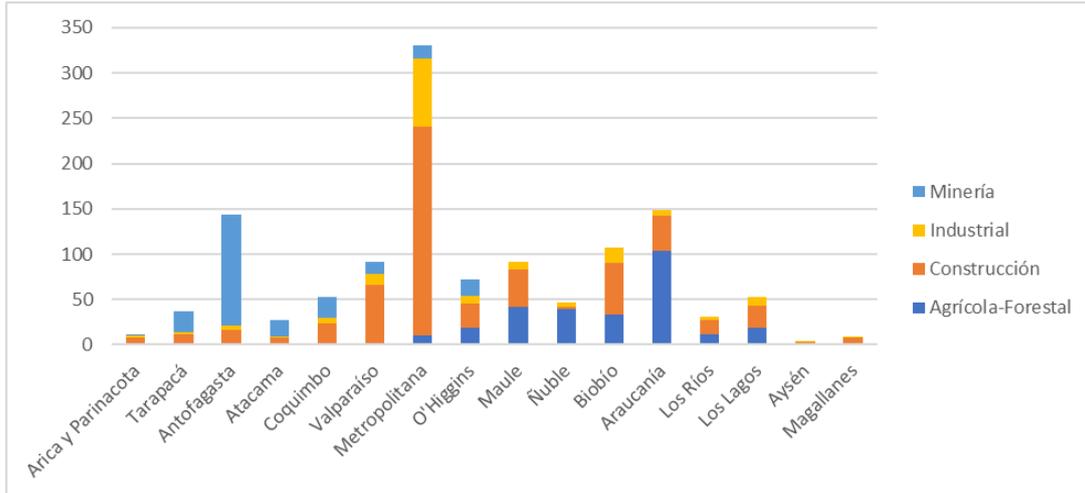
Gráfico n°9: Distribución geográfica del parque de maquinaria en Chile según rubro.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+]. La categoría Agrícola incluye también al rubro Forestal.

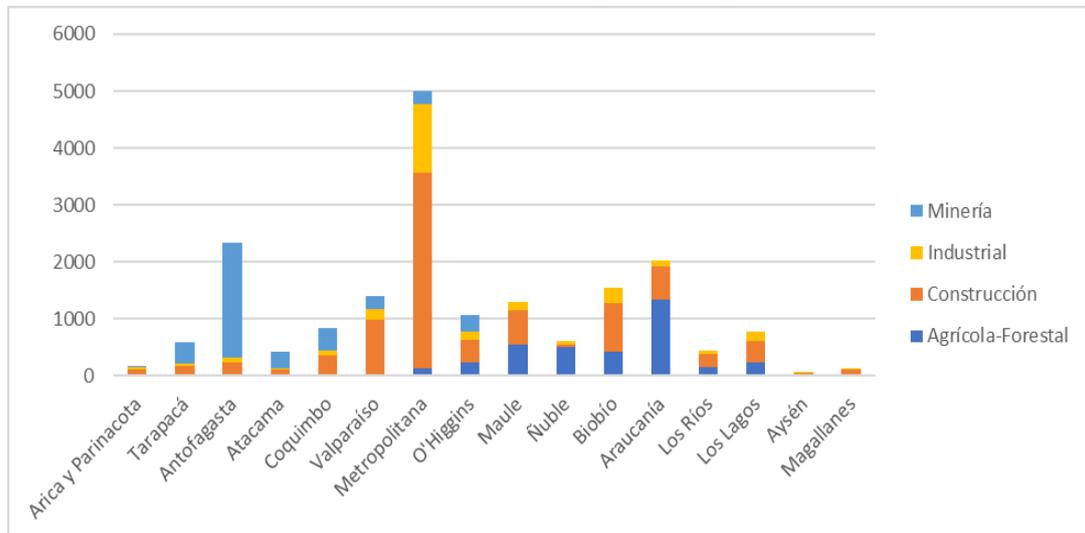
Las emisiones de contaminantes por región se presentan en los gráficos del n°10 al 13. Las emisiones de MP_{2,5}, NO_x, CO₂ y SO₂ se generan mayormente en la Región Metropolitana y en el rubro de la construcción. Las tablas con la información completa de estos gráficos están en el Anexo 6.

Gráfico n°10: Emisiones MP_{2.5} en las regiones del país, año base 2018.



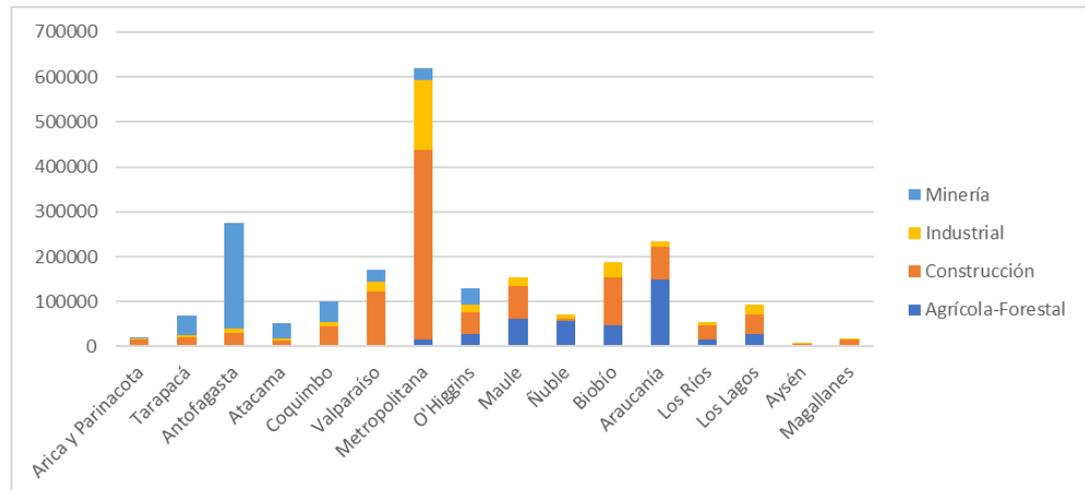
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Gráfico n°11: Emisiones NOx en las regiones del país, año base 2018



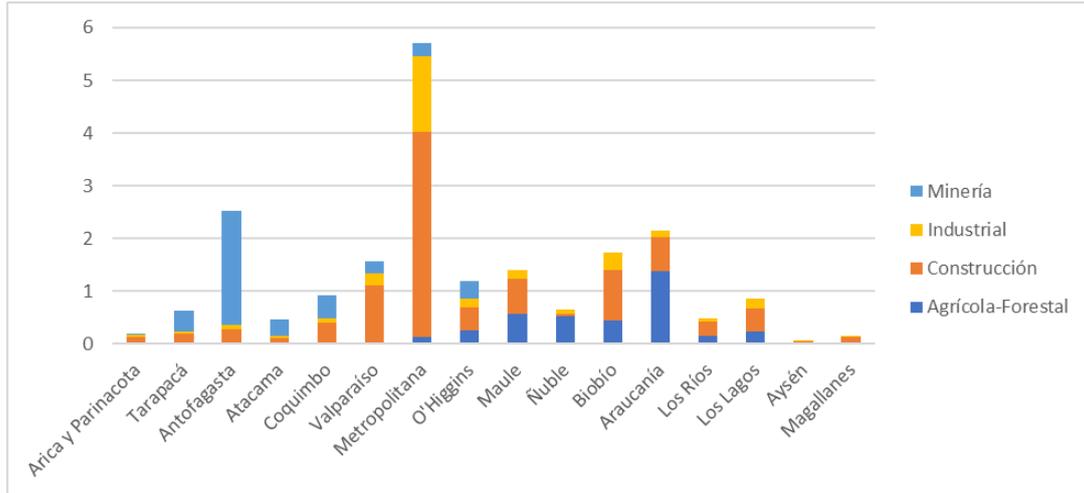
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Gráfico n°12: Emisiones CO₂, en las regiones del país, año base 2018



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Gráfico n°13: Emisiones SO₂, en las regiones del país, año base 2018

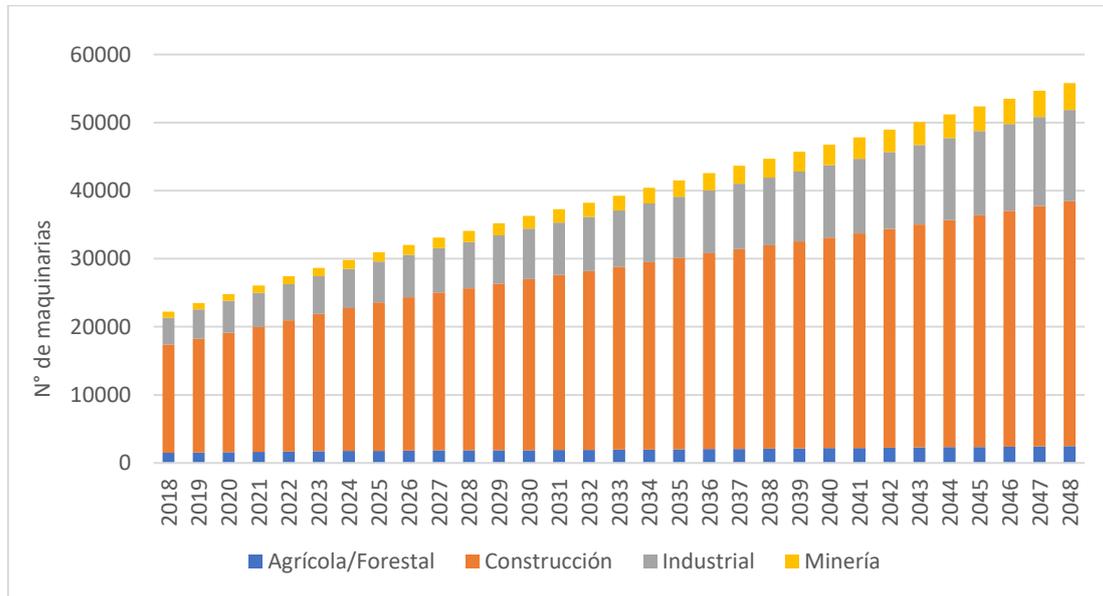


Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

3.3 PROYECCIÓN DE LA MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA

Utilizando la herramienta [HEMAQ+] se puede proyectar la flota de la maquinaria (ver gráfico n°14), así como estimar las emisiones de distintos contaminantes de acuerdo con la implementación de futuras normativas.

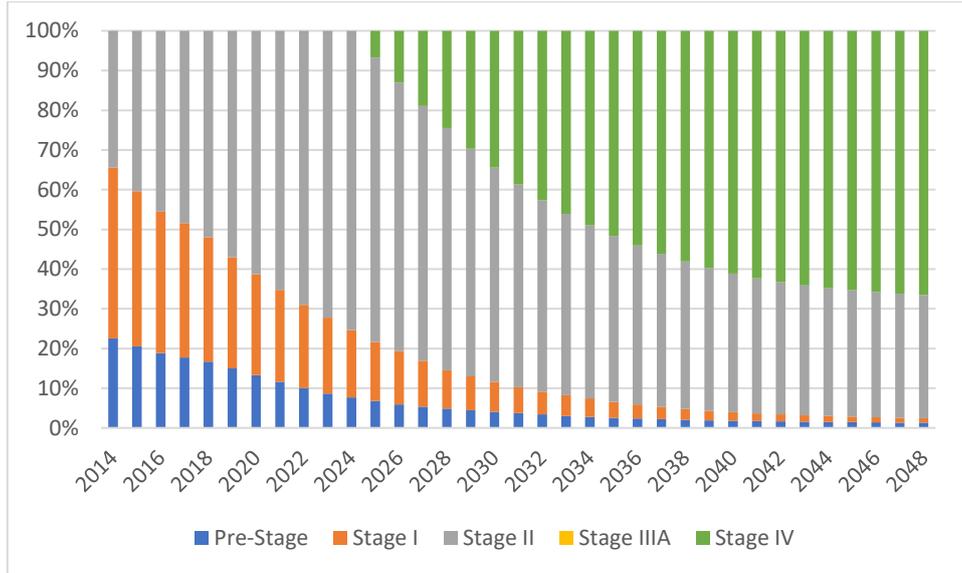
Gráfico n°14: Proyección de la flota de MMFR.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del parque de maquinaria, suponiendo que la normativa Stage IV entrara en vigor el año 2025.

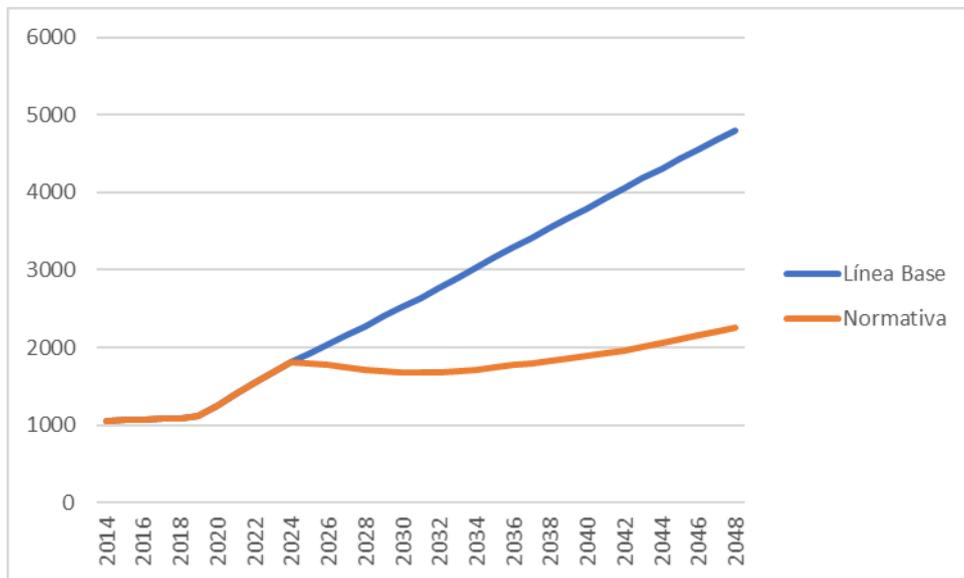
Gráfico n°15: Distribución del parque en escenario normativo, según estándar de emisión.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

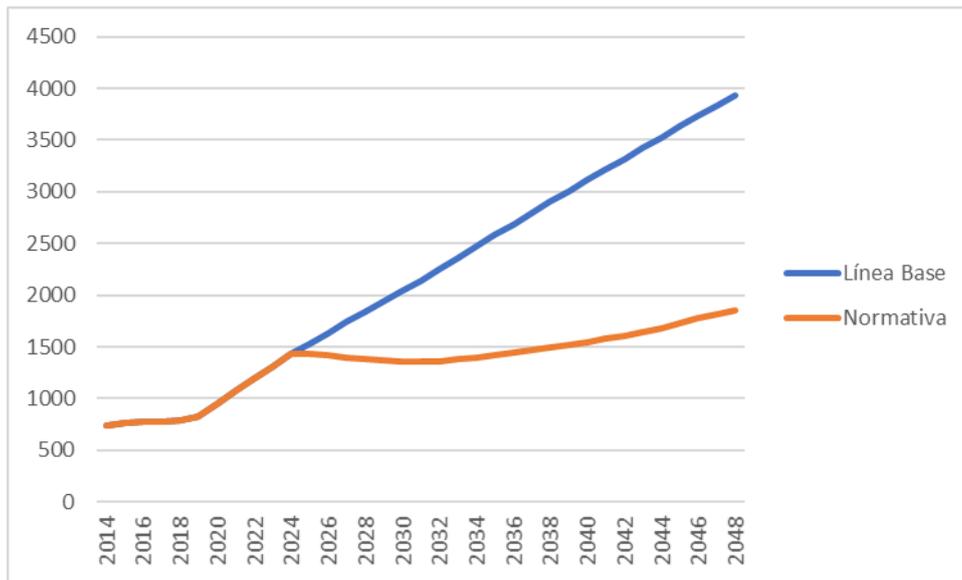
En los gráficos n°16 al 18, se muestran las emisiones de MP2.5, BC y CO2 de línea base (sin normativa) y bajo el supuesto de que la normativa Stage IV entrara en vigor el año 2025 (con normativa).

Gráfico n°16: Proyección de las emisiones de MP_{2.5} con y sin normativa.



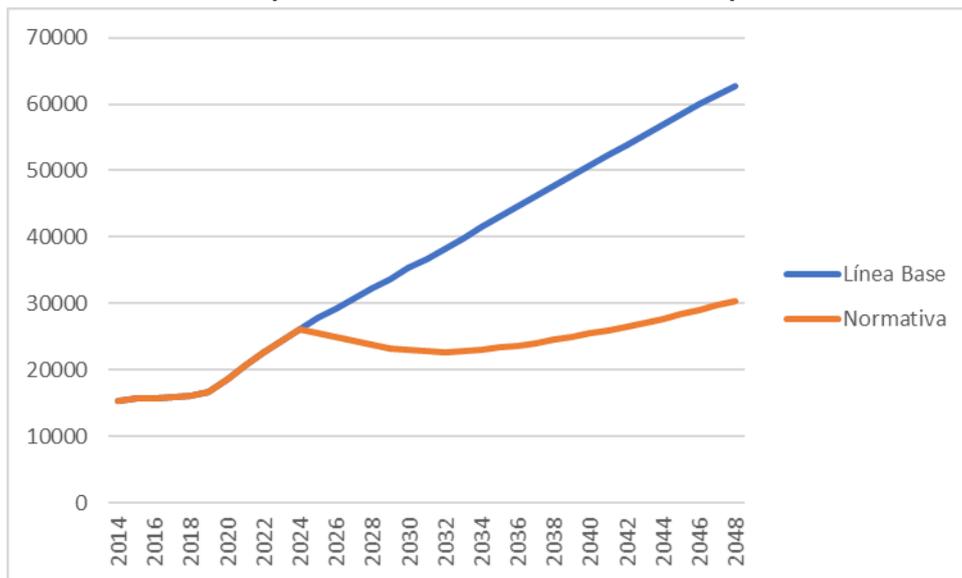
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Gráfico n°17: Proyección de las emisiones de BC con y sin normativa.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Gráfico n°18: Proyección de las emisiones de NOX con y sin normativa.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Como se observa en los gráficos n°16 al 18, la implementación de la normativa Stage IV a partir del año 2025 para la maquinaria nueva que ingrese al país, muestra que se podría lograr una disminución muy significativa de aproximadamente la mitad de la proyectada en el escenario de línea base al 2048.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto en este estudio, se concluye que las mayores emisiones de MMFR se encuentran en la Región Metropolitana, lo que concuerda con que tiene la mayor cantidad de flota de maquinaria.

El rubro que genera la mayor cantidad de emisiones es el de la construcción, a pesar de que el rubro agrícola-forestal tiene una mayor flota, lo que se puede deber a que las emisiones dependen de muchos factores como los niveles de actividad, los factores de carga y del nivel tecnológico de los distintos tipos de maquinarias.

Un 48% de la maquinaria tiene una norma Stage IIIA, concordando con que, entre el 75% y 92% de la maquinaria que ha sido importado al país cada año es nueva, considerando todos los años de análisis, desde el 2000 al 2018.

La mayor cantidad de emisiones del rubro de la construcción e industrial se emiten en la Región Metropolitana, la mayor cantidad de emisiones del rubro minero se generan en la Región de Antofagasta, y la mayor cantidad de emisiones del rubro agrícola-forestal se emiten en la Región de la Araucanía, lo cual coincide con las actividades principales que realizan cada región históricamente.

Se aprecia en los gráficos n°16 en adelante, que de implementar la normativa Stage IV en el año 2025, las emisiones de todos los contaminantes comenzarían a disminuir, respecto a la línea base (sin normativa), lo que demuestra la importancia de contar con una normativa nacional para que la maquinaria que entre al país tenga altos estándares para disminuir sus emisiones y se renueve el parque.

Por otro lado, se sugiere realizar un programa de incentivo al recambio de maquinaria, lo cual se puede llevar a cabo a partir de diferentes aproximaciones, como: la chatarrización o de retiro de maquinaria antigua, incentivos competitivos en licitaciones para promover maquinaria de mejor tecnología, entre otros. De manera que permanezca en circulación la maquinaria que cuente con un estándar adecuado de emisiones, tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente.

Comparación respecto al inventario de MMFR del año 2013 [GEASUR 2014]:

- En ambos inventarios se evidencia la misma tendencia en cuanto a la predominancia de emisiones del sector construcción y luego del sector agrícola-forestal.
- Además, se observa que las distribuciones regionales de la MFR son las mismas, siendo preponderante la Región de Antofagasta en el sector minero, la Región de la Araucanía en el sector Agrícola-Forestal y la Región Metropolitana en el sector construcción e industrial.
- La reducción de emisiones respecto a la línea base es coincidente también en ambos inventarios.
- La proyección de flota en el tiempo como se realizó en el inventario de MMFR en 2013 y los presentes resultados correspondió a la proyección de tendencias de la flota existente. Sin embargo, para futuras versiones de inventarios es aconsejable optimizar la proyección de crecimiento de flota con base en la proyección de los indicadores económicos que se asocian a su uso, es decir, la proyección de los indicadores que se usaron en el capítulo 2.4 del presente documento para asignación geográfica de la flota.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [ANTEPROYECTO O NORMA MMFR 2020] “Resolución Exenta n°1134/2016 del MMA, Aprueba Anteproyecto de Norma de Emisión para Maquinaria Móvil Fuera de Ruta”.
<https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/RES. N 1 134 Aprueba anteproyecto norma de emision maquinaria fuera de ruta..pdf>
- [CALAC+ 2020a] “Guía metodológica para la construcción del inventario de maquinaria móvil no de carretera (Estimación de la población de maquinaria)”.
https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/04/Gu%C3%ADa-inventario-maquinaria_final.pdf
- [CALAC+ 2020b] “Guía metodológica para la estimación de emisiones de maquinaria móvil no de carretera (Cálculo de Emisiones del Inventario)”.
<https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/Gu%C3%ADa-inventario-emisiones-vfinal.pdf>
- [CALAC+ 2020c] Consultoría: “Análisis del Impacto Económico y Ambiental de las Medidas en las que el Programa CALAC+ Contribuye para Reducir Emisiones de Hollín y Otros Contaminantes”
- [CONAF 2019] CONAF. n.d. “Estadísticas Forestales.” Acceso el 1 de Junio, 2020. “Plantaciones Forestales Efectuadas Durante El Año 2018.”
<https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>.
- [EEA 2013] “Non-road mobile sources and machinery”, Guidebook 2013.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-non-road-mobile-sources/view>
- [EEA 2016] “Non-road mobile sources and machinery”, Guidebook 2016.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-non-road-1>
- [EEA 2019] “EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. Chapter Non-Road Mobile Sources and Machinery.”
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- [EPA 2002] “Nonroad Engine Growth Estimates”, EPA 420-P-02-018 May 2002 NR-008b.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10005FN.PDF?Dockey=P10005FN.PDF>

- [EPA 2005-A] *"User's Guide for the Final NONROAD2005 Model"*, EPA420-R-05-013 December 2005.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1004L24.PDF>
- [EPA 2005-B] *"Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrappage"*, EPA420-R-05-018 December 2005 NR-007c".
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1004L8U.pdf>
- [EPA 2005-C] *"Geographic Allocation of Nonroad Engine Population Data to the State and County Level"*, EPA420-R-05-021 December 2005 NR-014d.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1004LDX.pdf>
- [EPA 2010] *"Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling"*, EPA-420-R-10-016 NR-005d July 2010.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P10081RV.pdf>
- [EPA 2018] *"Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b"*, EPA420-R-18-009, Julio 2018.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100UXEN.TXT>
- [FOEN 2015] *"Non-road energy consumption and pollutant emissions"*, Bern 2015.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/publications-studies/publications/non-road-energy-consumption-and-pollutant-emissions.html>
- [GEASUR 2013] "Elaboración de Diagnóstico e Inventario de Emisión para Maquinaria Fuera de Ruta", estudio realizado por Geasur el año 2013.
- [GEASUR 2014] "Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país", estudio realizado por Geasur el año 2014.
- [HEMAQ+] "Herramienta y Análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera (Non-Road)", 2021.
- [INE 2020a] "Permisos de Edificación, Cuadros Estadísticos, Anuarios." 2020.
<https://www.ine.cl/estadisticas/economia/edificacion-y-construccion/permisos-de-edificacion>.
- [INE 2020b] "Siembra y Cosecha." 2020.
<https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/cosecha>.

- [INE 2020c] “Ocupación y Desocupación.” 2020.
<https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/mercado-laboral/ocupacion-y-desocupacion>.
- [PPDA RM 2017] “D.S. 31/2017 del MMA, Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana, PPDA RM”.
<https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/987-1020.pdf>
- [SERNAGEOMIN 2013] “Estadísticas de Producción Minera.” Acceso el 1 de Junio, 2020.
<http://sitiohistorico.sernageomin.cl/sminera-estadisticasprod.php>.

6. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla n°11: Tipos de maquinaria con mayor porcentaje de participación.

TIPOLOGÍA	% PARTICIPACIÓN
TRACTOR AGRÍCOLA	31,41
RETROEXCAVADORA	12,13
EXCAVADORA	9,52
CARGADOR FRONTAL	7,49
MINICARGADOR	7,33
GRÚA HORQUILLA	6,32
PLATAFORMA TELESCÓPICA	4,88
PERFORADOR	3,37
RODILLO	2,99
COSECHADORA	2,70
MANIPULADOR	2,04
OTROS EQUIPOS AGRÍCOLAS	1,98
MOTONIVELADORA	1,73
BULLDOZER	1,47
GRÚA TELESCÓPICA	1,19
CAMIÓN FUERA DE CARRETERA	0,95
MINIEXCAVADORA	0,64
OTROS EQUIPOS EN MINAS SUBTERRÁNEAS	0,50
CARGADOR DE TRONCOS	0,46
ASFALTADORA	0,28
BARREDORA	0,20
OTROS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN	0,14
TRACTOR	0,11
DUMPER	0,08
QUITANIEVE	0,06
GRÚA HORQUILLA TODO TERRENO	0,03
ZANJADORA	0,02

Fuente: Elaboración propia en base a datos de aduana.

ANEXO 2

Este ejemplo se encuentra en [CALAC+ 2020a]:

EJEMPLO 1

A continuación, se presenta un ejemplo de extrapolación de valores de potencia a la flota sin información:

Paso 1: Estimación de la participación por rango de potencia en la flota con información, clasificada por tipo de maquinaria y rubro. Para este caso Minicargadores en el rubro construcción.

**Tabla n°12: Participación por rangos de potencia
Minicargadores del rubro construcción**

Rangos de Potencia	Participación flota	Potencia Promedio (kW)
19 - 37	11.77%	33
37 - 56	64.12%	45
56 - 75	24.11%	60
Total general	100.00%	

Paso 2: Asignar aleatoriamente la flota sin información a los rangos de potencia, respetando los porcentajes de participación de la flota con información. Una forma, entre muchas posibles, para asignar aleatoriamente los rangos de potencia, es generar un orden aleatorio sin repetición, para la flota sin información. Luego se ordena la lista conforme dicho índice aleatorio y se asigna ordenadamente cada rango de potencia hasta completar la participación asignada.

Orden aleatorio sin repetición asignado.



Rango de potencia y potencia promedio asignados según participación en flota con información.



ORDEN ALEATORIO	FECHA	AÑO	ORIGEN	Q MERCANCIA	TIPO MAQUINARIA	RUBRO	RANGO POTENCIA (kW)	POTENCIA PROMEDIO (kW)
1	05-jun-08	2008	U.S.A.	1	Minicargador	Construcción	19 - 37	33
2	17-sept-08	2008	JAPON	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
3	17-oct-08	2008	U.S.A.	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45

4	26-sept-02	2002	CHINA	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
5	12-jun-08	2008	CHINA	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
6	18-may-12	2012	REPUBLICA CHECA	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
7	08-sept-10	2010	U.S.A.	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
8	02-sept-11	2011	U.S.A.	1	Minicargador	Construcción	37 - 56	45
9	12-oct-07	2007	JAPON	1	Minicargador	Construcción	56 - 75	60
10	04-may-12	2012	U.S.A.	1	Minicargador	Construcción	56 - 75	60

Fuente: [GEASUR 2014]

ANEXO 3

Tabla n°13: Distribución geográfica del parque de maquinaria en Chile según rubro.

Región	Agrícola/Forestal	Construcción	Industria	Minería
Región de Arica y Parinacota	41,2513242	558,31385	77,8620175	2,11480635
Región de Tarapacá	41,2513242	792,111785	118,793763	1473,90776
Región de Antofagasta	41,2513242	1136,18481	229,891617	7949,42836
Región de Atacama	41,2513242	489,915009	112,713339	1129,8022
Región de Coquimbo	123,116431	1611,56269	256,047273	1573,62585
Región de Valparaíso	210,105485	4487,00317	592,005334	909,340259
Región Metropolitana	1500,77371	15907,4976	3944,61395	891,385855
Región de O'Higgins	2752,33935	1828,28435	423,965822	1215,42493
Región del Maule	6133,15337	2798,7597	448,122373	0
Región de Ñuble	5753,32006	164,188881	216,461391	0
Región del Biobío	4828,45923	3959,5341	879,258424	0
Región de la Araucanía	14984,6439	2694,95435	326,513122	0
Región de Los Ríos	1618,2231	1140,23829	180,884274	0
Región de Los Lagos	2680,43879	1728,52415	511,516254	0
Región de Aysén	41,2513242	185,699824	39,8912261	0
Región de Magallanes y de La Antártica Chilena	41,2513242	550,565161	73,2488077	0

Fuente: Elaboración propia de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

ANEXO 4

Tabla n°14: Factores de emisión hora-zero, maquinaria fuera de ruta, EPA.

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EPA	[g/kW-hr]	Factor de Emisión [g/kW-hr] EPA			
		FE BSFC	FE HC	FE CO	FE NOx	FE PM
>0 a 8	Tier 0	251.62	2.04	6.80	13.60	1.36
>0 a 8	Tier 1	251.62	1.04	5.59	7.11	0.61
>0 a 8	Tier 2	251.62	0.75	5.59	5.85	0.68
>0 a 8	Tier 4F	251.62	0.87	2.95	5.57	0.27
>8 A 19	Tier 0	251.62	2.31	6.80	11.56	1.22
>8 A 19	Tier 1	251.62	0.60	2.94	6.04	0.36
>8 A 19	Tier 2	251.62	0.60	2.94	6.04	0.36
>8 A 19	Tier 4F	251.62	0.58	2.34	5.29	0.23
>19 A 37	Tier 0	251.62	2.45	6.80	9.38	1.09
>19 A 37	Tier 1	251.62	0.38	2.08	6.43	0.46
>19 A 37	Tier 2	251.62	0.38	2.08	6.43	0.46
>19 A 37	Tier 4I	251.62	0.57	1.87	5.31	0.22
>19 A 37	Tier 4F	251.62	0.10	0.31	3.36	0.02
>37 A 56	Tier 0	251.62	1.35	4.75	9.38	0.98
>37 A 56	Tier 1	251.62	0.71	3.22	7.61	0.64
>37 A 56	Tier 2	251.62	0.50	3.22	6.39	0.33
>37 A 56	Tier 4I	251.62	0.24	1.33	4.12	0.20
>37 A 56	Tier 4F	251.62	0.06	0.22	3.40	0.02
>56 A 75	Tier 0	251.62	1.35	4.75	9.38	0.98
>56 A 75	Tier 1	251.62	0.71	3.22	7.61	0.64
>56 A 75	Tier 2	251.62	0.50	3.22	6.39	0.33
>56 A 75	Tier 3	251.62	0.25	3.22	4.08	0.27
>56 A 75	Tier 4I	251.62	0.06	0.28	3.04	0.08
>56 A 75	Tier 4F	251.62	0.03	0.49	1.89	0.07
>75 A 130	Tier 0	226.33	0.92	3.67	11.39	0.55
>75 A 130	Tier 1	226.33	0.46	1.18	7.68	0.38

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EPA	[g/kW-hr]	Factor de Emisión [g/kW-hr] EPA			
		FE BSFC	FE HC	FE CO	FE NOx	FE PM
>75 A 130	Tier 2	226.33	0.46	1.18	5.57	0.24
>75 A 130	Tier 3	226.33	0.25	1.18	3.40	0.30
>75 A 130	Tier 4I	226.33	0.02	0.19	2.08	0.02
>75 A 130	Tier 4F	226.33	0.01	0.04	0.94	0.01
>130 A 225	Tier 0	226.33	0.92	3.67	11.39	0.55
>130 A 225	Tier 1	226.33	0.42	1.02	7.58	0.34
>130 A 225	Tier 2	226.33	0.42	1.02	5.44	0.18
>130 A 225	Tier 3	226.33	0.25	1.02	3.40	0.20
>130 A 225	Tier 4I	226.33	0.05	0.66	1.63	0.04
>130 A 225	Tier 4F	226.33	0.01	0.11	0.63	0.00
>225 A 450	Tier 0	226.33	0.92	3.67	11.39	0.55
>225 A 450	Tier 1	226.33	0.28	1.78	8.18	0.27
>225 A 450	Tier 2	226.33	0.23	1.15	5.89	0.18
>225 A 450	Tier 3	226.33	0.23	1.15	3.40	0.20
>225 A 450	Tier 4I	226.33	0.06	0.66	1.63	0.04
>225 A 450	Tier 4F	226.33	0.01	0.11	0.63	0.00
>450 a 560	Tier 0	226.33	0.92	3.67	11.39	0.55
>450 a 560	Tier 1	226.33	0.20	1.80	7.92	0.30
>450 a 560	Tier 2	226.33	0.23	1.80	5.57	0.18
>450 a 560	Tier 3	226.33	0.23	1.80	3.40	0.20
>450 a 560	Tier 4I	226.33	0.06	0.66	1.63	0.04
>450 a 560	Tier 4F	226.33	0.01	0.11	0.63	0.00
>560	Tier 0	226.33	0.92	3.67	11.39	0.55
>560	Tier 1	226.33	0.39	1.04	8.37	0.26
>560	Tier 2	226.33	0.23	1.04	5.57	0.18
>560	Tier 4I	226.33	0.11	0.35	3.01	0.04
>560	Tier 4F	226.33	0.03	0.07	2.92	0.02

Fuente: Elaboración propia en base a [EPA 2018], Table A4. Zero-Hour, Steady-State Emission Factors for Nonroad CI Engines

Tabla n°15: Factores de emisión maquinaria fuera de ruta, EEA

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EEA	Factor de Emisión [g/kW-hr] EEA									
		BSF C	HC	CO	NOx	PM	CH4	N2O	NH3	BC	BC/PM
>0 a 8	Pre Stage I	285	3.8	6.0 0	11.5 0	2.30	0.0 9	0.04	0.00	1.27	0.55
>0 a 8	Stage I	270	2.5	5.0 0	11.2 0	1.60	0.0 6	0.04	0.00	0.88	0.80
>0 a 8	Stage V	270	0.6 8	4.8 0	6.08	0.40	0.0 2	0.04	0.00	0.32	0.80
>8 A 19	Pre Stage I	285	3.8	6.0 0	11.5 0	2.30	0.0 9	0.04	0.00	1.27	0.55
>8 A 19	Stage I	270	2.5	5.0 0	11.2 0	1.60	0.0 6	0.04	0.00	0.88	0.80
>8 A 19	Stage V	270	0.6 8	3.9 6	6.08	0.40	0.0 2	0.04	0.00	0.32	0.80
>19 A 37	Pre Stage I	281	2.2	5.5 0	18.0 0	1.40	0.0 5	0.04	0.00	0.77	0.55
>19 A 37	Stage I	262	1.8	4.5 0	9.80	1.40	0.0 4	0.04	0.00	0.77	0.80
>19 A 37	Stage II	262	0.6	2.2 0	6.50	0.40	0.0 1	0.04	0.00	0.32	0.80
>19 A 37	Stage IIIA	262	0.6	2.2 0	6.08	0.40	0.0 1	0.04	0.00	0.32	0.80
>19 A 37	Stage V	262	0.4 2	2.2	3.81	0.01 5	0.0 1	0.03 5	0.00 2	0.00 2	0.13
>37 A 56	Pre Stage I	260	1.5	4.5 0	11.5 0	0.80	0.0 4	0.04	0.00	0.44	0.55
>37 A 56	Stage I	260	0.6	2.2 0	7.70	0.40	0.0 1	0.04	0.00	0.32	0.80
>37 A 56	Stage II	260	0.4	2.2 0	5.50	0.20	0.0 1	0.04	0.00	0.16	0.80
>37 A 56	Stage IIIA	260	0.4	2.2 0	3.81	0.20	0.0 1	0.04	0.00	0.16	0.80
>37 A 56	Stage IIIB	260	0.2 8	2.2 0	3.81	0.03	0.0 1	0.04	0.00	0.02	0.80

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EEA	Factor de Emisión [g/kW-hr] EEA									
		BSF C	HC	CO	NOx	PM	CH4	N2O	NH3	BC	BC/PM
>37 A 56	Stage V	260	0.28	2.20	3.81	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.13
>56 A 75	Pre Stage I	260	1.5	4.50	11.50	0.80	0.04	0.04	0.00	0.44	0.55
>56 A 75	Stage I	260	0.6	2.20	7.70	0.40	0.01	0.04	0.00	0.32	0.80
>56 A 75	Stage II	260	0.4	2.20	5.50	0.20	0.01	0.04	0.00	0.16	0.80
>56 A 75	Stage IIIA	260	0.4	2.20	3.81	0.20	0.01	0.04	0.00	0.16	0.80
>56 A 75	Stage IIIB	260	0.28	2.20	2.97	0.03	0.01	0.04	0.00	0.02	0.80
>56 A 75	Stage IV	260	0.28	2.20	0.40	0.03	0.01	0.04	0.00	0.02	0.80
>56 A 75	Stage V	260	0.13	2.20	0.40	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.13
>75 A 130	Pre Stage I	255	1.2	3.50	13.30	0.40	0.03	0.04	0.00	0.22	0.55
>75 A 130	Stage I	255	0.4	1.50	8.10	0.20	0.01	0.04	0.00	0.16	0.80
>75 A 130	Stage II	255	0.3	1.50	5.20	0.20	0.01	0.04	0.00	0.16	0.80
>75 A 130	Stage IIIA	255	0.3	1.50	3.24	0.20	0.01	0.04	0.00	0.16	0.80
>75 A 130	Stage IIIB	255	0.13	1.50	2.97	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.80
>75 A 130	Stage IV	255	0.13	1.50	0.40	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.80
>75 A 130	Stage V	255	0.13	1.50	0.40	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.13
>130 A 225	Pre Stage I	250	0.5	2.50	11.20	0.40	0.01	0.04	0.00	0.20	0.50
>130 A 225	Stage I	250	0.3	1.50	7.60	0.20	0.01	0.04	0.00	0.14	0.70

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EEA	Factor de Emisión [g/kW-hr] EEA									
		BSF C	HC	CO	NOx	PM	CH4	N2O	NH3	BC	BC/PM
>130 A 225	Stage II	250	0.3	1.5 0	5.20	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>130 A 225	Stage IIIA	250	0.3	1.5 0	3.24	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>130 A 225	Stage IIIB	250	0.1 3	1.5 0	1.80	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72
>130 A 225	Stage IV	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72
>130 A 225	Stage V	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.02	0.0 0	0.04	0.00	0.00	0.13
>225 A 450	Pre Stage I	250	0.5	2.5 0	11.2 0	0.40	0.0 1	0.04	0.00	0.20	0.50
>225 A 450	Stage I	250	0.3	1.5 0	7.60	0.20	0.0 1	0.04	0.00	0.14	0.70
>225 A 450	Stage II	250	0.3	1.5 0	5.20	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>225 A 450	Stage IIIA	250	0.3	1.5 0	3.24	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>225 A 450	Stage IIIB	250	0.1 3	1.5 0	1.80	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72
>225 A 450	Stage IV	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72
>225 A 450	Stage V	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.02	0.0 0	0.04	0.00	0.00	0.13
>450 a 560	Pre Stage I	250	0.5	2.5 0	11.2 0	0.40	0.0 1	0.04	0.00	0.20	0.50
>450 a 560	Stage I	250	0.3	1.5 0	7.60	0.20	0.0 1	0.04	0.00	0.14	0.70
>450 a 560	Stage II	250	0.3	1.5 0	5.20	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>450 a 560	Stage IIIA	250	0.3	1.5 0	3.24	0.10	0.0 1	0.04	0.00	0.07	0.70
>450 a 560	Stage IIIB	250	0.1 3	1.5 0	1.80	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72

Potencia Motor [kW]	Estándar Emisión EEA	Factor de Emisión [g/kW-hr] EEA									
		BSF C	HC	CO	NOx	PM	CH4	N2O	NH3	BC	BC/PM
>450 a 560	Stage IV	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.03	0.0 0	0.04	0.00	0.02	0.72
>450 a 560	Stage V	250	0.1 3	1.5 0	0.40	0.02	0.0 0	0.04	0.00	0.00	0.13
>560	Stage V	250	0.1 3	1.5 0	3.50	0.05	0.0 0	0.04	0.00	0.00	0.04

Fuente: [EEA 2019], Table 3-6 Baseline emission factors and fuel consumption (FC) for diesel NRMM [g/kWh]

ANEXO 5

Tabla n°16: Emisiones MP_{2.5} en las regiones del país, año base 2018.

Región	Agrícola-Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	0,284647019	8,079867474	1,494913328	0,032488053
Tarapacá	0,284647019	11,46337001	2,280783172	22,6424482
Antofagasta	0,284647019	16,44276363	4,413808609	122,1206137
Atacama	0,284647019	7,090005633	2,164041951	17,35623396
Coquimbo	0,849541819	23,32238933	4,915984639	24,17433631
Valparaíso	1,449793462	64,93550345	11,36621799	13,96945611
Metropolitana	10,35580724	230,211864	75,7346928	13,69363717
O'Higgins	18,99200107	26,45876553	8,139940091	18,67158647
Maule	42,3206736	40,50339691	8,603734272	0
Ñuble	39,69970511	2,376126616	4,155954717	0
Biobío	33,31787658	57,30201884	16,88133932	0
Araucanía	103,3987222	39,00113529	6,268895074	0
Los Ríos	11,16624472	16,50142523	3,472891154	0
Los Lagos	18,49586473	25,01504494	9,820866326	0
Aysén	0,284647019	2,687431036	0,765892377	0
Magallanes	0,284647019	7,967729153	1,406341917	0
Total general	281,7541127	579,3588371	161,8862977	232,6608

Fuente: Elaboración propia de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Tabla n°17: Emisiones NOx en las regiones del país, año base 2018.

Región	Agrícola-Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	3,706018976	120,4976254	23,72246042	0,534501718
Tarapacá	3,706018976	170,9568714	36,19326118	372,519323
Antofagasta	3,706018976	245,2161472	70,04178639	2009,159431
Atacama	3,706018976	105,7355019	34,34071966	285,5491805
Coquimbo	11,06078016	347,8141865	78,0107106	397,7223362
Valparaíso	18,87587685	968,4037508	180,3680865	229,8290488
Metropolitana	134,8295101	3433,222518	1201,81767	225,2912054
O'Higgins	247,2701682	394,5879592	129,1709713	307,1896948
Maule	551,0025008	604,0399998	136,5308221	0
Ñuble	516,8782757	35,43592959	65,94995804	0
Biobío	433,7887787	854,5631746	267,8863693	0
Araucanía	1346,220409	581,6362959	99,47975742	0
Los Ríos	145,3811634	246,0909863	55,1105682	0
Los Lagos	240,8106217	373,0572963	155,8452308	0
Aysén	3,706018976	40,07851109	12,15378259	0
Magallanes	3,706018976	118,825271	22,3169396	0
Total general	3668,354198	8640,162025	2568,939094	3827,794722

Fuente: Elaboración propia de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Tabla n°18: Emisiones CO₂, en las regiones del país, año base 2018

Región	Agrícola	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	412,0677917	14823,53519	3087,528946	62,82707549
Tarapacá	412,0677917	21030,99701	4710,63033	43787,13638
Antofagasta	412,0677917	30166,32216	9116,088261	236163,1534
Atacama	412,0677917	13007,50889	4469,51809	33564,38214
Coquimbo	1229,83484	42787,86256	10153,26078	46749,58077
Valparaíso	2098,786039	119132,3649	23475,29211	27014,8561
Metropolitana	14991,53103	422352,6783	156419,1394	26481,46318
O'Higgins	27493,67255	48541,93998	16811,8781	36108,07878
Maule	61265,30523	74308,58628	17769,77843	0
Ñuble	57471,07369	4359,303742	8583,528052	0
Biobío	48232,45247	105127,7753	34865,98375	0
Araucanía	149684,6278	71552,49801	12947,50313	0
Los Ríos	16164,75667	30273,94427	7172,758287	0
Los Lagos	26775,44334	45893,2526	20283,59002	0
Aysén	412,0677917	4930,430933	1581,840792	0
Magallanes	412,0677917	14617,80331	2904,597407	0
Total general	407879,8904	1062906,803	334352,9159	449931,4779

Fuente: Elaboración propia de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].

Tabla n°19: Emisiones SO₂, en las regiones del país, año base 2018

Región	Agrícola-Forestal	Construcción	Industrial	Minería
Arica y Parinacota	0,003787929	0,136265221	0,028382422	0,00057754
Tarapacá	0,003787929	0,19332726	0,043302945	0,402515015
Antofagasta	0,003787929	0,277303659	0,083800563	2,170939299
Atacama	0,003787929	0,119571414	0,041086497	0,308541934
Coquimbo	0,011305244	0,393327061	0,093334876	0,429747404
Valparaíso	0,01929307	1,095123247	0,215798996	0,248335153
Metropolitana	0,137809499	3,882473389	1,43789875	0,243431917
O'Higgins	0,25273531	0,446221369	0,154544889	0,331924968
Maule	0,563180706	0,683081045	0,163350484	0
Ñuble	0,528302271	0,040072862	0,078904949	0
Biobío	0,443376337	0,966386177	0,32050908	0
Araucanía	1,375974446	0,657745727	0,119021231	0
Los Ríos	0,148594364	0,278292974	0,065936306	0
Los Lagos	0,246132995	0,421873333	0,186458952	0
Aysén	0,003787929	0,045322944	0,014541231	0
Magallanes	0,003787929	0,134374032	0,026700805	0
Total general	3,749431818	9,770761716	3,073572976	4,13601323

Fuente: Elaboración propia de la herramienta HEMAQ+ [HEMAQ+].



Es un Programa de:

Ejecutado por:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**



calac@swisscontact.org.pe

www.programacalac.com

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores

Lima 15073 – Perú

Teléfonos: +511 5005075

www.swisscontact.org