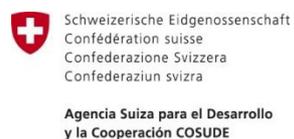


# PRIMER INVENTARIO DE EMISIONES DE MAQUINARIA MOVIL NO DE CARRETERA EN PERÚ



*Financiado por:*



*Ejecutado por:*



Noviembre 2020

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	2
I. INVENTARIO DE FLOTA DE MAQUINARIA MÓVIL .....	4
1. METODOLOGÍA.....	4
2. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA .....	4
2.1. Definición del alcance .....	5
2.2. Recopilación de información de la base de datos de la aduana .....	7
2.3. Depuración y complementación de la información .....	7
3. RESULTADOS .....	14
3.1. Número de maquinaria y acumulado de importación.....	14
3.2. Importación de maquinaria.....	15
3.3. Año de fabricación de la maquinaria .....	16
3.4. Tipo de maquinaria .....	16
3.5. Rubro de la maquinaria.....	18
3.6. Potencia (rango de potencia) de la maquinaria.....	18
3.7. Tipo de maquinaria por rubro .....	19
3.8. Nivel tecnológico.....	23
4. ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
II. INVENTARIO DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL.....	27
1. METODOLOGÍA.....	27
2. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	27
2.1. Definición del alcance .....	27
2.2. Metodología de cálculo emisiones.....	28
FACTOR DE EMISIÓN ESTADO ESTACIONARIO PARA EQUIPO NUEVO .....	30
NIVEL DE ACTIVIDAD .....	33
FACTOR DE CARGA .....	33
FACTOR DE DETERIORO.....	34
FACTOR DE AJUSTE TRANSITORIO.....	36
AJUSTE POR AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE .....	37
2.3. Proyección de la población de maquinaria no de carretera .....	37

3.	RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL .....	38
3.1.	Emisiones por rubro de maquinaria .....	38
3.2.	Emisiones por tipología de maquinaria.....	39
4.	RESULTADOS DEL INVENTARIO A NIVEL DE LIMA Y CALLAO .....	40
4.1.	Emisiones por rubro de maquinaria .....	40
III.	CONCLUSIONES .....	41
IV.	RECOMENDACIONES .....	42
V.	BIBLIOGRAFÍA.....	43
VI.	ANEXOS .....	44

## I. INVENTARIO DE FLOTA DE MAQUINARIA MÓVIL

Esta primera sección describe la metodología, el proceso de elaboración, los resultados y la asignación geográfica del inventario de flota de maquinaria móvil.

---

### 1. METODOLOGÍA

---

La metodología empleada para la elaboración del Inventario de flota de maquinaria se ha adaptado a partir de 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+ (2020a). Cabe señalar que esta guía fue elaborada construyendo sobre la experiencia de la elaboración del inventario de maquinaria móvil fuera de ruta elaborado para la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

La principal fuente de información para la elaboración de este inventario han sido los registros de ingresos de maquinaria al país, registrados por la Aduana en Perú. Estos datos son insumos esenciales de caracterización de la flota, tales como rubro (construcción, industrial, agrícola, forestal y minería), tipo de combustible (diésel, eléctrico, gasolina o gas), año de fabricación, año de importación, marca, modelo, tipología de la maquinaria, potencia y cantidad. Sin embargo, la información recogida por la Aduana requiere de un procesamiento detallado a fin de contar con toda la información necesaria que será luego utilizada para la estimación de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera.

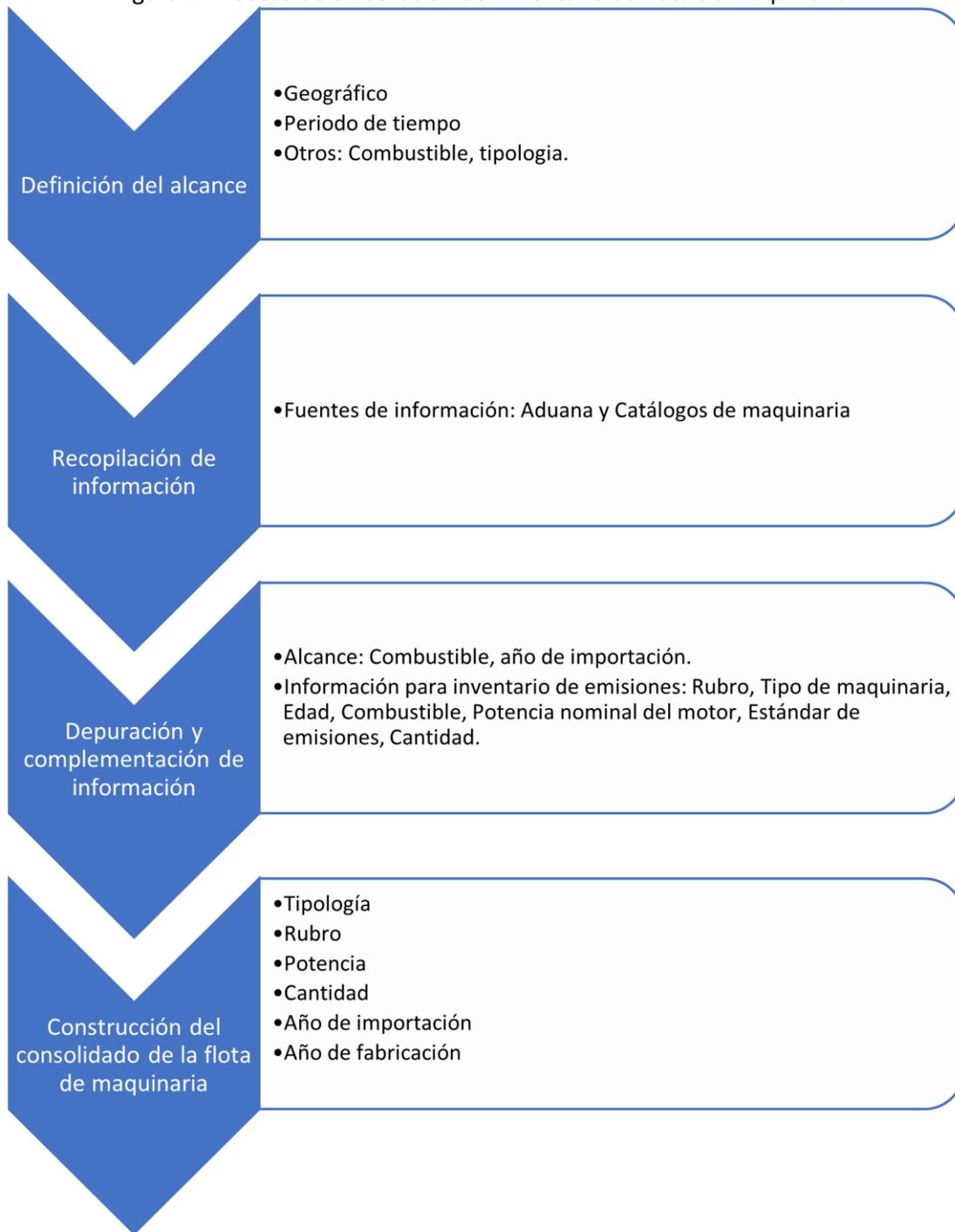
---

### 2. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA

---

Esta sección del documento describe el proceso de elaboración del inventario de flota de maquinaria, que sigue la metodología de la Guía del Programa CALAC+ basada en la metodología utilizada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (US-EPA, por sus siglas en inglés). Los pasos del inventario de flota de maquinaria se presentan en la figura 1.

Figura 1. Proceso de elaboración del inventario de flota de maquinaria.



Fuente: Elaboración propia.

## 2.1. Definición del alcance

El alcance del inventario se ha definido en función a los criterios enunciados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Alcance del inventario de flota de maquinaria

Alcance		Sustento
<b>Geográfico</b>	Nacional (Perú)	No se cuenta con un registro de maquinaria en uso. El único registro de maquinaria es el registro a su ingreso al país en la base de datos de la Aduana.
	Lima-Callao	Como parte de la metodología se hace una distribución geográfica de la flota de maquinaria, en la que se asigna de acuerdo a indicadores por departamento, el porcentaje de cada rubro de maquinaria.
<b>Año base</b>	2016	El inventario más reciente de emisiones para Lima y Callao (incluye las fuentes móviles de transporte) es del año 2016, publicado en el Diagnóstico de gestión de la calidad del aire. Este documento fue elaborado en el marco de las actividades de la Comisión Multisectorial para la gestión de la iniciativa para el aire limpio de Lima y Callao.
<b>Combustible</b>	Diésel	La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, organismo perteneciente a la OMS, identificó al humo de los motores diésel entre las sustancias carcinogénicas de nivel 1 en el año 2012 <sup>1</sup> ( <b>CIIC, 2012</b> ). Sumado al impacto en salud, el carbono negro u hollín que emiten los vehículos diésel y otras fuentes, tiene una gran influencia en el forzamiento radiativo, generando cambios en la temperatura de la superficie de la tierra y la estructura vertical de la temperatura en la atmósfera, lo que lleva a cambios en los patrones climáticos y afecta la precipitación regional, que afecta el clima a nivel mundial ( <b>CCAC, 2018</b> ). Además, la experiencia internacional indica que la mayoría de las emisiones de la maquinaria proviene de aquellas que se alimentan de diésel. Este criterio también fue utilizado en el inventario de emisiones de maquinaria de la Región Metropolitana de Santiago de Chile.
<b>Maquinaria Móvil No de Carretera</b>	<p><u>Incluye:</u> Máquina móvil no de carretera, con motores de encendido por compresión (Diésel), de régimen variable, destinados a los rubros de la construcción, minería, agricultura, forestal e industria, aptos para desplazarse sobre el suelo.</p> <p><u>Excluye:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de régimen estacionario (bombas, generadores, compresores).</li> <li>• Equipos de jardinería (cierres eléctricas, cortadoras de pasto, etc.).</li> <li>• Equipos recreacionales (motos de nieve, carros de golf, vehículos especiales).</li> <li>• Equipos aeropuertos, equipos ferroviarios, equipos marinos.</li> <li>• Equipos de uso militar.</li> <li>• Motores encendidos por chispa (Otto).</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido el año base, la guía de CALAC+ recomienda obtener información de la maquinaria que se integró al parque de maquinaria por lo menos en los 10 años previos. En este

<sup>1</sup> El nivel 1 corresponde a las sustancias que causan cáncer de forma segura en las personas que se ven expuestas de forma continuada a ellas.

caso eso hubiese significado obtener información desde el año 2007. Sin embargo, para el Perú se logró recopilar información de ingreso de maquinaria desde el año 2000, lo cual permite obtener un panorama más amplio de la maquinaria ingresada al país y que compone el parque de maquinarias.

## 2.2. Recopilación de información de la base de datos de la aduana

El primer paso para la elaboración del Inventario de flota de maquinaria consiste en obtener la información de la ADUANA respecto a la maquinaria móvil no de carretera. En este sentido, se revisó el documento “Arancel de Aduanas 2017”, publicado por la **SUNAT**<sup>2</sup>.

A partir de este documento se identificaron las partidas arancelarias que se descargarían para la sistematización de maquinaria. La lista de partidas se puede visualizar en el Anexo 1. Mientras en el cuadro 2 se puede apreciar un resumen de las familias de partidas arancelarias.

Cuadro 2. Lista de partidas arancelarias consultadas para la elaboración del inventario.

Código	Designación de la Mercancía
84.25	Polipastos; tornos y cabrestantes; gatos.
84.26	Grúas y aparatos de elevación sobre cable aéreo; puentes rodantes, pórticos de descarga o manipulación, puentes grúa, carretillas puente y carretillas grúa.
84.27	Carretillas apiladoras; las demás carretillas de manipulación con dispositivo de elevación incorporado.
84.29	Topadoras frontales (buldóceres), topadoras angulares («angledozers»), niveladoras, traíllas («scrapers»), palas mecánicas, excavadoras, cargadoras, palas cargadoras, compactadoras y apisonadoras (aplanadoras), autopropulsadas.
84.30	Las demás máquinas y aparatos para explanar, nivelar, traillar («scraping»), excavar, compactar, apisonar (aplanar), extraer o perforar tierra o minerales; martinets y máquinas para arrancar pilotes, estacas o similares; quitanieves.
84.32	Máquinas, aparatos y artefactos agrícolas, hortícolas o silvícolas, para la preparación o el trabajo del suelo o para el cultivo; rodillos para césped o terrenos de deporte.
84.33	Máquinas, aparatos y artefactos de cosechar o trillar, incluidas las prensas para paja o forraje; cortadoras de césped y guadañadoras; máquinas para limpieza o clasificación de huevos, frutos o demás productos agrícolas, excepto las de la partida 84.37.

Fuente: Adaptación de SUNAT (Sin fecha). “Arancel de Aduanas 2017”.

## 2.3. Depuración y complementación de la información

Con base en el alcance definido en la tabla 1, el primer ejercicio de depuración que se llevó a cabo se indicó para la maquinaria que utilizaba combustibles distintos al diésel. Cabe mencionar que no existe obligación de consignar este detalle, y que en razón a eso se utilizaron los siguientes mecanismos para la depuración:

<sup>2</sup> Arancel de Aduanas 2017. Disponible en <http://www.sunat.gob.pe/orientacionaduanera/aranceles/Arancel-2017.zip>

- Se identificó maquinaria que predominante usa fuentes energéticas distinta al diésel. En específico se utilizó para la maquinaria “tijera eléctrica” y “apisonadora”.
- Se realizó una búsqueda utilizando filtros en la celda “descripción comercial”, buscando palabras claves como “eléctrico”, “gas”, “GLP”, “gas natural”.

Una vez se retiraron los registros que contenían maquinaria que utilizaba electricidad o gas, se procedió a depurar la base de datos y dado que el objetivo de realizar el Inventario de flota de maquinaria es servir de base para la estimación de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera, este ejercicio de depuración de información se hizo considerando los datos que se requerirán para tal fin. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (EPA, 2018), la información necesaria para poder estimar las emisiones de contaminantes es:

1. Rubro
2. Tipo de maquinaria
3. Edad
4. Combustible
5. Potencia nominal del motor
6. Estándar de emisiones
7. Cantidad

Cabe señalar que los datos de Edad y Estándar de emisiones se estiman a partir de información de la fecha de fabricación y fecha de importación. Por otro lado, este inventario de flota de maquinaria solo contabiliza dentro de su alcance la maquinaria que tiene como fuente energética el diésel.

Adicionalmente se usó otra fuente de información para completar la información de Potencia nominal del motor, a partir de los datos de marca y modelo indicados en la celda “Descripción comercial”. Existen múltiples bases de catálogos de maquinaria en internet, en el cuadro 3 se listan las que fueron utilizadas en el presente estudio.

Cuadro 3. Catálogos de maquinaria disponibles en internet

- <https://www.ritchiespecs.com/>
- <https://www.kellytractor.com/>
- <http://maquqam.com/>
- [https://www.cat.com/en\\_MX.html](https://www.cat.com/en_MX.html)
- <https://www.constructionequipment.com/>
- <https://www.machinerytrader.es/>
- <https://www.purplewave.com/>
- <https://www.mytractor.com/es/>
- <https://trademachines.com.co/>
- <https://www.machinerytrader.com/>
- <https://drsdrills.com/>
- <https://www.lectura-specs.es/es>
- <https://www.lectura-specs.com/en>
- <https://www.constructionequipmentguide.com/>
- <https://www.pciheavyequipment.com/>
- <https://www.tracsa.com.mx/>
- <https://www.basmachinery.com/>
- <https://www.zieglerrental.com/>
- <https://app.equipmentwatch.com/search/by-manufacturer>

- <http://www.tractordata.com/>

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la depuración de información del inventario de flota de maquinaria a partir de la base de datos de la Aduana y los catálogos de maquinaria se realizó para los siguientes parámetros: Tipo de maquinaria, Potencia, Rubro, Año de importación, Año de fabricación, Cantidad, Potencia nominal.

### 1. Tipo de maquinaria

La caracterización del tipo de maquinaria 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 (CORINAIR 2013), específicamente el punto 2.2 del capítulo 1.A.4. “Non-road mobile sources and machinery”, y en el Appendix B del documento “User’s Guide for the Final NONROAD2005 Model” (EPA 2005).

Cabe mencionar que la maquinaria puede tener diferentes denominaciones dependiendo del país en que se use y el argot propio de los gremios locales de construcción, por lo tanto, a partir de los tipos de maquinaria definidos en dichas metodologías.

Se ha realizado un minucioso trabajo de depuración del tipo de maquinaria, tomando la siguiente información como base: tipo de maquinaria indicada en la clasificación de la partida arancelaria, el tipo de maquinaria consignado en la celda “Descripción Comercial” y finalmente el tipo de maquinaria indicado en los catálogos de maquinaria consultados, esto permitió identificar el tipo de maquinaria en la totalidad de la base de datos.

En el cuadro 4 se presenta un resumen de la homologación de términos utilizados, y en el anexo 2 se puede apreciar una tabla ampliada que incluye una imagen referencial de cada tipo de maquinaria.

Cuadro 4. Resumen de tipo de maquinaria

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Categoría EPA
Bulldozer	Topadora frontal, bulldozer	2270002063 Diesel Rubber Tire Dozers
Cargador de troncos	Cargador de troncos, arrastrador de troncos	2270007015 Diesel Logging Equip Fell/Bunch/Skidlers
Cargador frontal	Cargador, cargador frontal	2270002060 Diesel Rubber Tire Loaders
Cosechadora	Cosechadora, maquina cosechadora, trilladora	2270005045 Diesel Swathers
Cargador dumper	Dumper, Cargador dumper	2270002078 Diesel Dumpers/Tenders
Equipo de minería subterránea	Maquina tunelera, máquina para hacer túneles	2270009010 Diesel Other Underground Mining Equipment
Excavadora	Excavadora	2270002036 Diesel Excavators

Grúa horquilla	Montacargas, grúa horquilla pertenecientes al rubro industrial, PATO	2270003020 Diesel Forklifts
Grúa telescópica	Grúa telescópica, grúas.	2270002045 Diesel Cranes
Minicargador	Minicargador	2270002072 Diesel Skid Steer Loaders
Miniexcavadora	Miniexcavadora	2270002072 Diesel Skid Steer Loaders
Mini-retroexcavadora	Mini-retroexcavadora	2270002073 Diesel Skid Steer Loaders
Manipulador telescópico	Manipulador telescópico, manipulador, carretilla grúa	2270003040 Diesel Other General Industrial Equipment
Motoniveladora	Motoniveladora	2270002048 Diesel Graders
Perforadora	Perforadora, perforador	2270002033 Diesel Bore/Drill Rigs
Plataforma telescópica	Plataforma de Elevación, plataforma telescópica, brazo telescópico.	2270003010 Diesel Aerial Lifts
Retroexcavadora	Retroexcavadora	2270002066 Diesel Tractors/Loaders/Backhoes
Rodillo	Rodillo compactador, rodillo aplanador	2270002015 Diesel Rollers
Scraper (Rascador)	Rascador	2270002018 Diesel Scrapers
Tiendetubo	Tiendetubo	2270002081 Diesel Other Construction Equipment
Tractor	Tractores pertenecientes al rubro construcción y minería.	2270002066 Diesel Tractors/Loaders/Backhoes
Tractor Agrícola	Tractor perteneciente al rubro agrícola.	2270005015 Diesel Agricultural Tractors
Tractor de un solo eje / Monocultor	Monocultor	2270005010 Diesel 2-Wheel Tractors

Fuente: Elaboración propia.

## 2. Potencia nominal

Para el caso de las potencias, también se depuró información de la celda “descripción comercial”. La información depurada de algunas celdas se encontraba en las unidades de HP o kW. También se utilizó la información de potencia obtenida por la marca y modelo de la maquinaria en los catálogos de internet citados en el Cuadro 3. Con estas dos fuentes de información se alcanzó a completar más del 70% de información de potencia para el total de maquinarias.

La potencia faltante se completó utilizando información de tipo y rubro. 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 se obtuvo la participación y el valor promedio de potencia por rango de potencia, estos rangos son definidos en EPA (2008), que se pueden apreciar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Categoría de potencia y los valores asociados de rango de potencia

Rango de potencia	Categoría de potencia
$19 < kW$	1
$19 \leq kW < 37$	2
$37 \leq kW < 56$	3
$56 \leq kW < 75$	4
$75 \leq kW < 130$	5
$130 \leq kW < 225$	6
$225 \leq kW < 450$	7
$450 \leq kW < 560$	8
$\geq 560$	9

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se asignaron los datos de potencia faltantes según la potencia promedio de la información que contenía dicho atributo, agrupando la maquinaria según tipología y rubro. Con esto se obtiene el 100% de las potencias.

### 3. Rubro

Para la definición del rubro se tomaron en consideración varios pasos de depuración, dado que esta característica no depende sólo del tipo de maquinaria, sino más bien del uso que se le da.

En primera instancia la información de rubro fue obtenida de la celda de “Descripción comercial”. Se utilizaron filtros para la búsqueda identificando las categorías consideradas fueron construcción, agricultura, industria, forestal y minería. Para completar la información faltante se siguieron los siguientes pasos:

- Se utilizó información del tipo de maquinaria cuando solo aplica a un rubro específico, por ejemplo: el tractor agrícola pertenece al rubro agricultura, el equipo de minería subterránea se usa en minería, etc.
- Se asoció el rubro a la empresa que importó la maquinaria, por ejemplo, constructoras. Esto se hizo a través de una búsqueda del CIU consignado para el RUC de la empresa importadora. El RUC se encuentra en la base de datos de la Aduana en la celda “Cod. Tributario”.
- Se relacionó el tipo de maquinaria y potencia asociada a los rubros, identificando las máximas y mínimas potencias según rubro por cada tipo de maquinaria, y luego completando el rubro para aquella maquinaria que estuviera debajo o por encima de los valores mínimos y máximos de potencia, respectivamente.

Finalmente, con el objetivo de una rápida clasificación se asignó una categoría a los rubros según se indica en el cuadro 6.

Cuadro 6. Categoría de rubro

Rubro	Categoría de rubro
AGRICULTURA	1
CONSTRUCCION	2
FORESTAL	3
INDUSTRIA	4
MINERIA	5

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Año de Importación

Este dato proviene de la base de datos de la Aduana, de la celda “Fecha”, de la cual se extrae solo el año sin considerar el mes y día indicados. Al ser un dato de la fecha de ingreso de la maquinaria al país, se cuenta con el 100% de la información.

Para efectos de este inventario de flota de maquinaria, se cuenta con maquinaria importada entre los años 2000 y 2016.

#### 5. Año de fabricación

El año de fabricación, no es información que se obliga a completar en el registro de la maquinaria a su ingreso al país, sin embargo, en la celda de “Descripción Comercial” se puede encontrar este dato, si es que el agente aduanero lo consignó.

Cuando la información del año de fabricación no ha sido proporcionada, se asumió que el año de fabricación es igual al año de importación.

#### 6. Cantidad

En la base de datos de la Aduana, se hallan la celda “QTY 1”, la cual debe consignar la cantidad de unidades de maquinaria importadas bajo cada registro. Cabe señalar que se encontraron inconsistencias en aproximadamente 30 celdas que consignaban números con decimales, y cantidades mayores a 100, lo cual es poco probable debido al tipo de mercadería que representan las maquinarias. En este sentido se realizaron las siguientes acciones para depurar los calores de cantidad:

- En el caso de los valores que contenían decimales, o el valor consignado en “QTY 1” fuera mayor a 100, se revisaron las DUA (declaraciones únicas aduaneras). Para la búsqueda de información, necesitamos el año, el número de DUA y el puerto de importación, todos estos datos se ingresan por cada registro que se requiere verificar en el siguiente enlace: <http://www.sunat.gob.pe/aduanas/informli/ildua.htm>.
- Aquí además del valor de “QTY1” se consigna información de cantidad de comercial con la cual en algunos casos se corrigió la información provista.

Para el caso de registros que consignaban valores superiores a 10 unidades en la celda “QTY 1”, se hizo una revisión meticulosa de lo que se consignaba en la celda “Descripción Comercial”, descubriéndose que en algunos casos:

- Las partes y/o repuestos de la maquinaria indicada se consignaron como maquinaria.
- El valor de “QTY 1” se refería al número de bultos de la maquinaria que ingresaba al país desarmada.

Es importante mencionar que no se tomó en cuenta un modelo de retiro final o *scrapping*, como el que se utiliza en los Estados Unidos, esto en razón de que es el primer inventario de flota de maquinaria, que solo recoge información de importación desde el

año 2010 y no se tiene certeza de la vida útil de la maquinaria, por lo que aplicar un modelo de *scrapping* podría subestimar la cantidad de maquinaria en funcionamiento.

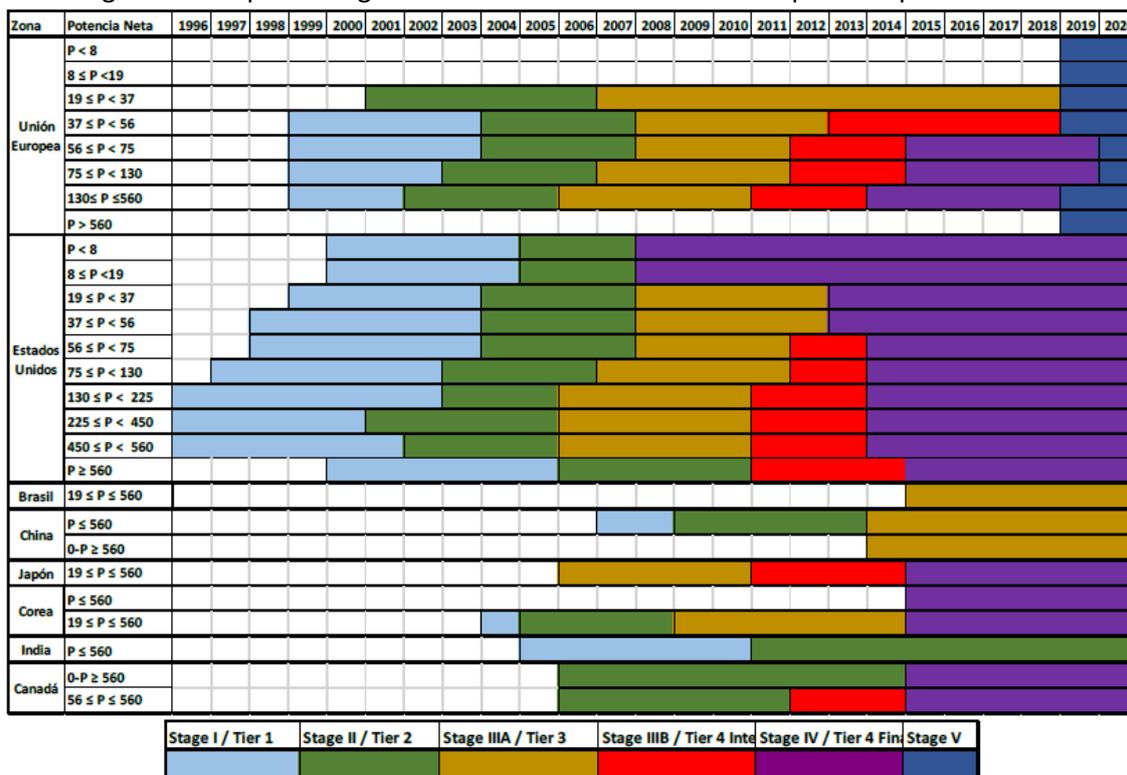
### 7. Nivel tecnológico

El nivel tecnológico, es el nivel de cumplimiento relacionado a determinada norma de emisiones para la que la maquinaria fue diseñada, no esta reglamentado en nuestro país, como si lo está para fuentes móviles de carretera (vehículos menores, livianos y pesados). Asimismo, la información del nivel tecnológico es información que no se consigna en el registro de la maquinaria a su ingreso al país.

Dado que el nivel tecnológico está directamente relacionado con los factores de emisión que se le asignaran a cada maquinaria para la estimación de sus emisiones, se requiere asumir un nivel tecnológico, para lo cual se requiere definir dos supuestos: i) el retraso tecnológico (en años) y ii) el país de referencia.

- i) Se asume un que la maquinaria que ingresa al país, al no contar con estándares mínimos de emisiones para estas fuentes, tiene un nivel tecnológico con un retraso de aproximadamente 10 años respecto de la entrada en vigor de la respectiva norma en el país de referencia. Aquí cabe señalar que se toma el dato de año de fabricación como referencia.
- ii) Se asume como país de referencia a Estados Unidos de Norteamérica, a fin de simplificar este supuesto y en congruencia con otros países de la región como Chile y Colombia. En la figura 2, se puede apreciar la fecha de entrada en vigencia de las normas de emisiones de maquinaria móvil con motor diésel en varios países del mundo.

Figura 2. Comparación general de las normas de emisiones para maquinaria móvil.



Fuente: Programa CALAC+ (2020a).

En el siguiente cuadro se puede apreciar la distribución del nivel tecnológico de acuerdo a la norma EPA y el nivel tecnológico asumido para Perú.

Cuadro 7. Nivel tecnológico de acuerdo con la potencia y año de fabricación

a) Nivel tecnológico según norma de referencia: Estados Unidos

Estandar EEA	Estandar EPA	>0 A 8	>8 A 19	>19 A 37	>37 A 56	>56 A 75	>75 A 130	>130 A 225	>225 A 450	>450 A 560	>560
Tier 0		1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Tier 1		2000	2000	1999	1998	1998	1997	1996	1996	1996	2000
Tier 2		2005	2005	2004	2004	2004	2003	2003	2001	2002	2006
Tier 3						2008	2007	2006	2006	2006	
Tier 4I				2008	2008	2012	2012	2011	2011	2011	2011
Tier 4F		2008	2008	2013	2013	2014	2014	2014	2014	2014	2015
Stage V											

b) Nivel tecnológico asumido para Perú (año de ingreso al país)

Estandar EEA	Estandar EPA	>0 A 8	>8 A 19	>19 A 37	>37 A 56	>56 A 75	>75 A 130	>130 A 225	>225 A 450	>450 A 560	>560
Pre Stage I	Tier 0	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Stage I	Tier 1	2010	2010	2009	2008	2008	2007	2006	2006	2006	2010
Stage II	Tier 2	2015	2015	2014	2014	2014	2013	2013	2011	2012	2016
Stage IIIA	Tier 3										
Stage IIIB	Tier 4I										
Stage IV	Tier 4F										
Stage V	Stage V										

Fuente: Herramienta HEMAQ

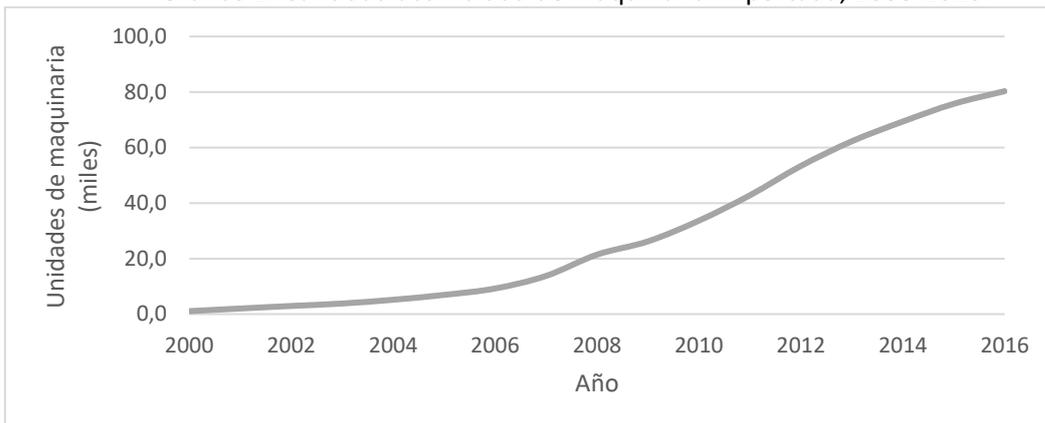
### 3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del inventario de flota de maquinaria que servirán para la estimación de emisiones proveniente de la maquinaria móvil no de carretera. El consolidado a partir del cual se presenta la información se encuentra anexo en archivo digital en el enlace: <https://drive.google.com/file/d/11nNLVmZVq13UuLVw0Sb57ZNZX2Hwc4Jq/view?usp=sharing>

#### 3.1. Número de maquinaria y acumulado de importación

Se contabilizaron 80 300 unidades de maquinaria móvil no de carretera que utilizaban diésel como combustible, importadas a nivel nacional, entre los años 2000 y 2016. La curva de crecimiento se puede apreciar en el gráfico 1.

Gráfico 1. Cantidad acumulada de maquinaria importada, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Cantidad acumulada de maquinaria importada, 2000-2016.

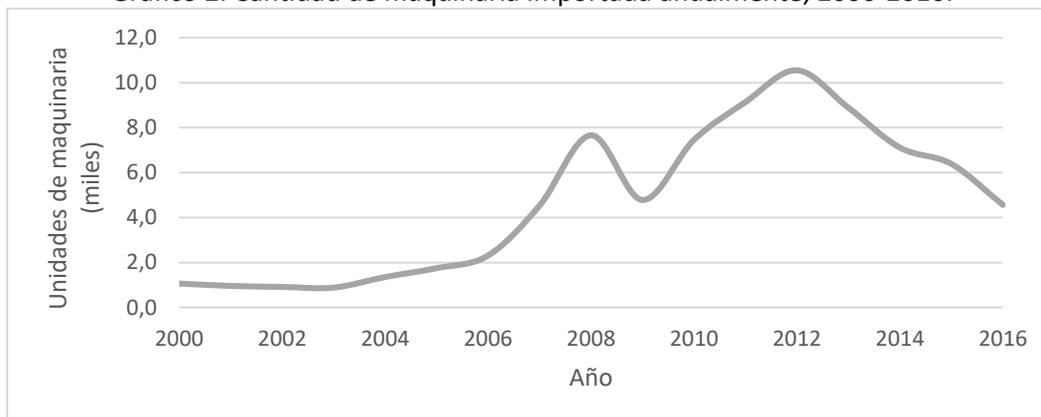
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cantidad	1 064	2 021	2 935	3 818	5 171	6 919	9 228	13 760	21 420
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cantidad	26 200	33 658	42 796	53 349	62 236	69 348	75 735	80 300	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Importación de maquinaria

La importación de maquinaria muestra un comportamiento fluctuante mostrando años con mayor importación de unidades de maquinaria, como por ejemplo los periodos 2007-2008 y 2010-2012.

Gráfico 2. Cantidad de maquinaria importada anualmente, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Cantidad de maquinaria importada anualmente, 2000-2016.

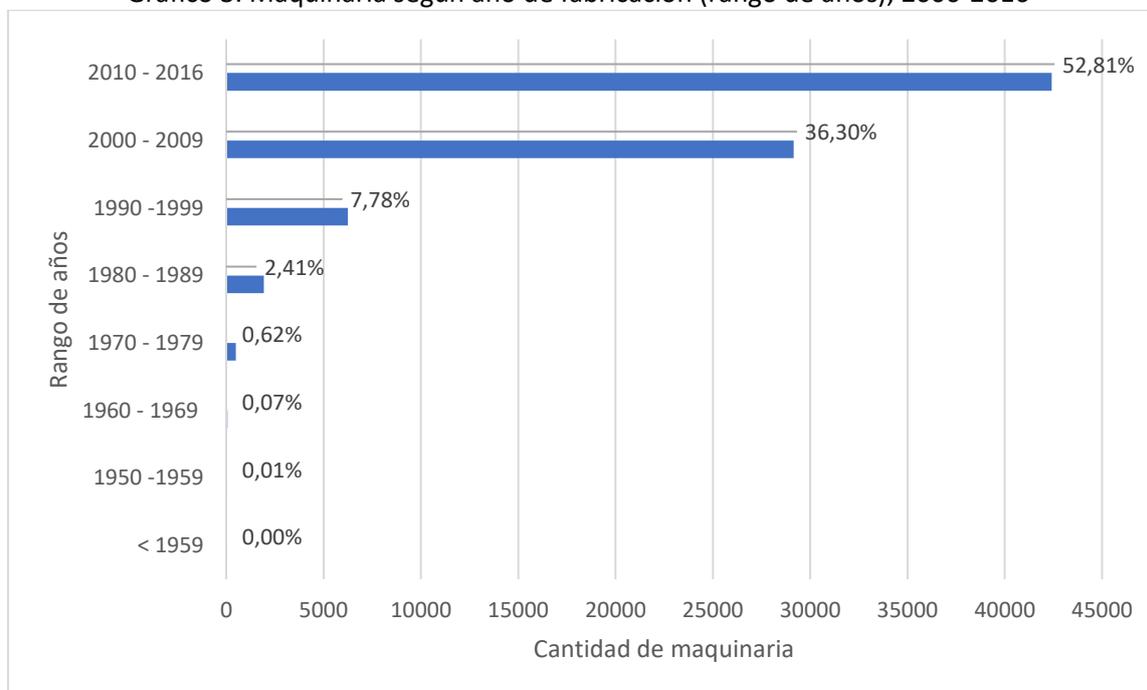
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cantidad	1 064	957	914	883	1 353	1 748	2 309	4 532	7 660
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Cantidad	4 780	7 458	9 138	10 553	8 887	7 112	6 387	4 565	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Año de fabricación de la maquinaria

De acuerdo a lo declarado ante Aduanas, entre los años 2000 y 2016, la mitad (52,81%) de la maquinaria que ha ingresado tiene como fecha de fabricación los años 2010-2016. En el gráfico 3 se aprecia la información de año de fabricación agrupada en décadas.

Gráfico 3. Maquinaria según año de fabricación (rango de años), 2000-2016



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Maquinaria según año de fabricación (rango de años), 2000-2016

Rango de años	< 1959	1950 - 1959	1960 - 1969	1970 - 1979	1980 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010 - 2016
Cantidad	2	7	58	495	1 936	6 249	29 149	42 404

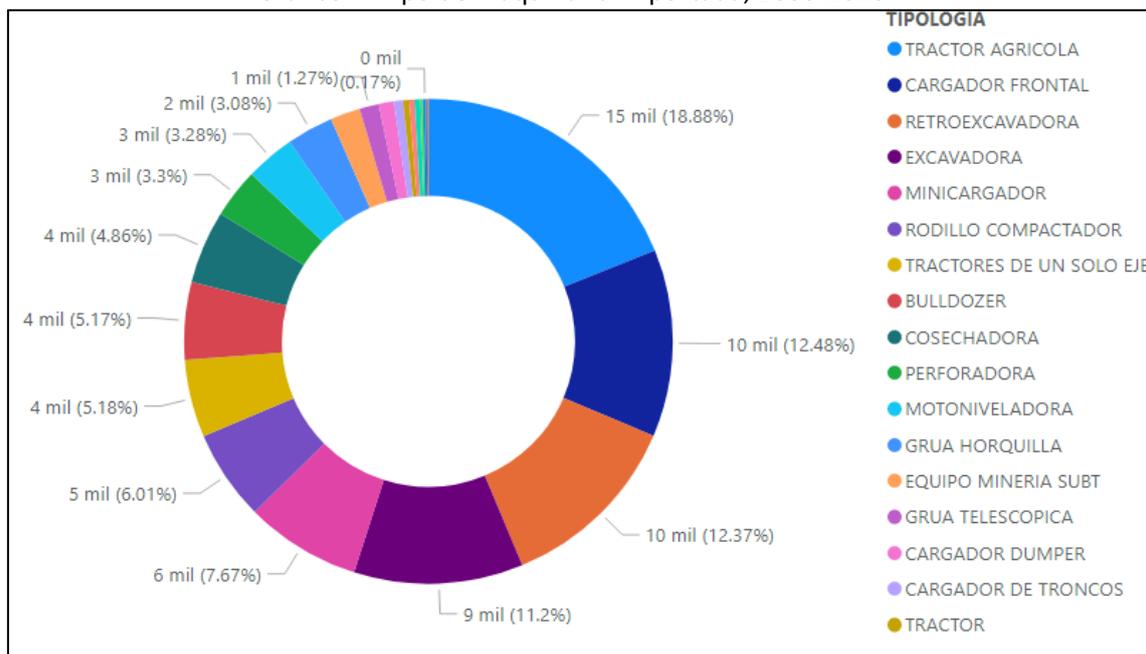
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Tipo de maquinaria

El inventario de flota de maquinaria importada entre los años 2000 y 2016, recoge que el tractor agrícola con un 18,88%, fue la maquinaria más predominante, seguido del cargador frontal (12,48%) y de la retroexcavadora (12,37%).

En el otro extremo el tipo de maquinaria con menor frecuencia de importación fue el scraper, la miniretroexcavadora, el tiendetubo y la plataforma telescópica, que sumados representan aproximadamente el 0,5% del total de maquinaria.

Gráfico 4. Tipo de maquinaria importada, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Tipo de maquinaria importada, 2000-2016.

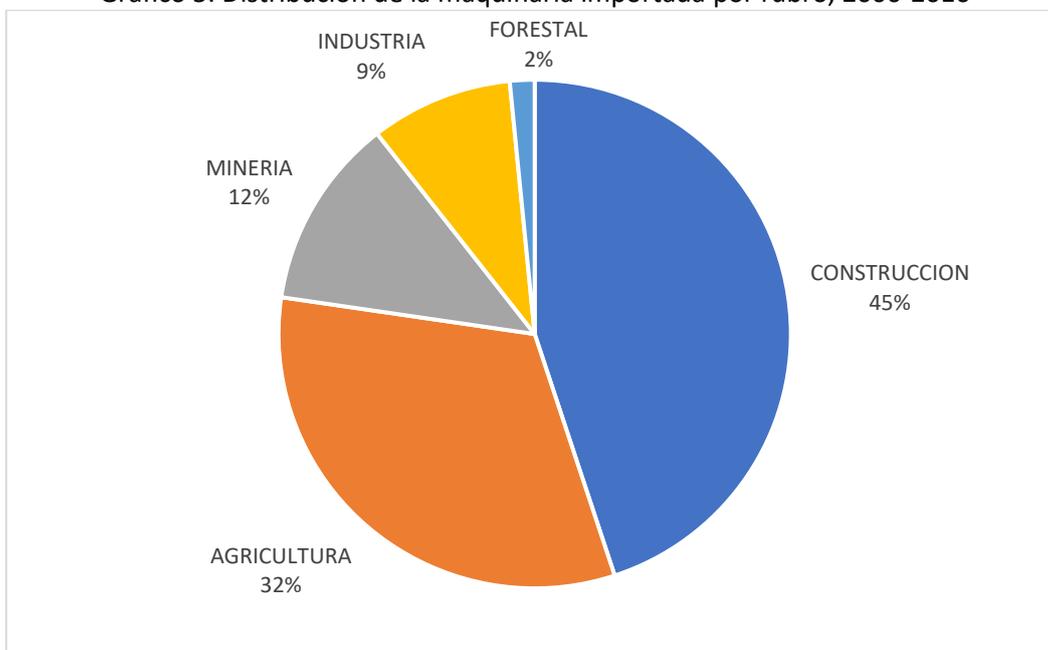
Tipo de maquinaria	Cantidad	%
TRACTOR AGRICOLA	15 158	18,9%
CARGADOR FRONTAL	10 024	12,5%
RETROEXCAVADORA	9 930	12,4%
EXCAVADORA	8 990	11,2%
MINICARGADOR	6 159	7,7%
RODILLO COMPACTADOR	4 828	6,0%
TRACTORES DE UN SOLO EJE / DOS RUEDAS	4 157	5,2%
BULLDOZER	4 151	5,2%
COSECHADORA	3 903	4,9%
PERFORADORA	2 653	3,3%
MOTONIVELADORA	2 632	3,3%
GRUA HORQUILLA	2 471	3,1%
EQUIPO MINERIA SUBT	1 594	2,0%
GRUA TELESCOPICA	1 023	1,3%
CARGADOR DUMPER	803	1,0%
CARGADOR DE TRONCOS	489	0,6%
TRACTOR	316	0,4%
MINIEXCAVADORA	299	0,4%
MANIPULADOR TELESCOPICO	285	0,4%
PLATAFORMA TELESCOPICA	142	0,2%
TIENDETUBO	135	0,2%
MINIRETROEXCAVADORA	102	0,1%
SCRAPER(RASCADOR)	56	0,1%

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Rubro de la maquinaria

De acuerdo con el inventario de flota de maquinaria importada entre 2000 y 2016, casi la mitad (45%) de la maquinaria se destinó al rubro construcción. En contraste solo el 2% de la maquinaria se destinó al uso forestal.

Gráfico 5. Distribución de la maquinaria importada por rubro, 2000-2016



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Distribución de la maquinaria importada por rubro, 2000-2016

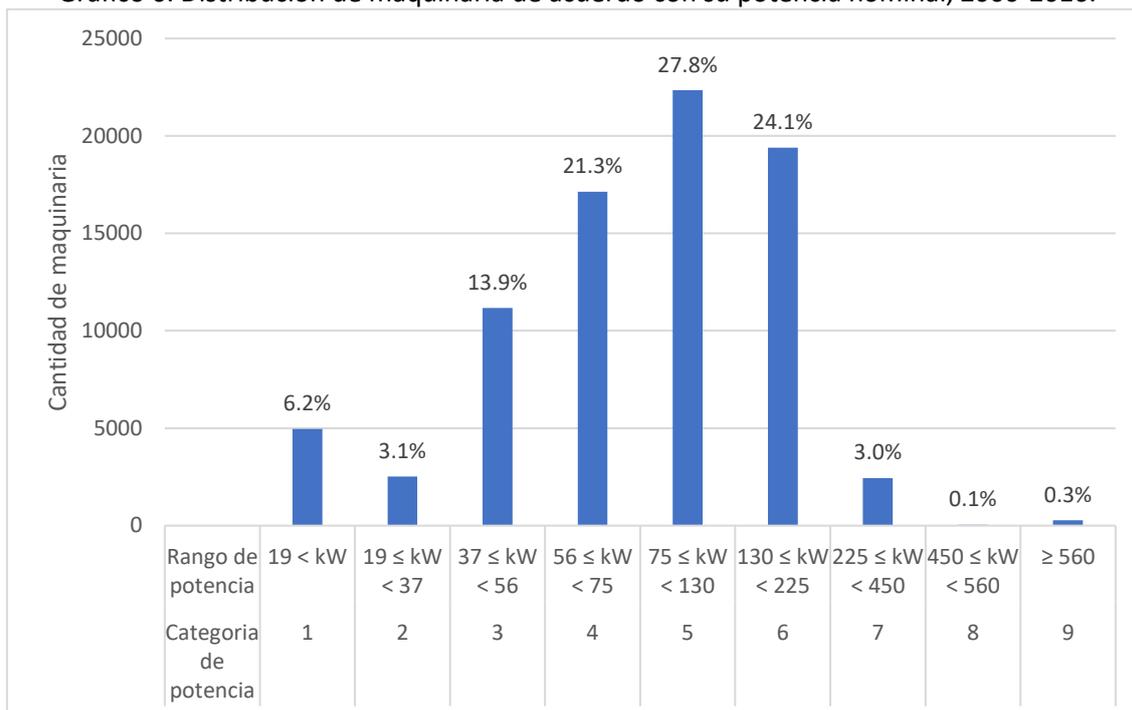
Rubro	Cantidad	Porcentaje
CONSTRUCCION	36 092	45%
AGRICULTURA	25 993	32%
MINERIA	9 744	12%
INDUSTRIA	7 219	9%
FORESTAL	1 252	2%

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Potencia (rango de potencia) de la maquinaria

El análisis del inventario muestra que las tres cuartas partes (73,3%) de la maquinaria tiene potencias nominales entre los 56 kW y 225 kW. Asimismo, la maquinaria con potencia superior a los 450 kW apenas alcanza el 0,5% del total de la cantidad de maquinaria.

Gráfico 6. Distribución de maquinaria de acuerdo con su potencia nominal, 2000-2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Distribución de la maquinaria importada por rubro, 2000-2016

Categoría de potencia	Rango de potencia	Cantidad	Porcentaje
1	19 < kW	4957	6,2%
2	19 ≤ kW < 37	2522	3,1%
3	37 ≤ kW < 56	11 177	13,9%
4	56 ≤ kW < 75	17 143	21,3%
5	75 ≤ kW < 130	22 340	27,8%
6	130 ≤ kW < 225	19 391	24,1%
7	225 ≤ kW < 450	2 445	3,0%
8	450 ≤ kW < 560	45	0,1%
9	≥ 560	280	0,3%

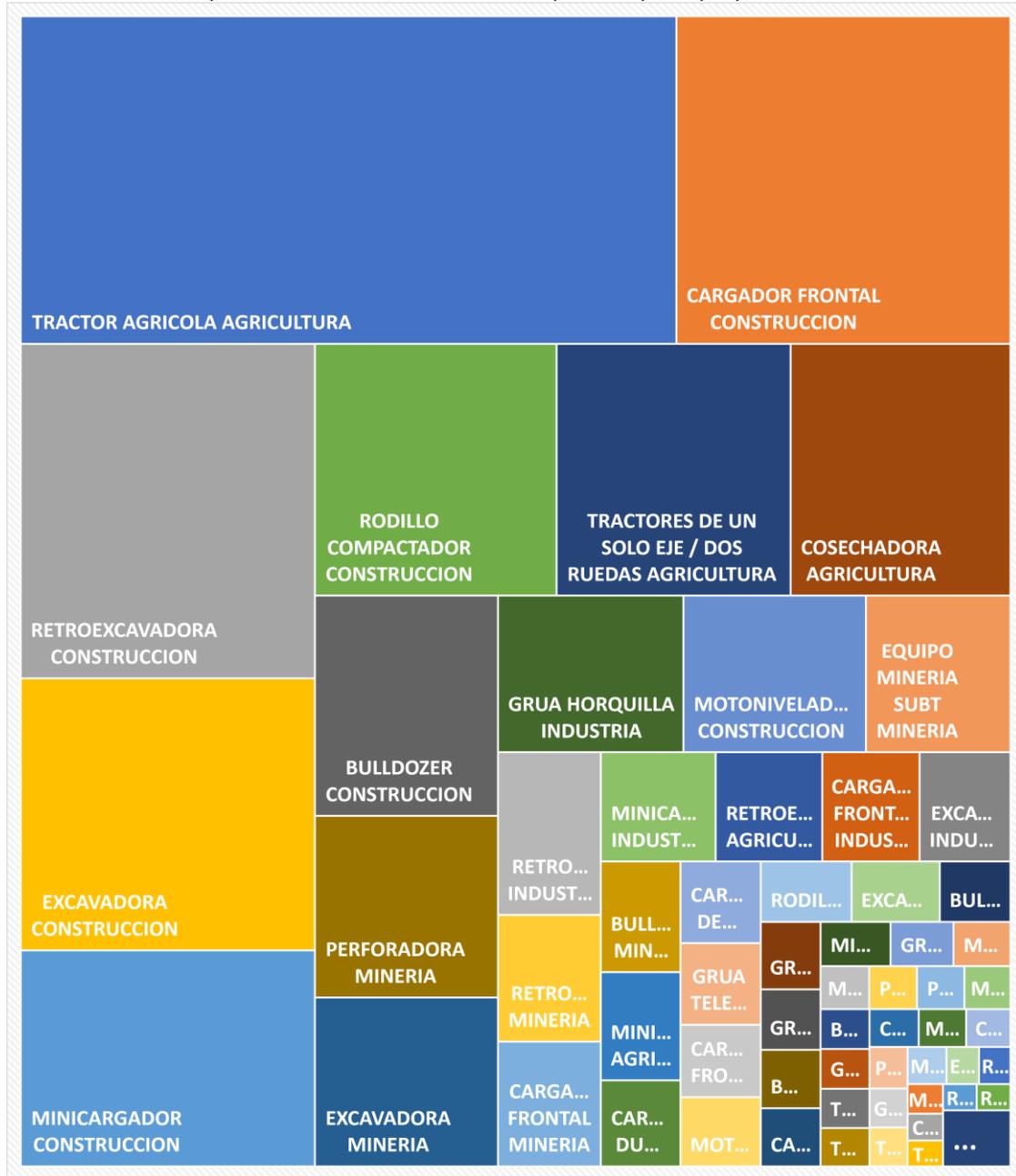
Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Tipo de maquinaria por rubro

El análisis de tipo de maquinaria por rubro indica que el tractor utilizado en el sector agrícola es la maquinaria con mayor número de unidades importadas entre 2000 y 2016, representando el 18,9%, seguido del cargador frontal usado en construcción (9,6%), y de la retroexcavadora utilizada en el sector construcción (8,7%).

Por otro lado, solo se encontró un cargador de troncos en el rubro construcción y 2 cargadores de troncos en el sector minería. En el gráfico 7 se presenta una representación del universo de maquinaria según su tipo y rubro.

Gráfico 7. Esquema de distribución de la maquinaria por tipo y rubro, 2000 – 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Distribución de la maquinaria por tipo y rubro, 2000 – 2016.

<b>Tipo de maquinaria por rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
TRACTOR AGRICOLA AGRICULTURA	15 158	18,9%
CARGADOR FRONTAL CONSTRUCCION	7 714	9,6%
RETROEXCAVADORA CONSTRUCCION	6 947	8,7%
EXCAVADORA CONSTRUCCION	5 650	7,0%
MINICARGADOR CONSTRUCCION	4 484	5,6%
RODILLO COMPACTADOR CONSTRUCCION	4 294	5,3%
TRACTORES DE UN SOLO EJE / DOS RUEDAS AGRICULTURA	4 157	5,2%
COSECHADORA AGRICULTURA	3 903	4,9%
BULLDOZER CONSTRUCCION	2 846	3,5%
PERFORADORA MINERIA	2 346	2,9%
EXCAVADORA MINERIA	2 180	2,7%
GRUA HORQUILLA INDUSTRIA	2 049	2,6%
MOTONIVELADORA CONSTRUCCION	2 020	2,5%
EQUIPO MINERIA SUBT MINERIA	1 594	2,0%
RETROEXCAVADORA INDUSTRIA	1 180	1,5%
RETROEXCAVADORA MINERIA	919	1,1%
CARGADOR FRONTAL MINERIA	905	1,1%
MINICARGADOR INDUSTRIA	883	1,1%
RETROEXCAVADORA AGRICULTURA	822	1,0%
CARGADOR FRONTAL INDUSTRIA	750	0,9%
EXCAVADORA INDUSTRIA	699	0,9%
BULLDOZER MINERIA	621	0,8%
MINICARGADOR AGRICULTURA	608	0,8%
CARGADOR DUMPER CONSTRUCCION	483	0,6%
CARGADOR DE TRONCOS FORESTAL	462	0,6%
GRUA TELESCOPICA CONSTRUCCION	461	0,6%
CARGADOR FRONTAL AGRICULTURA	410	0,5%
MOTONIVELADORA MINERIA	391	0,5%
RODILLO COMPACTADOR INDUSTRIA	386	0,5%
EXCAVADORA AGRICULTURA	375	0,5%
BULLDOZER INDUSTRIA	300	0,4%
GRUA HORQUILLA CONSTRUCCION	285	0,4%
GRUA TELESCOPICA INDUSTRIA	255	0,3%
BULLDOZER AGRICULTURA	247	0,3%
CARGADOR FRONTAL FORESTAL	245	0,3%
MINIEXCAVADORA CONSTRUCCION	219	0,3%
GRUA TELESCOPICA MINERIA	197	0,2%
MINICARGADOR MINERIA	178	0,2%
MANIPULADOR TELESCOPICO INDUSTRIA	147	0,2%
PERFORADORA CONSTRUCCION	145	0,2%
PERFORADORA INDUSTRIA	144	0,2%
MOTONIVELADORA INDUSTRIA	139	0,2%

<b>Tipo de maquinaria por rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
BULLDOZER FORESTAL	137	0,2%
GRUA HORQUILLA MINERIA	137	0,2%
TIENDETUBO CONSTRUCCION	135	0,2%
TRACTOR FORESTAL	132	0,2%
CARGADOR DUMPER AGRICULTURA	131	0,2%
MANIPULADOR TELESCOPICO CONSTRUCCION	126	0,2%
CARGADOR DUMPER MINERIA	117	0,1%
PLATAFORMA TELESCOPICA INDUSTRIA	112	0,1%
GRUA TELESCOPICA FORESTAL	105	0,1%
TRACTOR CONSTRUCCION	105	0,1%
MINIRETROEXCAVADORA CONSTRUCCION	102	0,1%
EXCAVADORA FORESTAL	86	0,1%
RODILLO COMPACTADOR MINERIA	82	0,1%
MOTONIVELADORA AGRICULTURA	74	0,1%
CARGADOR DUMPER INDUSTRIA	67	0,1%
TRACTOR INDUSTRIA	64	0,1%
RETROEXCAVADORA FORESTAL	62	0,1%
RODILLO COMPACTADOR AGRICULTURA	62	0,1%
SCRAPER(RASCADOR) CONSTRUCCION	50	0,1%
MINIEXCAVADORA MINERIA	37	0,0%
MINIEXCAVADORA INDUSTRIA	28	0,0%
PLATAFORMA TELESCOPICA CONSTRUCCION	25	0,0%
PERFORADORA AGRICULTURA	18	0,0%
CARGADOR DE TRONCOS INDUSTRIA	16	0,0%
MINIEXCAVADORA AGRICULTURA	15	0,0%
TRACTOR MINERIA	15	0,0%
MANIPULADOR TELESCOPICO MINERIA	12	0,0%
CARGADOR DE TRONCOS AGRICULTURA	8	0,0%
MOTONIVELADORA FORESTAL	8	0,0%
MINICARGADOR FORESTAL	6	0,0%
SCRAPER(RASCADOR) MINERIA	6	0,0%
CARGADOR DUMPER FORESTAL	5	0,0%
GRUA TELESCOPICA AGRICULTURA	5	0,0%
PLATAFORMA TELESCOPICA MINERIA	5	0,0%
RODILLO COMPACTADOR FORESTAL	4	0,0%
CARGADOR DE TRONCOS MINERIA	2	0,0%
CARGADOR DE TRONCOS CONSTRUCCION	1	0,0%

Fuente: Elaboración propia.

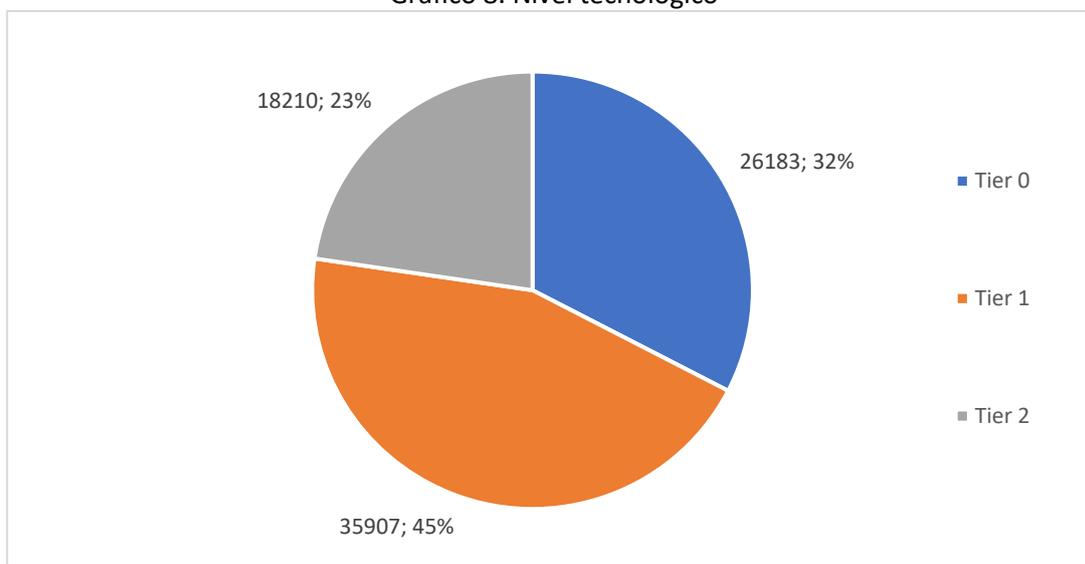
### 3.8. Nivel tecnológico

La información de nivel tecnológico no es consignada en las declaraciones de importación. Debido a esta ausencia de información, el supuesto más plausible es la asignación del nivel tecnológico de acuerdo a la fecha de fabricación.

En este sentido para el inventario de año base del 2016 se asume que existe un desfase tecnológico de aproximadamente 10 años con las normas adoptadas en los Estados Unidos de Norteamérica.

De acuerdo con este supuesto se tiene que para el año 2016 se tenían maquinarias con nivel tecnológico Tier 0, Tier 1 y Tier 2. Se aprecia que un 45% de la maquinaria tiene nivel tecnológico Tier 1, mientras un 32% es Tier 0 y un 23% es Tier 2.

Gráfico 8. Nivel tecnológico



Fuente: Elaboración propia.

## 4. ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA

Una vez consolidado el inventario nacional de flota de maquinaria, se puede realizar una asignación para distribuir la flota nacional en las unidades geográficas subnacionales que se definan, en este caso se consideran los departamentos.

La asignación a nivel subnacional de la cantidad de maquinaria, y, consecuentemente, de las emisiones contaminantes, se realiza por medio de indicadores económicos y productivos en los sectores de agricultura, construcción, forestal, industria y minería. El ajuste se realiza considerando el porcentaje que representa la región en particular en el indicador que vaya a utilizarse. Esto se realiza con base en la metodología que propone la EPA (2005). En el anexo 3 se pueden encontrar las tablas de procesamiento de los indicadores utilizados para la asignación geográfica y a continuación se presenta un resumen de estos.

Cuadro 8. Descripción de los Indicadores utilizados para la asignación geográfica de la flota de maquinaria

Rubro	Indicador	Fuente	Link
Agricultura	PBI por departamento del sector Agrícola y ganadero, 2016	Ministerio de Agricultura y Riego Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2016	<a href="http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-agricola-ganadera2016_210917_0.pdf">http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-agricola-ganadera2016_210917_0.pdf</a>
Construcción	PBI por departamento sector construcción, 2016	Instituto Nacional de Estadística e Informática Índice temático: Economía (Web)	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/19r439IS97araBn6rm4TeiryqFbmgipWF?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/19r439IS97araBn6rm4TeiryqFbmgipWF?usp=sharing</a>
Forestal	Área (ha) por departamento otorgada a permisos forestales, 2016	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2016	<a href="https://www.serfor.gob.pe/publicacion/anuario-forestal-y-fauna-silvestre-2016">https://www.serfor.gob.pe/publicacion/anuario-forestal-y-fauna-silvestre-2016</a>
Industria	PEA ocupada en Manufactura, 2016	Instituto Nacional de Estadística e Informática Perú Evolución de los Indicadores de Empleo e Ingresos por Departamento, 2007-2016	<a href="https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1441/libro.pdf">https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1441/libro.pdf</a>
Minería	Aporte económico de la actividad minera, según región, 2016	Instituto Nacional de Estadística e Informática Perú Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Minería, "Perú 2016: Anuario Minero".	<a href="https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1483/cap15/cap1532.xlsx">https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1483/cap15/cap1532.xlsx</a>

Fuente: Elaboración propia.

Como siguiente paso se sistematizaron los indicadores por cada sector y por cada departamento. Cabe resaltar que en el caso de Lima (Departamento de Lima) y Callao (Provincia Constitucional del Callao) se indica un solo indicador que considera la información para ambos.

Tabla 8. Valores de los Indicadores utilizados para la asignación geográfica de la flota de maquinaria

	Departamento	Agricultura	Construcción	Forestal	Industria	Minería
1	Amazonas	4,7%	1,0%	0,0%	0,7%	0,1%
2	Ancash	2,5%	2,8%	0,1%	3,2%	15,8%
3	Apurímac	1,8%	1,9%	0,3%	0,3%	0,8%
4	Arequipa	7,5%	7,3%	0,1%	4,3%	15,8%
5	Ayacucho	1,8%	1,6%		1,0%	1,6%
6	Cajamarca	4,9%	3,1%	0,4%	3,8%	10,9%
7	Cusco	3,7%	5,2%	0,2%	3,3%	6,8%
8	Huancavelica	1,4%	1,5%	0,0%	0,5%	0,6%
9	Huánuco	3,7%	2,0%	8,2%	1,1%	0,2%
10	Ica	8,1%	5,7%	0,0%	2,3%	2,9%
11	Junín	6,4%	3,2%	1,7%	2,7%	2,4%

12	La Libertad	10,5%	4,4%	3,0%	7,1%	12,4%
13	Lambayeque	4,5%	3,2%		4,4%	0,1%
14	Lima y Callao	8,2%	39,3%		49,2%	3,4%
15	Loreto	2,7%	0,8%	75,8%	1,8%	0,0%
16	Madre de Dios	0,3%	0,6%		0,3%	0,3%
17	Moquegua	0,5%	1,9%	0,0%	0,4%	9,1%
18	Pasco	1,6%	1,2%	0,1%	0,5%	1,7%
19	Piura	7,7%	4,8%	0,1%	5,0%	1,6%
20	Puno	4,5%	3,0%	0,0%	4,3%	4,8%
21	San Martín	9,1%	1,7%		1,2%	0,1%
22	Tacna	1,0%	2,0%		0,8%	8,6%
23	Tumbes	0,9%	0,7%	0,0%	0,5%	0,0%
24	Ucayali	1,9%	1,2%	9,9%	1,3%	0,0%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a las fuentes indicadas en el cuadro anterior.

Posteriormente se utilizaron estos indicadores para la asignación de la flota de maquinaria, quedando distribuida como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 9. Flota de maquinaria distribuida a nivel subnacional

	Nombre zona	Agricultura	Construcción	Forestal	Industria	Minería	Total
1	Amazonas	1 218	357	0	49	5	1 630
2	Ancash	643	1 018	1	232	1 544	3 437
3	Apurímac	470	690	4	24	77	1 265
4	Arequipa	1 962	2 617	1	307	1 544	6 432
5	Ayacucho	478	580	-	71	154	1 283
6	Cajamarca	1 263	1 135	5	274	1 066	3 744
7	Cusco	953	1 864	2	241	665	3 726
8	Huancavelica	356	529	0	35	57	977
9	Huánuco	964	712	102	78	20	1 876
10	Ica	2 115	2 069	0	169	286	4 639
11	Junín	1 674	1 162	22	195	235	3 288
12	La Libertad	2 728	1 578	38	513	1 206	6 063
13	Lambayeque	1 182	1 150	-	317	12	2 661
14	Lima y Callao	2 135	14 196	-	3 549	332	20 212
15	Loreto	706	287	949	133	0	2 076
16	Madre de Dios	86	222	-	24	27	358
17	Moquegua	121	686	0	28	883	1 718
18	Pasco	408	419	2	34	164	1 026
19	Piura	2 000	1 723	1	360	154	4 238
20	Puno	1 178	1 082	0	310	469	3 039
21	San Martín	2 371	617	-	84	10	3 082
22	Tacna	271	714	-	56	833	1 875
23	Tumbes	221	240	1	38	0	500
24	Ucayali	488	445	124	96	0	1 154

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la flota estimada de maquinaria en Lima y Callao asciende a 20.212 unidades, siendo el sector predominante el de construcción con un 70%, seguido del sector industria (17,56%), como se puede apreciar en la tabla 10.

Tabla 10. Flota de maquinaria en Lima y Callao

Rubro	Cantidad de maquinaria	Participación en la flota de Lima y Callao
Agricultura	2 135	10,56%
Construcción	14 196	70,24%
Forestal	0	0,00%
Industria	3 549	17,56%
Minería	3 32	1,64%

Fuente: Elaboración propia.

## II. INVENTARIO DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL

Esta segunda sección del documento describe la metodología, el proceso de elaboración y supuestos y los resultados del inventario de flota de maquinaria móvil a nivel nacional y a nivel Lima – Callao.

---

### 1. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración del Inventario de emisiones de maquinaria se ha adaptado a partir de la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (Cálculo de emisiones del inventario) elaborado por el Programa CALAC+ (2020b).

Cabe señalar que esta guía fue elaborada en base a la revisión de las metodologías presentadas en los documentos: Reportes técnicos de del modelo de emisiones MOVES<sup>3</sup> de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA); CORINAIR de la Unión Europea (UE), definida en el documento “EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016” [CORINAIR 2016] y el “Non-road energy consumption and pollutant emissions” de la Oficina de Medioambiente de Suiza (FOEN).

---

### 2. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES

Esta sección del documento describe el proceso de elaboración del inventario de emisiones de Maquinaria Móvil No de Carretera. El objetivo de esta sección es describir los principales fundamentos y antecedentes para estimación de emisiones de las referidas fuentes. Al igual que la primera sección, también se basa en una Guía del Programa CALAC+, en este caso en la “Guía metodológica para la estimación de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera”.

La base para elaborar el inventario de emisiones es el inventario de flota de maquinaria, cubierto en la primera sección de este documento. A su vez, esta información ha sido ingresada en la hoja de cálculo de la “Herramienta y análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración a Normas de Emisiones para Maquinaria Móvil No de Carretera (Non-Road)” (en adelante, **HEMAQ**). Esta herramienta Excel se puede descargar del siguiente enlace: <https://drive.google.com/drive/folders/1IbA2m7LUq6DxujHqDMpol57ydwXHPvx3?usp=sharing> y permite evaluar las emisiones en el año base 2016 bajo los supuestos y metodología descrita en el siguiente numeral.

---

#### 2.1. Definición del alcance

El alcance del inventario de emisiones que recoge la Guía de Inventario de Emisiones (Programa CALAC+, 2020b), hace referencia a las características mencionadas en el Cuadro 8.

---

<sup>3</sup> 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.

Cuadro 9. Alcance del inventario de emisiones de maquinaria

Alcance	Descripción
<b>Contaminantes atmosféricos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material particulado de hasta 10 micrómetros de diámetro (PM10)</li> <li>• Material particulado de hasta 2,5 micrómetros de diámetro (PM2,5)</li> <li>• Monóxido de carbono (CO)</li> <li>• Hidrocarburos (HC)</li> <li>• Óxidos de nitrógeno (NOx)</li> </ul> <p>Además, se incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dióxido de carbono (CO2)</li> <li>• Carbono Negro (BC o Black Carbon)</li> <li>• Consumo de combustible</li> </ul>
<b>Año base</b>	2016
<b>Combustible</b>	Diésel
<b>Maquinaria Móvil No de Carretera</b>	<u>Incluye:</u> Máquina móvil no de carretera, con motores de encendido por compresión (Diésel), de régimen variable, destinados a los rubros de la construcción, minería, agricultura, forestal e industria, aptos para desplazarse sobre el suelo.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Metodología de cálculo emisiones

La Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b) propone que la estimación de emisiones se calcule a partir del nivel de actividad en horas anuales de uso y su tasa de emisión. A tal fin, se requiere segmentar la flota de maquinaria según determinados atributos técnicos que se describen en el cuadro a continuación.

Cuadro 10. Atributos técnicos para la caracterización de las emisiones de la flota.

Atributo	Descripción	Acrónimo
Rango de Potencia	Rango de potencia al que pertenece la maquinaria según su potencia nominal del motor en [kW]. Se caracteriza la flota en rangos de potencia normalizados según EPA (2008).	<i>Rpot</i>
Tipo de Motor	Se define según el tipo de encendido: por chispa (Otto) o por compresión (Diésel). También según el tipo de combustible (gasolina, GNC/GLP, Diésel). Para los motores encendidos por chispa se subclasifican en dos o cuatro tiempos. Para el alcance de estudio se consideran sólo los motores Diésel. Esta tipificación es una de las que caracteriza, el estándar de emisiones aplicable y por ende también la tasa de emisión o factor de emisión por contaminante.	<i>Mtip</i>

Tipo de Maquinaria o Equipo	El tipo de maquinaria (o equipo), corresponde a las tipologías estandarizadas en la metodología EPA y detallada en la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE MAQUINARIA MOVIL NO DE CARRETERA de CALAC+ que es consistente con EPA (2005).	<i>Etip</i>
Nivel de Emisiones	El Nivel de Emisiones es como caracterizamos la tecnología de control de emisiones que a su vez determina las tasas de emisión del contaminante, conforme el cumplimiento de alguna (o ninguna), norma o estándar de emisiones. Para aquellos equipos de origen europeo corresponde a las normas definidas en EPA (2014b).	<i>Eniv</i>
Edad	La edad de la maquinaria se determina a partir de la distribución de la flota por año de fabricación y se relaciona con aspectos tales como el factor de deterioro o desgaste.	<i>Edad</i>

Fuente: Adaptada de Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

El cálculo de emisiones se realiza para cada grupo de maquinaria que comparta los mismos atributos técnicos, es decir que tenga los mismos subsegmentos (*sub*). Se asume que estos grupos de maquinaria tienen comportamientos de emisiones y niveles de actividad equivalentes.

Una vez generados los grupos de maquinaria que comparten características comunes, las emisiones se estiman de acuerdo a la expresión de la Ecuación 1:

Ecuación 1:

$$E_i = \sum_{sub} [N_{sub} \cdot NA_{sub} \cdot Pot_{sub} \cdot FC_{sub} \cdot (FE_{sub,i} \cdot FAT_{sub,i} \cdot FD_{sub,i} - SMP_{sub,i})]$$

Dónde:

*Sub*: Índice que señala al subsegmento de la flota con iguales atributos técnicos: rango de potencia, tipo de motor, tipo de maquinaria, nivel de emisiones y edad.

*E<sub>i</sub>*: Emisiones para el subsegmento *sub* de la flota, para el contaminante *i* durante el período de cálculo del inventario (típicamente un año), en [g].

*N<sub>sub</sub>*: Población o parque en unidades de equipos del subsegmento *sub* de la flota.

*NA<sub>sub</sub>*: Nivel de Actividad por máquina en horas de uso al año [hr], para los equipos del subsegmento *sub* de la flota.

*Pot<sub>sub</sub>*: Potencia nominal promedio del motor en [kW], para la población en el rango de potencias del subsegmento *sub*.

*FC<sub>sub</sub>*: Factor de carga representativo de las condiciones de operación de la flota del subsegmento *sub*. Representa la fracción de la potencia nominal del motor, a la que típicamente opera la maquinaria (adimensional).

$FE_{sub,i}$ : Factor de emisión del contaminante  $i$  del equipo nuevo (hora cero), para cualquier unidad del subsegmento  $sub$ , operando en estado estacionario. Representa la tasa de emisiones en gramos por unidad de trabajo, [g/kW-hr].

$FAT_{sub,i}$ : Factor de ajuste transitorio del factor de emisión en estado estacionario  $FE_{sub,i}$  de los equipos del subsegmento  $sub$ , para ajustar las emisiones del motor desde la operación estacionaria a la operación transitoria<sup>3</sup>, (adimensional).

$FD_{sub,i}$ : Factor de deterioro, representa el ajuste del factor de emisiones del contaminante  $i$ , por el envejecimiento o deterioro del motor y los sistemas de control de emisiones de los equipos del subsegmento  $sub$ , (adimensional).

$SMP_{sub,i}$ : Ajuste o descuento de masa de MP por variación del contenido de azufre en el combustible respecto de los valores de azufre del combustible de certificación utilizado para la medición de  $FE_{sub,i}$ . Para otros contaminantes distintos del MP  $SMP = 0$ . Se expresa en [g/kW-hr].

A continuación, se presenta una descripción detallada de los parámetros presentados en la ecuación anterior.

#### FACTOR DE EMISIÓN ESTADO ESTACIONARIO PARA EQUIPO NUEVO

La tasa de emisión que se expresa en la Ecuación 1, como Factor de Emisión de Equipo Nuevo, representa la condición de emisión del motor al momento de la certificación de emisiones con cero horas de uso. Esto es que todos los motores certificados para algún estándar de emisiones, conforme Eniv, han debido acreditarlo con mediciones de sus emisiones de escape y del consumo de combustible, bajo un ciclo de operación estacionaria, es decir en un conjunto de puntos de operación de torque y velocidad del motor constantes. Los ciclos para dicha certificación están regulados en la norma ISO DP 8178, y el ciclo particular utilizado depende del tipo de aplicación del motor. Por ejemplo, para MMNC se utilizan los ciclos C1 y C2 como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Puntos de operación estacionarios ciclo ISO DP 8178

Torque, %	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0
RPM	Velocidad Nominal					Velocidad Intermedia					Ralentí
Vehículos No de Carretera (factor de ponderación de cada punto de operación en el resultado final de emisiones)											
Tipo C1	0.15	0.15	0.15	-	0.10	0.10	0.10	0.10	-	-	0.15
Tipo C2	-	-	-	0.06	-	0.02	0.05	0.32	0.30	0.10	0.15

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

A su vez los estándares de emisión que debe cumplir la maquinaria en la certificación de emisiones, y que definen los niveles tecnológicos según Eniv, se han establecido conforme rango de potencia del motor, por lo que finalmente los factores de emisión son dependientes de los atributos Eniv y Rpot. Para representar este valor de  $FE_{sub,i}$  los modelos de referencia utilizan el valor de certificación directamente medido (EPA), agrupados según subsegmentos Eniv y Rpot, o el estándar de emisión correspondiente (COPERT), pudiendo también definir algún valor intermedio. Los valores que se presentan en el cuadro 12 corresponden a los definidos por el modelo de la EPA, el que considera los valores de certificación, con excepción de las tecnologías anteriores a la implementación de estándares de emisión, para las que considera valores disponibles de otras mediciones realizadas. Otros valores de FE por nivel de emisiones y rango de potencia, se pueden encontrar en CORINAIR (2016).

**Cuadro 12. Factor de emisión equipo nuevo y consumo de combustible**

Potencia Motor [kW]	Estándar de Emisiones	BSFC [g/kW- hr]	Factor de Emisión [g/kW-hr]			
			HC	CO	NOx	PM
>18 A 37	Tier 0	246	2.4138	6.7051	9.2531	1.0728
	Tier 1		0.3740	2.0548	6.3402	0.4545
	Tier 2		0.3740	2.0548	6.3402	0.4545
	Tier 4IA		0.5632	1.8412	5.2367	0.2159
	Tier 4FA		0.1824	0.5471	3.7039	0.0362
	Tier 4FC		0.0241	0.0630	2.9288	0.0013
>37 A 56	Tier 0	246	1.3276	4.6802	9.2531	0.9682
	Tier 1		0.6987	3.1729	7.5084	0.6343
	Tier 2		0.4922	3.1729	6.3028	0.3218
	Tier 4IA		0.2374	1.3115	4.0633	0.1998
	Tier 4FA		0.0992	0.3581	3.7374	0.0322
	Tier 4FC		0.0241	0.0738	2.9744	0.0013
>56 A 75	Tier 0	246	1.3276	4.6802	9.2531	0.9682
	Tier 1		0.6987	3.1729	7.5084	0.6343
	Tier 2		0.4922	3.1729	6.3028	0.3218
	Tier 3B		0.2467	3.1729	4.0231	0.2682
	Tier 4IA		0.1167	0.5257	3.3807	0.1542
	Tier 4IC		0.0094	0.0362	2.6217	0.0094
	Tier 4FA		0.1006	1.7997	4.3905	0.2494
	Tier 4FB		0.0161	0.1354	0.1824	0.0201
	Tier 4FC		0.0000	0.0000	2.7679	0.0094
	Tier 4FD		0.0107	0.0000	0.1220	0.0000
>75 A 130	Tier 0	221	0.9119	3.6208	11.2378	0.5391
	Tier 1		0.4533	1.1627	7.5795	0.3755
	Tier 2		0.4533	1.1627	5.4982	0.2414
	Tier 3		0.2467	1.1627	3.3526	0.2950
	Tier 4IA		0.0469	0.2682	2.6499	0.0443
	Tier 4IB		0.0228	0.3513	2.7209	0.0148
	Tier 4IC		0.0040	0.0121	2.5318	0.0054
	Tier 4ID		0.0094	0.1006	0.3004	0.0000
	Tier 4FB		0.0094	0.0697	0.1931	0.0148
	Tier 4FC		0.0040	0.0054	2.4514	0.0027
	Tier 4FD		0.0134	0.0308	0.1287	0.0013
	>130 A 225		Tier 0	221	0.9119	3.6208
Tier 1		0.4144	1.0031		7.4789	0.3379
Tier 2		0.4144	1.0031		5.3641	0.1770
Tier 3		0.2467	1.0031		3.3526	0.2012
Tier 4IA		0.1529	2.2020		3.3083	0.1448
Tier 4IB		0.0107	0.3312		1.4751	0.0148
Tier 4IC		0.0148	0.0697		1.4966	0.0013
Tier 4ID		0.0375	0.0000		0.1475	0.0094
Tier 4FB		0.0107	0.0268		0.1985	0.0121
Tier 4FC		0.0148	0.2870		1.5462	0.0000
Tier 4FD		0.0134	0.0201		0.1059	0.0027
>225 to 450	Tier 0	221	0.9119	3.6208	11.2378	0.5391
	Tier 1		0.2722	1.7514	8.0662	0.2695

Notas: Los valores originales en HP fueron transformados por su equivalencia en kW (1HP=0,745kW).

Tier 4I = Tier 4 Interim; Tier 4F = Tier 4 Final; Tipos de tecnología Tier 4/Tier 3:

Índice	DPF	SCR
A	No	No
B	No	Si
C	Si	No
D	Si	Si

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

### Factores de Emisiones del cárter HC

Las emisiones del cárter son aquellas emisiones que se escapan de la cámara de combustión más allá de los anillos de pistón, en el cárter. Para los motores diésel con cárteres con ventilación a la atmósfera el factor de emisión de HC del cárter es igual al 2.0% del factor de emisión de HC a la salida del escape, incluido el deterioro. Esto es válido para todos los motores Tier 3 y anteriores. Para motores Tier 4, se supone las emisiones del cárter igual a cero.

### Fracción de MP2,5 y de Carbono Negro (BC)

Los factores de emisión entregados en la Tabla 4 son para calcular el MP de 10 micras o menos de diámetro. [EPA2014b] considera un ajuste de 0.97 que se aplica a todos los valores de MP,

para transformar a emisiones de MP2.5 (menores a 2.5 micras). Esto es que sólo una pequeña fracción de 0.03 del MP es mayor a 2.5 micrones. A su vez, para transformar los factores de emisión de MP a BC, ya que en la metodología [MOVES2014] no se encuentra indicada la fracción de BC en el MP, se pueden utilizar las fracciones reportadas en [CORINAIR 2016] que se indican en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Fracción de Carbono Negro en el MP de motores No de Carretera

Tecnología	Diesel < 130 kW		Diesel ≥ 130 kW	
	f-BC	+/- (%)	f-BC	+/- (%)
<1981	0.55	10	0.50	20
1981-1990	0.55	10	0.50	20
1991-Stage I	0.55	10	0.50	20
Stage I	0.80	10	0.70	20
Stage II	0.80	10	0.70	20
Stage IIIA	0.80	10	0.70	20
Stage IIIB, no DPF	0.80	50	0.70	20
Stage IIIB, DPF	0.15	50	0.15	20
Stage IV, no DPF	0.80	50	0.70	30
Stage IV, DPF	0.15	50	0.15	30
Stage V	0.15	50	0.15	30

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

### Factor de Emisión del CO<sub>2</sub>

El factor de emisión de CO<sub>2</sub>, por lo general es calculado en base al consumo específico de combustible al freno (BSFC). A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de dicho factor de emisión:

Ecuación 2:

$$FE_{CO_2} = (BSFC - FE_{HC}) \cdot 0.87 \cdot (44/12)$$

Dónde:

*FE<sub>CO2</sub>* : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> en [g/kW-hr].

*BSFC* : Consumo de combustible por unidad de trabajo erogado por el motor al eje (Break Specific Fuel Consumption), en [g/kW-hr], calculado durante el ciclo de certificación.

*FE<sub>HC</sub>* : Factor de emisión de HC en [g/kW-hr] (Ver valores en Tabla 4).

- 0.87 : Fracción en masa de carbono en el diésel.  
44/12 : Proporción entre la masa del CO<sub>2</sub> y su masa de carbono.

## NIVEL DE ACTIVIDAD

El nivel de actividad del parque de la maquinaria No de Carretera es un parámetro importante en el cálculo de las emisiones y corresponde en general a condiciones locales del uso que se le da a la maquinaria. No obstante, en ausencia de estadísticas locales sobre este parámetro, se pueden considerar los niveles de actividad reportados en el documento [EPA2008]. Como se verá en el cuadro 14 el nivel de actividad se considera función del tipo de maquinaria.

Cuadro 14. Nivel de actividad por tipo de maquinaria.

Tipo de maquinaria	NA [Hrs/año]
Asfaltadora	821
Barredoras	1 220
Bulldozer	899
Camiones Fuera de Carretera	1 641
Cargador de troncos	1 276
Cargador Frontal	761
Cosechadora Agricultura	110
Dumper	566
Excavadoras	1 092
Grúa Horquilla	1 700
Grúa horquilla todo terreno	662
Grúa telescópica	990
Manipulador	878
Minicargadoras	818
Miniexcavadoras	818
Motoniveladoras	962
Otro Equipo Agrícola	381
Otro equipo de construcción	606
Otro Equipo Para Minería Subterránea	1 533
Perforador	466
Plataforma telescópica	384
Quitanieve	40
Retroexcavadora	1 135
Rodillos	760
Tractores no agrícolas	1 135
Tractores agrícolas y forestal	475
Zanjadoras	593

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

Existen antecedentes que indica que el Nivel de Actividad puede ser decreciente con la edad de los equipos. En este sentido [FOEN2015], propone, para el caso específico de Suiza, una corrección por edad de la flota. No obstante, por no existir información local al respecto, esta guía adopta el criterio de la EPA, de no hacer correcciones por antigüedad.

## FACTOR DE CARGA

El Factor de Carga (*FC*), representa la fracción de la potencia nominal del motor, a la que típicamente opera la maquinaria. Esto es que el motor sólo ocasionalmente es exigido hasta su potencia máxima (potencia nominal) y en general está operando a una fracción de dicha potencia. El valor promedio de esta fracción es el factor de carga. Se entiende que el consumo de energía total del parque expresado en [*kW-h*] es igual a la población total (*N*) multiplicada por la potencia media de uso (*Pot·FC*), multiplicado a su vez por las horas de uso de cada unidad

o nivel de actividad ( $NA$ ), de donde se desprende que el factor de carga es la fracción de la energía consumida por la población de maquinaria respecto de su uso a plena carga, como se indica en la siguiente expresión:

Ecuación 3:

$$W = \sum_{sub} N_{sub} \cdot NA_{sub} \cdot Pot_{sub} \cdot FC_{sub}$$

Dónde:

El subíndice  $sub$  designa a la flota perteneciente al subsegmento  $sub$ , que cuenta con idénticos valores de nivel de actividad, rango de potencia y factor de carga.

El factor de carga es un parámetro sumamente variable ya que depende del ciclo de trabajo real de la maquinaria, cuestión que a su vez depende del operador y del tipo de trabajo a desarrollar. La EPA entrega valores para  $FC$  según tipo de maquinaria, para las condiciones de uso de Estados Unidos. En el cuadro 15 se presentan dichos valores, homologados a los tipos de maquinaria considerados en la Guía desarrollada por CALAC+.

Cuadro 15. Factor de carga.

Tipo de maquinaria	Factor de Carga
Asfaltadora	0.59
Barredoras	0.43
Bulldozer	0.59
Camiones Fuera de Carretera	0.59
Cargador de troncos	0.59
Cargador Frontal	0.59
Cosechadora Agricultura	0.59
Dumper	0.21
Excavadoras	0.59
Grúa Horquilla	0.59
Grúa horquilla todo terreno	0.59
Grúa telescópica	0.43
Manipulador	0.43
Minicargadoras	0.21
Miniexcavadoras	0.21
Motoniveladoras	0.59
Otro Equipo Agrícola	0.59
Otro equipo de construcción	0.59
Otro Equipo Para Minería Subterránea	0.21
Perforador	0.43
Plataforma telescópica	0.21
Quitanieve	0.34
Retroexcavadora	0.21
Rodillos	0.59
Tractores no agrícolas	0.21
Tractores agrícolas y forestal	0.59
Zanjadoras	0.59

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

#### FACTOR DE DETERIORO

El deterioro es el incremento de las emisiones del motor que se produce con el uso y se representa con un factor ( $FD_{sub,i}$ ), que corrige el factor de emisiones de hora cero del motor ( $FE_{sub,i}$ ), correspondientes al subsegmento  $sub$  y al contaminante  $i$ .

Para el presente modelo de emisiones el factor de deterioro se representa como sigue:

Ecuación 4:

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i} \cdot (\text{Factor Edad}_{sub})^b; \text{ Si Factor Edad}_{sub} \leq 1$$

Ecuación 5:

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i}; \text{ Si Factor Edad}_{sub} > 1$$

Dónde:

$A_{sub,i}$  : Para cada contaminante  $i$  es una constante definida para todos los equipos que pertenecen al subsegmento con idéntico estándar de emisiones **Eniv**. En términos porcentuales ( $A \cdot 100$ ), esta constante representa el porcentaje máximo de incremento de las emisiones por deterioro, al cumplirse la vida media del motor.

$b$  : Constante, para vehículos diésel se considera deterioro lineal en el tiempo de uso, por lo que  $b=1$ .

**Factor Edad<sub>sub</sub>**: Fracción de la vida media en la que se encuentran todas las unidades que pertenecen al mismo subsegmento. Se calcula como el cociente entre las horas acumuladas en operación del motor a carga completa (potencia nominal) y la vida media<sup>6</sup> del motor.

Ecuación 6:

$$\text{Factor Edad}_{sub} = \frac{(\text{Edad} \cdot N_{sub} \cdot FC_{sub})}{\text{Vida Media}_{sub}}$$

El Factor Edad es la fracción de horas de uso equivalentes a plena carga, acumuladas por el subsegmento de equipos con la misma edad, nivel anual de actividad y factor de carga, dividido por la vida media correspondiente. La Vida Media se entiende como el periodo de tiempo en horas de uso a plena carga del motor (factor de carga= 1 o 100%), para el cual el 50% de la maquinaria es chatarra.

La EPA cuenta con valores para los factores A y Vida Media, que dependen del contaminante  $i$  y del estándar de emisiones **Eniv**, para el primero, y del rango de potencia del motor  $R_{pot}$ , para el segundo. Se presentan los valores dichos factores en los cuadros 16 y 17.

Cuadro 16. Valores del coeficiente A

Contaminante	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3+
HC	0.047	0.036	0.034	0.027
CO	0.185	0.101	0.101	0.151
NOx	0.024	0.024	0.009	0.008
MP	0.473	0.473	0.473	0.473

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

Cuadro 17. Vida media según potencia de motor diésel

Potencia (kW)	Vida Media (Hrs)
>19 - 37	2.500
>37 - 75	4.667
>75 - 130	4.667
>130 - 225	4.667
>225 - 450	7.000
>450 - 560	7.000
> 560	7.000

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

## FACTOR DE AJUSTE TRANSITORIO

Como dicho anteriormente los factores de emisión y el consumo específico de combustible (BSFC), para motores de maquinaria No de Carretera, se obtienen a partir de las pruebas de estado estacionario durante el proceso de certificación de emisiones. Sin embargo, la operación de estado estacionario no siempre es representativa de las condiciones de operación real de la maquinaria. Las diferencias se deben a la carga, la velocidad y demandas transitorias del motor. La EPA aplica "factores de ajuste transitorio" (*FAT*), a los factores de emisión de estado estacionario antes descritos (*FEi*). El *FAT* se aplica a los factores de emisiones de los estándares de emisión *Tier 0*, *Tier 1*, *Tier 2* y *Tier 3*. Para *Tier 4*, los factores de emisiones de certificación ya incluyen la medición bajo un ciclo transitorio (Non Road Transient Cycle, NRTC), por lo que para este caso se aplica un *FAT* de 1. Los factores de ajuste por operación transitoria pueden ser mayores o menores que 1.

Dado que el *FAT* depende de la condición de operación del motor y de la tecnología de este, la EPA entrega valores de este factor por tipo de maquinaria (*Etip*), estándar de emisiones (*Nemi*) y contaminante *i* como se puede ver en el cuadro 18.

Cuadro 18. Factor de Ajuste Transitorio por tipología

Tipología	HC	CO	NOx		MP		BSFC
	T0-T3	T0-T3	T0-T2	T3	T0-T2	T3	T0-T3
Asfaltadora	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Barredoras / Depuradores	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Bulldozer (1)	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Camiones Fuera de Carretera	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Cargador de Troncos (2)	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Cargador Frontal (3)	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Cosechadora (4)	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Dumper	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
Excavadoras	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Grúa Horquilla	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Grúa Horquilla Todo Terreno (5)	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Grúas Telescopicas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Manipulador (6)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mini-cargadoras (7)	2.29	2.57	1.1	1.21	1.97	2.37	1.18
Mini-excavadora (7)	2.29	2.57	1.1	1.21	1.97	2.37	1.18
Motoniveladoras	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Otro Equipo Agrícola	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Otro equipo de construcción	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Otro Equipo Para Minería Subterránea	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
Perforadora / Taladro	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Plataforma Telescópica <sup>(8)</sup>	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
Quitanieve <sup>(9)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Retroexcavadora <sup>(10)</sup>	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Rodillos	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Tractor no agrícola <sup>(10)</sup>	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Tractores agrícolas	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
Zanjadora <sup>(11)</sup>	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01

Notas: T0=Sin Norma; T0-T3=Tier0 hasta Tier3; T0-T2: Sin Norma hasta Tier2, etc. (1) Homologado con el término "Rubber Tire Dozers". (2) Homologado con el término "Logging Equip Fell/Bunch/Skidlers". (3) Homologado con el término "Rubber Tire Loaders". (4) Homologado con el término "Swather". (5) Homologado con el término "Rough Terrain Forklifts". (6) Homologado con el término "Other General Industrial Equipment". (7) Homologado con el término "Skid Steer Loaders". (8) Homologado con el

término “Aerial Lifts”. (9) Homologado con el término “Snowmobiles”. (10) Homologado con el término “Tractors/Loaders/Backhoes”. (11) Homologado con el término “Trenchers”.

Fuente: Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b).

## AJUSTE POR AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE

Este factor aditivo ajusta el valor de  $FE_i$  para el contaminante MP, por la variación del contenido de azufre en el combustible comercial que los equipos usan durante su operación en terreno respecto del contenido de azufre del combustible de certificación que se utiliza para obtener los valores de  $FE_i$  de los equipos nuevos. El azufre contribuye en la medición de la masa del MP ya que una fracción ( $soxcnv$ ), del azufre consumido como parte del combustible en el motor se transforma en MP, bajo la forma de sulfatos, que pesan 7 lo que al azufre<sup>7</sup>. De esta forma la expresión para el ajuste por contenido de azufre ( $SMP$ ), tiene la siguiente forma:

Ecuación 7:

$$SMP = BSFC \cdot FAT \cdot 7.0 \cdot soxcnv \cdot 0.01 \cdot (soxbas - soxdsl)$$

Dónde:

$BSFC$  : Consumo específico de Combustible al Freno, [g/kW-hr]

$FAT$  : Factor de ajuste transitorio para el consumo específico BSFC

$7.0$  : Gramos de sulfato de MP / gramos de azufre en MP

$soxcnv$ <sup>8</sup> : Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible Consumido.

$0.01$  : Conversión de porcentaje a fracción

$soxbas$ <sup>9</sup> : Contenido de azufre usado en el combustible de Certificación [%].

$soxdsl$ <sup>10</sup> : Contenido de Azufre en el Combustible de Evaluación [%].

La Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Maquinaria Móvil no de Carretera (CALAC+ 2020b) recomienda buscar valores locales representativos para cada una de las variables descritas en la sección 2.2, o validar estos valores de referencias bibliográficas con expertos en los sectores. Sin embargo, en la medida que este es un primero inventario, en su mayoría se han asumido valores internacionales o adaptaciones de los mismos, los cuales han sido incluidos en la herramienta HEMAQ desarrollada por CALAC+.

---

### 2.3. Proyección de la población de maquinaria no de carretera

---

Conforme la metodología presentada hasta aquí, para poder proyectar el inventario de las emisiones futuras de la maquinaria No de Carretera, es necesario, de acuerdo con la Ecuación 1, proyectar el nivel de actividad y los factores de emisión correspondientes. En cuanto a la proyección de los factores de emisión futuros, estos dependerán de los futuros estándares de emisión que defina la legislación en cada país. Por tanto, esta componente de la proyección corresponde a los gobiernos. Dado lo anterior queda pendiente la proyección del nivel de actividad, para el que se utiliza como indicador directamente el crecimiento de la población de la maquinaria asumiendo que los niveles de actividad por tipo de maquinaria son constantes en el tiempo.

Para las proyecciones del crecimiento de la población, la metodología EPA ha optado por las tendencias del mercado basándose en el crecimiento histórico de la población de los equipos No de Carretera.

### 3. RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL

Los resultados del inventario nacional se han obtenido utilizando la herramienta HEMAQ. Esta herramienta tiene entre sus funciones, estimar una línea base según la flota de maquinaria que se ingrese a la herramienta. A fines de este inventario de emisiones, HEMAQ ya integra los resultados del inventario de flota de maquinaria importada al país entre los años 2000 y 2016. Esto quiere decir que para futuras actualizaciones del inventario se podrá integrar los datos consolidados de la flota de los años subsiguientes al 2016.

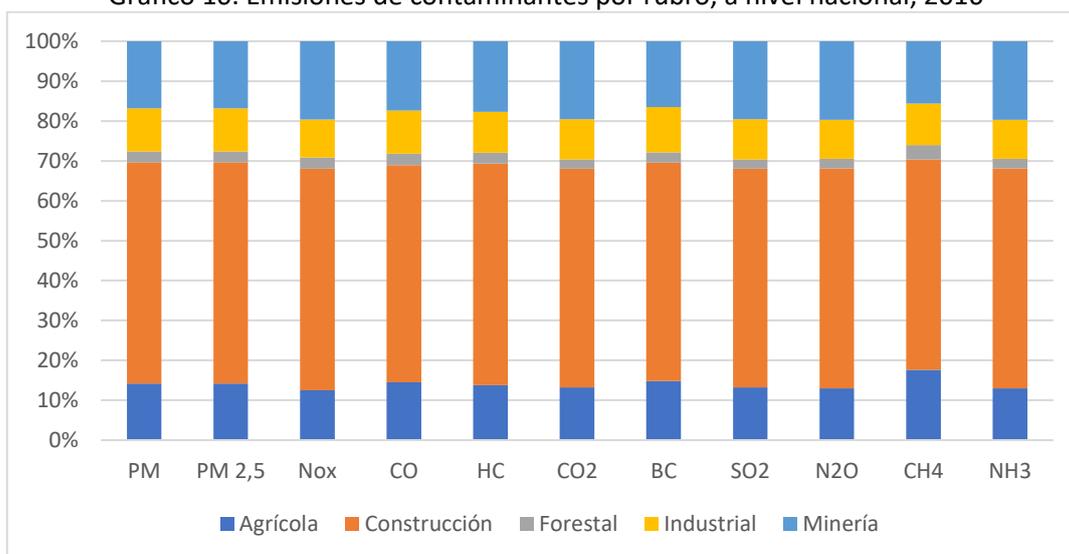
La herramienta HEMAQ puede descargar desde este enlace: <https://drive.google.com/file/d/11nNLVmZVg13UuLVw0Sb57ZNZX2Hwc4Jq/view?usp=sharing>

En los siguientes puntos se presentan los resultados que se obtienen para las emisiones de acuerdo a su rubro y tipología.

#### 3.1. Emisiones por rubro de maquinaria

Las emisiones estimadas para los contaminantes contemplados por la herramienta HEMAQ arrojan que el sector construcción es el que tiene mayor contribución, con alrededor del 55% seguido del sector minería con un aproximado de 18% de contribución.

Gráfico 10. Emisiones de contaminantes por rubro, a nivel nacional, 2016



Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

Tabla 11. Emisiones de contaminantes (toneladas) por rubro, a nivel nacional, 2016

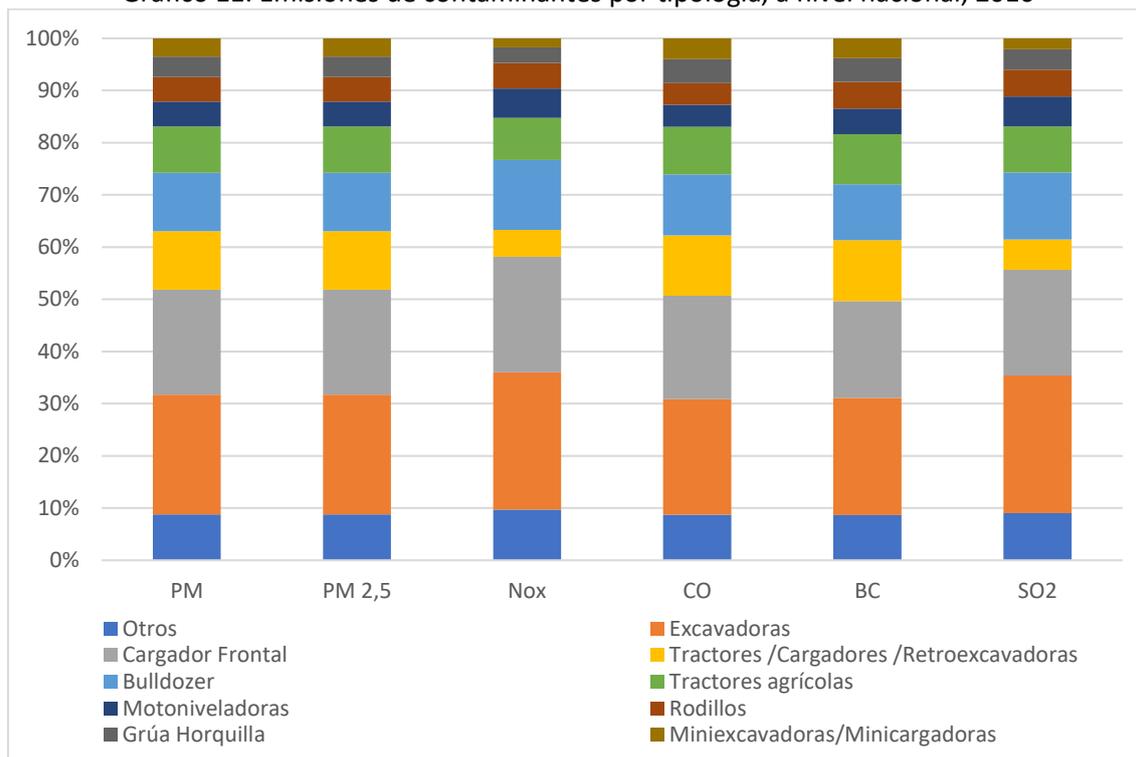
Rubro	PM	PM 2,5	Nox	CO	HC	CO2	BC	SO2	N2O	CH4	NH3
Agrícola	299,9	290,9	3509,6	2000,8	365,7	343358,1	198,7	10,5	15,8	7,7	0,9
Construcción	1175,6	1140,3	15632,6	7484,1	1474,1	1427979,6	735,2	43,8	67,1	23,1	3,8
Forestal	57,7	56,0	788,8	400,7	71,9	62002,5	34,1	1,9	3,0	1,5	0,2
Industrial	229,7	222,8	2688,9	1488,8	270,7	260569,6	152,0	8,0	11,9	4,6	0,7
Minería	355,9	345,3	5517,0	2392,2	470,4	509877,4	221,8	15,6	23,9	6,9	1,4
Total	2118,9	2055,3	28136,9	13766,6	2652,7	2603787,3	1341,8	79,8	121,6	43,8	6,9

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

### 3.2. Emisiones por tipología de maquinaria

Las emisiones estimadas para los contaminantes criterio PM, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Carbono negro (BC) y SO<sub>2</sub> indican que las maquinarias con mayor participación en el inventario de emisiones son las excavadoras y los cargadores frontales, con un promedio de contribución de 24,5% y 20,0% respectivamente.

Gráfico 11. Emisiones de contaminantes por tipología, a nivel nacional, 2016



Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

Tabla 12. Emisiones de contaminantes (toneladas) por tipología, a nivel nacional, 2016

Tipología	PM	PM 2,5	NOx	CO	BC	SO2
Bulldozer	225,2	218,4	3699,8	1578,9	136,1	10,3
Cargador de troncos	30,4	29,4	395,1	217,6	17,6	0,9
Cargador Frontal	410,9	398,6	6184,1	2691,6	239,7	16,2
Cosechadora	9,1	8,8	137,5	75,5	6,5	0,4
Dumper	6,0	5,8	64,1	46,5	3,8	0,2
Excavadoras	473,9	459,7	7397,6	2979,2	296,3	21,0
Grúa Horquilla	97,3	94,3	894,5	643,7	71,5	3,2
Grúas telescópicas	38,2	37,1	735,3	227,4	21,1	1,7
Miniexcavadoras/Minicargadoras	79,8	77,4	498,3	574,4	54,2	1,7
Motoniveladoras	98,5	95,5	1562,1	553,1	64,0	4,6
Mototralla	3,1	3,0	42,0	21,1	1,7	0,1
Otro equipo de construcción	1,9	1,8	46,7	15,7	1,2	0,2
Otro equipo industrial	4,2	4,1	62,8	24,0	2,9	0,2
Otro Equipo Para Minería Subterránea	52,5	50,9	584,8	315,2	34,6	1,8

Perforador	23,7	23,0	527,5	142,1	15,7	1,4
Plataforma telescópica	0,7	0,7	4,9	5,6	0,5	0,0
Rodillos	98,8	95,9	1389,5	584,2	67,8	4,1
Tractores /Cargadores /Retroexcavadoras	250,8	243,3	1463,7	1652,2	163,0	4,6
Tractores agrícolas	193,0	187,3	2311,5	1281,1	131,2	7,1
Tractores de 2 ruedas	20,9	20,2	135,1	137,4	12,1	0,4
<b>Total</b>	<b>2118,9</b>	<b>2055,3</b>	<b>28136,9</b>	<b>13766,6</b>	<b>1341,8</b>	<b>79,8</b>

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

---

## 4. RESULTADOS DEL INVENTARIO A NIVEL DE LIMA Y CALLAO

---

Los resultados del inventario de emisiones a nivel de Lima y Callao, se han obtenido a través de la asignación geográfica, desarrollada en el punto 4 de la sección I de este inventario.

Así, en base a indicaciones económicos y sociales por cada rubro se escalan las emisiones nacionales a emisiones locales. Este escalamiento está integrado en la herramienta HEMAQ.

En el siguiente punto se presentan los resultados que se obtienen para las emisiones de acuerdo a su rubro.

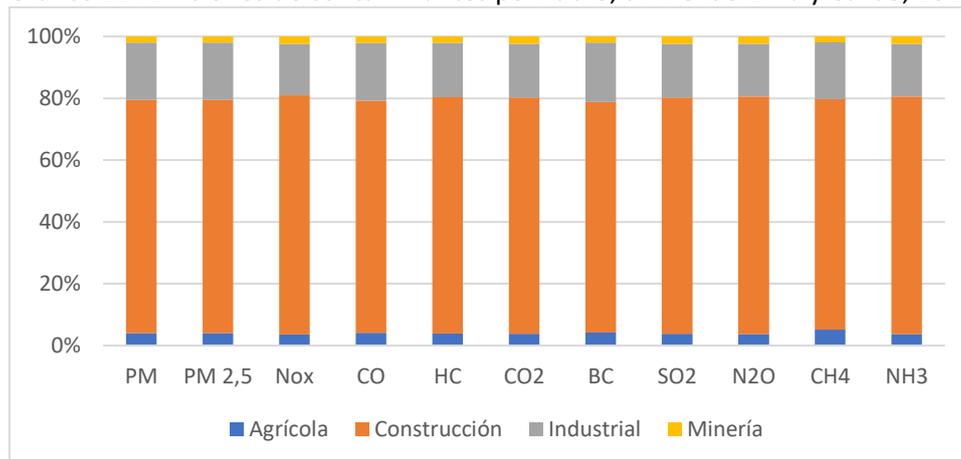
---

### 4.1. Emisiones por rubro de maquinaria

---

Las emisiones estimadas para los contaminantes contemplados por la herramienta HEMAQ arrojan que el sector construcción es el que tiene mayor contribución, con alrededor del 76% seguido del sector industria con un aproximado de 18% de contribución. Cabe mencionar que en Lima y Callao no se asignó maquinaria en el rubro forestal.

Gráfico 12. Emisiones de contaminantes por rubro, a nivel de Lima y Callao, 2016



Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

Tabla 13. Emisiones de contaminantes (toneladas) por rubro, a nivel de Lima y Callao, 2016

Rubro	PM	PM 2,5	Nox	CO	HC	CO2	BC	SO2	N2O	CH4	NH3
Agrícola	24,6	23,9	288,3	164,3	30,0	28202,2	16,3	0,9	1,3	0,6	0,1
Construcción	462,4	448,6	6149,2	2943,9	579,8	561702,9	289,2	17,2	26,4	9,1	1,5
Industrial	112,9	109,5	1321,9	731,9	133,1	128096,2	74,7	3,9	5,8	2,2	0,3
Minería	12,1	11,7	187,7	81,4	16,0	17349,7	7,5	0,5	0,8	0,2	0,0
Total	612,1	593,7	7947,0	3921,6	758,9	735350,9	387,8	22,5	34,3	12,2	2,0

Fuente: Elaboración propia, en base a resultados de la herramienta HEMAQ.

### III. CONCLUSIONES

- Si bien el Perú, en su Reglamento Nacional de Vehículos incluye las definiciones para “maquinaria verde” y maquinaria amarilla”. En el marco de este estudio, se hace referencia al término de Maquinaria Móvil No de Carretera con base en la legislación europea.
- El alcance del estudio está definido considerando la disponibilidad de información las sinergias con el inventario local de emisiones para Lima y Callao, y priorización de emisiones de motores diésel por su impacto en la salud y el ambiente.
- La metodología aplicada para elaborar el inventario de flota de maquinaria requiere depurar la siguiente información: 1) tipo de maquinaria, 2) rubro, 3) potencia nominal (rango de acuerdo con las categorías provistas por la EPA), 4) año de importación, 5) año de fabricación y 6) cantidad de maquinaria que comparte los atributos 1 al 5. Todos estos datos se pueden obtener directamente o estimar a través de métodos sugeridos 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+ (2020).
- Las dos fuentes principales de información para la elaboración del inventario de flota de maquinaria son la base de datos de importaciones administrada por la Aduana, y los catálogos de maquinaria en internet. Lo cual permite la actualización ya que es información de acceso libre.
- Respecto a los resultados del primer inventario de flota de maquinaria del país:

- El total de maquinarias importadas entre los años 2000 y 2016 asciende a 80.300 unidades.
  - El rubro con mayor participación es el del sector construcción que corresponde al 45% del total, seguido por el rubro agricultura con 32%, el rubro minería con 12%, el sector industria con 9% y el sector forestal con un 2%.
  - El tractor agrícola es la maquinaria con mayor representación en el universo de maquinaria estudiado, equivalente al 18.9%. Le sigue el cargador frontal con un 12.5% y enseguida la retroexcavadora con un 12.4%.
  - El tipo de maquinaria con menor representación son los scrapers, la miniretroexcavadora, el tiendetubo y la plataforma telescópica, que en conjunto suman menos del 0.5% del total de la maquinaria.
  - En cuanto a la fecha de fabricación, se observa que se han consignado fechas tan antiguas como 1933 (1 unidad), 1944 (1 unidad), 1952 (1 unidad), 1957 (2 unidades) y otras 62 unidades con fecha de fabricación anterior al año 1970.
- Respecto a los resultados del primer inventario de emisiones de maquinaria a nivel nacional:
    - Las emisiones de PM<sub>2,5</sub> en 2016 alcanzaron las 2 055,3 toneladas. De las cuales el sector construcción contribuyó con 55% (equivalente a 1 140,7 toneladas de PM<sub>2,5</sub>).
  - Respecto a los resultados del primer inventario de emisiones de maquinaria a nivel Lima y Callao:
    - Las emisiones de PM<sub>2,5</sub> en 2016 alcanzaron las 593,7 toneladas. De las cuales el sector construcción contribuyó con 75% (equivalente a 448, toneladas de PM<sub>2,5</sub>).

## IV. RECOMENDACIONES

- Por ser el primer inventario nacional de flota de maquinaria, se recomienda establecer un análisis comparativo con otros países de la región que han elaborado su inventario de flota de maquinaria, a fin de comprobar que las cifras obtenidas son coherentes.
- En la medida en que se ha utilizado información oficial de la Aduana, pero esta información no ha brindado el 100% de datos necesarios, y se ha completado a través de estimaciones y supuestos, se sugiere involucrar a los expertos en maquinaria para validar las cifras obtenidas.
- Las validaciones de supuestos para asignar el nivel tecnológico de la maquinaria deben ser uno de los principales puntos del proceso de socialización y validación del inventario.

## V. BIBLIOGRAFÍA

**CCAC. (2018).** *Climate and Clean Air Coalition*. Obtenido de ADDRESSING BLACK CARBON EMISSION INVENTORIES:

[http://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2018\\_Science-Update-Black-Carbon-Briefing\\_CCAC.pdf](http://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2018_Science-Update-Black-Carbon-Briefing_CCAC.pdf)

**CIIC. (2012).** *Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer*. Obtenido de Press Release N° 213 Diesel engine exhaust carcinogenic: [https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213\\_E.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf)

**EPA (2005).** User ' s Guide for the Final NONROAD2005 Model. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1004L24.TXT>

**EPA (2005).** Geographic Allocation of Nonroad Engine Population Data to the State and County Level. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1004LDX.TXT>

**EPA (2010).** Median Life , Annual Activity , and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100058Z.TXT>

**EPA (2018).** Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100UXEN.TXT>

**European Environment Agency (2013).** Pollutant Inventory Guidebook 2013 - 1.A.4 Non-road mobile sources and machinery. Recuperado el 2 de febrero del 2020 de <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>

**European Environment Agency (2019).** EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

**Programa CALAC+ (2020a).** GUÍA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (Estimación de la población de maquinaria). Disponible en la página [https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/04/Gu%C3%ADa-inventario-maquinaria\\_final.pdf](https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/04/Gu%C3%ADa-inventario-maquinaria_final.pdf)

**Programa CALAC+ (2020b).** GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (Cálculo de Emisiones del Inventario). Disponible en la página <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/Gu%C3%ADa-inventario-emisiones-vfinal.pdf>

**Unión Europea (2016).** (REGLAMENTO (UE) 1628/2016). REGLAMENTO (UE) 2016/1628 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 14 de septiembre de 2016 sobre los requisitos relativos a los límites de emisiones de gases y partículas contaminantes y a la homologación de tipo para los motores de combustión interna que se instalen en las máquinas móviles no de carretera, por el que se modifican los Reglamentos (UE) n.o 1024/2012 y (UE) n.o 167/2013, y por el que se modifica y deroga la Directiva 97/68/CE. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=ES>

## VI. ANEXOS

### Anexo 1. Partidas Arancelarias

**Cuadro 19. Lista de partidas arancelarias consultadas para el inventario.**

Código	Designación de la Mercancía
<b>84.25</b>	<b>Polipastos; tornos y cabrestantes; gatos.</b>
	- Polipastos:
8425.11.00.00	- - Con motor eléctrico
8425.19.00.00	- - Los demás
	- Tornos; cabrestantes:
8425.31	- - Con motor eléctrico:
8425.31.10.00	- - - Tornos para el ascenso y descenso de jaulas o montacargas en pozos de minas; tornos especialmente concebidos para el interior de minas
8425.31.90.00	- - - Los demás
8425.39	- - Los demás:
8425.39.10.00	- - - Tornos para el ascenso y descenso de jaulas o montacargas en pozos de minas; tornos especialmente concebidos para el interior de minas
8425.39.90.00	- - - Los demás
	- Gatos:
8425.41.00.00	- - Elevadores fijos para vehículos automóviles, de los tipos utilizados en talleres
8425.42	- - Los demás gatos hidráulicos:
8425.42.20.00	- - - Portátiles para vehículos automóviles
8425.42.90.00	- - - Los demás
8425.49	- - Los demás:
8425.49.10.00	- - - Portátiles para vehículos automóviles
8425.49.90.00	- - - Los demás
<b>84.26</b>	<b>Grúas y aparatos de elevación sobre cable aéreo; puentes rodantes, pórticos de descarga o manipulación, puentes grúa, carretillas puente y carretillas grúa.</b>
	- Puentes (incluidas las vigas) rodantes, pórticos, puentes grúa y carretillas puente:
8426.11.00.00	- - Puentes (incluidas las vigas) rodantes, sobre soporte fijo
8426.12	- - Pórticos móviles sobre neumáticos y carretillas puente:
8426.12.10.00	- - - Pórticos móviles sobre neumáticos
8426.12.20.00	- - - Carretillas puente
8426.19.00.00	- - Los demás
8426.20.00.00	- Grúas de torre
8426.30.00.00	- Grúas de pórtico
	- Las demás máquinas y aparatos, autopropulsados:
8426.41	- - Sobre neumáticos:
8426.41.10.00	- - - Carretillas grúa
8426.41.90.00	- - - Las demás
8426.49.00.00	- - Los demás
	- Las demás máquinas y aparatos:
8426.91.00.00	- - Concebidos para montarlos sobre vehículos de carretera
8426.99	- - Los demás:
8426.99.10.00	- - - Cables aéreos («blondines»)
8426.99.20.00	- - - Grúas de tijera («derricks»)
8426.99.90.00	- - - Los demás
<b>84.27</b>	<b>Carretillas apiladoras; las demás carretillas de manipulación con dispositivo de elevación incorporado.</b>
8427.10.00.00	- Carretillas autopropulsadas con motor eléctrico
8427.20.00.00	- Las demás carretillas autopropulsadas
8427.90.00.00	- Las demás carretillas

Código	Designación de la Mercancía
<p><b>84.29</b></p> <p>8429.11.00.00</p> <p>8429.19.00.00</p> <p>8429.20.00.00</p> <p>8429.30.00.00</p> <p>8429.40.00.00</p> <p>8429.51.00.00</p> <p>8429.52.00.00</p> <p>8429.59.00.00</p>	<p><b>Topadoras frontales (buldóceres), topadoras angulares («angledozers»), niveladoras, traíllas («scrapers»), palas mecánicas, excavadoras, cargadoras, palas cargadoras, compactadoras y apisonadoras (aplanadoras), autopropulsadas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Topadoras frontales (buldóceres) y topadoras angulares («angledozers»): <ul style="list-style-type: none"> <li>- - De orugas</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> <li>- Niveladoras</li> <li>- Traíllas («scrapers»)</li> <li>- Compactadoras y apisonadoras (aplanadoras)</li> <li>- Palas mecánicas, excavadoras, cargadoras y palas cargadoras: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Cargadoras y palas cargadoras de carga frontal</li> <li>- - Máquinas cuya superestructura pueda girar 360°</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>84.30</b></p> <p>8430.10.00.00</p> <p>8430.20.00.00</p> <p>8430.31.00.00</p> <p>8430.39.00.00</p> <p>8430.41.00.00</p> <p>8430.49.00.00</p> <p>8430.50.00.00</p> <p>8430.61</p> <p>8430.61.10.00</p> <p>8430.61.90.00</p> <p>8430.69</p> <p>8430.69.10.00</p> <p>8430.69.90.00</p>	<p><b>Las demás máquinas y aparatos para explanar, nivelar, traillar («scraping»), excavar, compactar, apisonar (aplanar), extraer o perforar tierra o minerales; martinetes y máquinas para arrancar pilotes, estacas o similares; quitanieves.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Martinetes y máquinas para arrancar pilotes, estacas o similares</li> <li>- Quitanieves</li> <li>- Cortadoras y arrancadoras, de carbón o rocas, y máquinas para hacer túneles o galerías: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Autopropulsadas</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> <li>- Las demás máquinas de sondeo o perforación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Autopropulsadas</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> <li>- Las demás máquinas y aparatos, autopropulsados</li> <li>- Las demás máquinas y aparatos, sin propulsión: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Máquinas y aparatos para compactar o apisonar (aplanar): <ul style="list-style-type: none"> <li>- - - Rodillos apisonadores</li> <li>- - - Los demás</li> </ul> </li> <li>- - Los demás: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - - Traíllas («scrapers»)</li> <li>- - - Los demás</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p><b>84.32</b></p> <p>8432.10.00.00</p> <p>8432.21.00.00</p> <p>8432.29.00</p> <p>8432.29.00.10</p> <p>8432.29.00.20</p> <p>8432.31.00.00</p> <p>8432.39.00.00</p> <p>8432.41.00.00</p> <p>8432.42.00.00</p> <p>8432.80.00.00</p> <p>8432.90</p> <p>8432.90.10.00</p> <p>8432.90.90.00</p>	<p><b>Máquinas, aparatos y artefactos agrícolas, hortícolas o silvícolas, para la preparación o el trabajo del suelo o para el cultivo; rodillos para césped o terrenos de deporte.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arados</li> <li>- Gradas (rastras), escarificadores, cultivadores, extirpadores, azadas rotativas (rotocultores), escardadoras y binadoras: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Gradas (rastras) de discos</li> <li>- - Los demás: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - - Las demás gradas (rastras), escarificadores y extirpadores</li> <li>- - - Cultivadores, azadas rotativas (rotocultores), escardadoras y binadoras</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Sembradoras, plantadoras y trasplantadoras: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Sembradoras, plantadoras y trasplantadoras, para siembra directa</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> <li>- Esparcidores de estiércol y distribuidores de abonos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Esparcidores de estiércol</li> <li>- - Distribuidores de abonos</li> </ul> </li> <li>- Las demás máquinas, aparatos y artefactos</li> <li>- Partes: <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Rejas y discos</li> <li>- - Las demás</li> </ul> </li> </ul>

Código	Designación de la Mercancía
<b>84.33</b>	<b>Máquinas, aparatos y artefactos de cosechar o trillar, incluidas las prensas para paja o forraje; cortadoras de césped y guadañadoras; máquinas para limpieza o clasificación de huevos, frutos o demás productos agrícolas, excepto las de la partida 84.37.</b>
	- Cortadoras de césped:
8433.11	- - Con motor, en las que el dispositivo de corte gire en un plano horizontal:
8433.11.10.00	- - - Autopropulsadas
8433.11.90.00	- - - Las demás
8433.19	- - Las demás:
8433.19.10.00	- - - Autopropulsadas
8433.19.90.00	- - - Las demás
8433.20.00.00	- Guadañadoras, incluidas las barras de corte para montar sobre un tractor
8433.30.00.00	- Las demás máquinas y aparatos de henificar
8433.40.00.00	- Prensas para paja o forraje, incluidas las prensas recogedoras
	- Las demás máquinas y aparatos de cosechar; máquinas y aparatos de trillar:
8433.51.00.00	- - Cosechadoras-trilladoras
8433.52.00.00	- - Las demás máquinas y aparatos de trillar
8433.53.00.00	- - Máquinas de cosechar raíces o tubérculos
8433.59	- - Los demás:
8433.59.10.00	- - - De cosechar
8433.59.20.00	- - - Desgranadoras de maíz
8433.59.90.00	- - - Los demás
8433.60	- Máquinas para limpieza o clasificación de huevos, frutos o demás productos agrícolas:
8433.60.10.00	- - De huevos
8433.60.90.00	- - Las demás
8433.90	- Partes:
8433.90.10.00	- - De cortadoras de césped
8433.90.90.00	- - Las demás
<b>84.34</b>	<b>Máquinas de ordeñar y máquinas y aparatos para la industria lechera.</b>
8434.10.00.00	- Máquinas de ordeñar
8434.20.00.00	- Máquinas y aparatos para la industria lechera
8434.90	- Partes:
8434.90.10.00	- - De ordeñadoras
8434.90.90.00	- - Las demás

Fuente: Adaptación de SUNAT (Sin fecha). "Arancel de Aduanas 2017".

**Anexo 2. Tipo de maquinaria**

**Cuadro 20. Homologación de tipo de maquinaria**

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Bulldozer	Topadora frontal, bulldozer		2270002063 Diesel Rubber Tire Dozers
Cargador de troncos	Cargador de troncos, arrastrador de troncos		2270007015 Diesel Logging Equip Fell/Bunch/Skidlers
Cargador frontal	Cargador, cargador frontal		2270002060 Diesel Rubber Tire Loaders
Cosechadora	Cosechadora, maquina cosechadora, trilladora		2270005045 Diesel Swathers

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Cargador dumper	Dumper, Cargador dumper		2270002078 Diesel Dumpers/Tenders
Equipo minería subterránea	de Maquina tunelera, máquina para hacer túneles		2270009010 Diesel Other Underground Mining Equipment
Excavadora	Excavadora		2270002036 Diesel Excavators

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Grúa horquilla	Montacargas, grúa horquilla, pato.		2270003020 Diesel Forklifts
Grúa telescópica	Grúa telescópica, grúas.		2270002045 Diesel Cranes
Minicargador	Minicargador		2270002072 Diesel Skid Steer Loaders
Miniexcavadora	Miniexcavadora		2270002072 Diesel Skid Steer Loaders

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Mini-retroexcavadora	Mini-retroexcavadora		2270002073 Diesel Skid Steer Loaders
Manipulador telescópico	Manipulador telescópico, manipulador, carretilla grúa		2270003040 Diesel Other General Industrial Equipment
Motoniveladora	Motoniveladora		2270002048 Diesel Graders
Perforadora	Perforadora, perforador		2270002033 Diesel Bore/Drill Rigs

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Plataforma telescópica	Plataforma de Elevación, plataforma telescópica, brazo telescópico.		2270003010 Diesel Aerial Lifts
Retroexcavadora	Retroexcavadora		2270002066 Diesel Tractors/Loaders/Backhoes
Rodillo	Rodillo compactador, rodillo aplanador		2270002015 Diesel Rollers
Scraper (Rascador)	Rascador		2270002018 Diesel Scrapers
Tiendetubo	Tiendetubo		2270002081 Diesel Other Construction Equipment

Tipo de maquinaria	Homologación Aduana	Imagen de referencia	Categoría EPA
Tractor	Tractores pertenecientes al rubro construcción y minería.		2270002066 Diesel Tractors/Loaders/Backhoes
Tractor Agrícola	Tractor perteneciente al rubro agrícola.		2270005015 Diesel Agricultural Tractors
Tractor de un solo eje / Monocultor	Monocultor		2270005010 Diesel 2-Wheel Tractors

Fuente: Adaptado de CALAC (2020).

### Anexo 3. Indicadores utilizados para la distribución geográfica por departamento.

Cuadro 21. Sector agricultura

#	Departamento	PBI por departamento del sector Agrícola y ganadero (millones de soles)	PBI (%)
1	Amazonas	904	4,7%
2	Ancash	477	2,5%
3	Apurímac	349	1,8%
4	Arequipa	1 456	7,5%
5	Ayacucho	355	1,8%
6	Cajamarca	937	4,9%
7	Cusco	707	3,7%
8	Huancavelica	264	1,4%
9	Huánuco	715	3,7%
10	Ica	1 569	8,1%
11	Junín	1 242	6,4%
12	La Libertad	2 024	10,5%
13	Lambayeque	877	4,5%
14	Lima	1 584	8,2%
15	Loreto	524	2,7%
16	Madre de Dios	64	0,3%
17	Moquegua	90	0,5%
18	Pasco	303	1,6%
19	Piura	1 484	7,7%
20	Puno	874	4,5%
21	San Martín	1 759	9,1%
22	Tacna	201	1,0%
23	Tumbes	164	0,9%
24	Ucayali	362	1,9%
	Total	19 285	100%

Cuadro 22. Sector construcción

#	Departamento	PBI por departamento sector construcción (miles de soles)	PBI (%)
1	Amazonas	421 520	1,0%
2	Ancash	1 203 287	2,8%
3	Apurímac	814 989	1,9%
4	Arequipa	3 092 475	7,3%
5	Ayacucho	685 714	1,6%
6	Cajamarca	1 341 645	3,1%
7	Cusco	2 203 189	5,2%
8	Huancavelica	624 786	1,5%
9	Huánuco	841 514	2,0%
10	Ica	2 445 373	5,7%
11	Junín	1 373 016	3,2%
12	La Libertad	1 864 994	4,4%
13	Lambayeque	1 358 626	3,2%
14	Lima	16 776 982	39,3%
15	Loreto	338 630	0,8%
16	Madre de Dios	261 764	0,6%
17	Moquegua	811 070	1,9%

18	Pasco	494 596	1,2%
19	Piura	2 035 888	4,8%
20	Puno	1 278 072	3,0%
21	San Martín	729 510	1,7%
22	Tacna	843 680	2,0%
23	Tumbes	283 605	0,7%
24	Ucayali	526 075	1,2%
	<b>Total</b>	<b>42 651 000</b>	<b>100%</b>

Fuente: Excels individuales

**Cuadro 23. Sector forestal**

#	Departamento	Concesiones	Permisos CCNN	Permisos en predios privados	Permisos CCCC	Autorizaciones	Totales por departamento	Área (%)
1	Amazonas					138,70	138,70	0,03%
2	Ancash					257,49	257,49	0,05%
3	Apurímac					1 413,34	1 413,34	0,29%
4	Arequipa					409,94	409,94	0,08%
5	Cajamarca					2 022,20	2 022,20	0,42%
6	Cusco			566,10		391,39	957,49	0,20%
7	Huancavelica					4,27	4,27	0,00%
8	Huánuco		605,20	532,94		38 495,33	39 633,47	8,16%
9	Ica					88,39	88,39	0,02%
10	Junín		5 004,00	2 988,68	24,08	409,57	8 426,33	1,73%
11	La Libertad		13 408,64	71,24		1 281,17	14 761,05	3,04%
12	Loreto	354 646,11	13 473,07	222,77			368 341,95	75,80%
13	Moquegua					18,00	18,00	0,00%
14	Pasco			650,62			650,62	0,13%
15	Piura					283,63	283,63	0,06%
16	Puno					95,21	95,21	0,02%
17	Tumbes					222,48	222,48	0,05%
18	Ucayali		47 962,03	233,13			48 195,16	9,92%
	<b>Total</b>	<b>354 646,11</b>	<b>80 452,94</b>	<b>5 265,48</b>	<b>24,08</b>	<b>45 531,11</b>	<b>485 919,72</b>	<b>100,00%</b>

**Cuadro 24. Sector industrial**

#	Departamento	PEA tota por departamento (miles de personas)	PEA Manufactura por departamento (%)	PEA Manufactura por departamento (miles de personas)	PEA Manufactura (%)	PEA Manufactura por departamento (%)
1	Amazonas	232,7	4,5%	10,47	0,68%	0,68%
2	Ancash	612	8,1%	49,57	3,21%	3,21%
3	Apurímac	257,1	2,0%	5,14	0,33%	0,33%
4	Arequipa	657,2	10,0%	65,72	4,26%	4,26%
5	Ayacucho	353,2	4,3%	15,19	0,98%	0,98%
6	Cajamarca	825,6	7,1%	58,62	3,80%	3,80%
	Callao	529	14,1%	74,59	4,83%	
7	Cusco	736,7	7,0%	51,57	3,34%	3,34%
8	Huancavelica	258,9	2,9%	7,51	0,49%	0,49%
9	Huánuco	452,7	3,7%	16,75	1,09%	1,09%
10	Ica	411,4	8,8%	36,20	2,35%	2,35%

11	Junín	705,1	5,9%	41,60	2,70%	2,70%
12	La Libertad	945,9	11,6%	109,72	7,11%	7,11%
13	Lambayeque	634	10,7%	67,84	4,40%	4,40%
14	Lima Provincia	4 560,9	14,4%	656,77	42,56%	49,16%
	Región Lima	486,9	5,6%	27,27	1,77%	
15	Loreto	500,1	5,7%	28,51	1,85%	1,85%
16	Madre de Dios	77,8	6,5%	5,06	0,33%	0,33%
17	Moquegua	101,5	5,9%	5,99	0,39%	0,39%
18	Pasco	160,2	4,5%	7,21	0,47%	0,47%
19	Piura	894,6	8,6%	76,94	4,99%	4,99%
20	Puno	770,9	8,6%	66,30	4,30%	4,30%
21	San Martín	446,5	4,0%	17,86	1,16%	1,16%
22	Tacna	182,5	6,6%	12,05	0,78%	0,78%
23	Tumbes	128,9	6,3%	8,12	0,53%	0,53%
24	Ucayali	275	7,5%	20,63	1,34%	1,34%
	Total	16 197,3	100,00%	1 543,17	100,00%	100,00%

Cuadro 25. Sector minería

#	Departamento	Aporte económico de la actividad minera por departamento (miles de soles)	Aporte económico de la actividad minera por departamento (%)
1	Amazonas	1373	0,1%
2	Ancash	394 752	15,8%
3	Apurímac	19 731	0,8%
4	Arequipa	394 947	15,8%
5	Ayacucho	39 263	1,6%
6	Cajamarca	272 687	10,9%
7	Cusco	170 154	6,8%
8	Huancavelica	14 568	0,6%
9	Huánuco	5 151	0,2%
10	Ica	73 044	2,9%
11	Junín	60 199	2,4%
12	La Libertad	308 384	12,4%
13	Lambayeque	2 956	0,1%
14	Lima y Callao	84 793	3,4%
15	Loreto	110	0,0%
16	Madre de Dios	6 887	0,3%
17	Moquegua	225 691	9,1%
18	Pasco	41 926	1,7%
19	Piura	39 489	1,6%
20	Puno	119 965	4,8%
21	San Martín	2 608	0,1%
22	Tacna	213 155	8,6%
23	Tumbes	66	0,0%
24	Ucayali	22	0,0%
	Total	2 491 921	100,0%