



#### MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

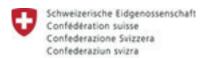
# INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES DE USO FUERA DE CARRETERA EN COLOMBIA

Enfoque sobre maquinaria de construcción, minera, industrial y agrícola



Financiado por:

Ejecutado por:





Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE



#### Minambiente

#### REPÚBLICA DE COLOMBIA

#### MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Directora de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

Coordinador Grupo de Gestión Ambiental Urbana

#### AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN (COSUDE)

Director del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+)

#### AUTORES

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mauricio Gaitán Varón

Swisscontact - Programa CALAC+

Helberth Santiago Morales Pinilla Andrés Felipe Díaz Barreto

#### Corrección de estilo

Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

#### Diseño y Diagramación

Grupo Comunicaciones Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia: Enfoque sobre maquinaria de construcción, minera, industrial y agrícola [Recurso electrónico] / Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana: Gaitán Varón, Mauricio; Swisscontact -COSUDE - Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina CALAC+: Morales Pinilla, Helberth Santiago; Díaz Barreto, Andrés Felipe.

Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, 2022.

68 p. il.

ISBN: 978-958-5551-75-6

1. contaminación del aire 2. fuentes móviles fuera de carretera 3. inventarios 4. contaminantes I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible III. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE

CDD: 363.7

© Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, 2022

otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales. No comercializable - Distribución gratuita







# Lista de figuras

Figura 1. Figura 2. Figura 3. Figura 4.	Distribución de la maquinaria respecto al rango de antigüedad Distribución porcentual de la maquinaria según energético utilizado para funcionamiento Distribución porcentual de la maquinaria registrada por rangos de potencia Países de origen de maquinaria que representan más del 99% de las unidades ingresadas al país entre 2009 y 2018	19 19 21
Figura 5.	Países de procedencia de maquinaria que representan más del 99% de las unidades ingresadas al país entre 2009 y 2018	23
Figura 6.	Estándar de emisiones de maquinaria móvil con motor diésel para principales países de procedencia segregado por rango de potencia (P)	26
Figura 7.	Porcentaje por rubro de la emisión total por contaminante para PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO2	44
Figura 8.	Porcentaje por rubro de la emisión total por contaminante para BC, SO2, N2O, CH4, y NH3	45
Figura 9.	Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para PM10, PM2.5 y NOx	45
Figura 10.	Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para CO, HC y CO2	46
Figura 11.	Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para BC, SO2 y N2O	46
Figura 12.	Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para CH4, y NH3	47
Figura 13.	Distribución porcentual de la maquinaria por estándar de emisiones según rubro	47
Figura 14.	Distribución de la maquinaria según estándar	48

# Lista de tablas

Tabla 1.	Tipologías de fuente móvil de uso de fuera de carretera por rubro encontradas en la base de datos RUNT	14
T.11.0		
Tabla 2.	Tipos de maquinaria con mayor porcentaje de representación	17
Tabla 3.	Armonización de tipología de la US EPA y RUNT	17
Tabla 4.	Subpartidas seleccionadas según Resolución 1068 de 2015 del Ministerio de Transporte	22
Tabla 5.	Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el PIB asociado a construcción (edificaciones y obras civiles)	26
Tabla 6.	Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el área agrícola cosechada a nivel nacional de 6.705.673 de hectáreas	28
Tabla 7. Tabla 8.	Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el PIB asociado a industria manufacturera Equivalencia supuesta para este inventario entre estándares estadounidenses y europeos	29 36
Tabla 9.	Fracción de carbono negro en el PM10 asociado a motores de fuentes móviles de uso fuera de carretera	36
Tabla 10.	Fuentes de información utilizadas para la estimación de parámetros necesarios para el cálculo de las emisiones contaminantes	37
Tabla 11.	Factores de emisión Tier 4 para motores con potencia menor a 8 kW	38
Tabla 12.	Vida media según potencia del motor	39
Tabla 13.	Factor de deterioro relativo (A) (% incremento/%vida útil)	40
Tabla 14.	Resultados de emisiones en el 2018 de PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO2 por rubro	44
Tabla 15.	Resultados de emisiones en el 2018 de BC, SO2, N2O, CH4, y NH3 por rubro	44
Tabla 16.	Resultados de emisiones en el 2018 de PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO2 por rubro para Bogotá D.C.	48
Tabla 17.	Resultados de emisiones en el 2018 de BC, SO2, N2O, CH4, y NH3 por rubro para Bogotá D.C.	48
Tabla 18.	Tipologías y definiciones de fuentes móviles de uso fuera de carretera	53
Tabla 19.	Clasificación de los motores con sistemas de control de emisiones según estándar	58
Tabla 20.	Relación entre tipología, SCC, nivel de actividad y factor de carga	59
Tabla 21.	Factores de emisión según estándar de emisiones	61
Tabla 22.	Factores de ajuste transitorio según tipología, estándar de emisiones y contaminante	64
Tabla 23.	Contenido porcentual de azufre en el combustible de certificación según estándar de emisiones	67
	0	

#### Siglas y acrónimos

BC Carbono Negro

**BSFC** Consumo de combustible específico al freno

**CALAC+** Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina Plus

CH4 Metano

CO Monóxido de CarbonoCO2 Dióxido de Carbono

**COSUDE** Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación **DIAN** Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales

DPFFiltro de Partículas DiéselEEAAgencia Ambiental EuropeaGLPGas Licuado de PetróleoGNVGas Natural Vehicular

**HC** Hidrocarburos

IARC Agencia Internacional para la Investigación Contra el Cáncer

NH3 Amoniaco

**NOx** Óxidos de Nitrógeno

NRSC Ciclo Estacionario No de Carretera
NRTC Ciclo Transitorio No de Carretera

PIB Producto Interno Bruto

PM10 Material particulado igual o inferior 10 micrasPM2.5 Material particulado igual o inferior 2,5 micras

**RNMA** Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada

RUNT Registro Único Nacional de Tránsito
 SCC Consecutivo de Clasificación de Fuente
 SCR Sistema de Reducción Catalítica Selectiva
 SDA Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá D.C.
 SDM Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá D.C.

**SO2** Dióxido de Azufre

Swisscontact Fundación Suiza para la Cooperación Técnica

**U.S. EPA** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos





# **CONTENIDO**

RESUMEN EJ	ECUTIVO	10
PARTE 1 -	CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA DE	
	FUENTES MÓVILES DE USO DE FUERA DE CARRETERA	
	EN COLOMBIA	12
1.1.	Introducción	13
1.2.	Depuración de las bases de datos de registro de	
	maquinaria y de Aduanas	13
	1.2.1. Registro Único Nacional de Tránsito (Runt)	14
	1.2.2. Base de datos de aduana proveniente de	
	Legiscomex	21
1.3.	Flota seleccionada para el Inventario de Emisiones	24
1.4.	Nivel tecnológico	24
1.5.	Asignación geográfica	26
1.6.	Conclusiones	30
1.7.	Recomendaciones	30
PARTE 2 -	CÁLCULO DE EMISIONES DE LAS FUENTES MÓVILES	
	DE USO FUERA DE CARRETERA EN COLOMBIA	32
2.1.	Introducción	33
2.2.	Metodología para el cálculo de emisiones	33
	2.2.1. Nivel de actividad	37
	2.2.2. Factor de carga	37
	2.2.3. Factor de emisión en estado transitorio	38
	2.2.4. Factor de ajuste transitorio	39
	2.2.5. Factor de deterioro	39
	2.2.6. Ajuste por azufre en el combustible	41
2.3.	Resultados	43
2.4.	Conclusiones	49
2.5.	Recomendaciones	49
Bibliografía		51
Anexo		53

#### **RESUMEN EJECUTIVO**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana y el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina Plus -CALAC+, financiado por COSUDE e implementado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico -SWISSCONTACT, presentan en este documento el *Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia* realizado con enfoque en maquinaria de construcción¹, industrial y agrícola.

El Programa CALAC+ se desarrolla en Colombia a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y busca fomentar la reducción de contaminantes del aire perjudiciales para la salud humana y mitigar el cambio climático principalmente en Bogotá. Su estrategia de intervención consiste en facilitar la creación de capacidades de los actores de gobierno y la transferencia de conocimientos entre los países parte del programa: Perú, Chile, México y Colombia y Suiza.

El presente documento se divide en dos grandes bloques temáticos. El primero consiste en la metodología empleada para la construcción de una base de datos de maquinaria apropiada para el cálculo de emisiones. Por ser este el primer inventario nacional que se realiza en la materia, las bases existentes de aduanas y de registros no están diseñadas con todos los campos de información necesarios para un cálculo de emisiones. Los parámetros necesarios en la base final para la maquinaria son: 1) rubro, 2) tipo de maquinaria, 3) edad de la maquinaria, 4) combustible, 5) potencia nominal del motor, 6) estándar de emisiones y 7) cantidad de unidades. Para completar la base se empleó como referencia 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).

Actualmente, se presenta un subregistro de las fuentes móviles de uso de fuera de carretera en el Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMA), debido a que el registro de este tipo de fuentes móviles comenzó a ser obligatorio a partir del 2012. Al compararse con la cantidad de fuentes móviles importadas en el periodo del 2009 al 2018 con la cantidad registrada en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) para las mismas subpartidas arancelarias, se encuentra que este último contiene tan solo el 59,3% de las unidades.

De acuerdo con el RNMA, más del 90% de la maquinaria utiliza diésel como combustible, cuyas emisiones son catalogadas como cancerígenas para los humanos según la Agencia Internacional para la Investigación Contra el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés). Esta maquinaria fue la escogida para realizar el inventario de emisiones contaminantes, cuya cantidad es de 96.010 máquinas luego de haber realizado un ajuste en la cantidad con base en la información de aduanas, específicamente del sistema de información LegisComex.

El segundo bloque temático corresponde a la metodología y cálculo de las emisiones de la flota construida en la primera parte. Se emplea como referencia la *Guía metodológica para la estimación de emisiones de maquinaria móvil no de carretera (Cálculo de Emisiones del Inventario)* elaborado también por el Programa CALAC+ (2020b). La guía en mención se basó a su vez en la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos U.S. EPA (2018) y de la Agencia Amabiental Europea - EEA (U.E. EEA., 2019) aplicada y ajustada al contexto latinoamericano acorde también con la experiencia del inventario de maquinaria del Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

<sup>1</sup> La categoría del sector de construcción también incluye la maquinaria para minería, de acuerdo con la Resolución 1068 del 2015 del Ministerio de Transporte (Colombia, Ministerio de Transporte, 2015).

Los parámetros y descargas de emisiones contaminantes calculados fueron: 1) material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con emisiones de 2.744,6 y 2.662,2 toneladas por año, respectivamente; 2) monóxido de carbono (CO) con emisiones de 17.775,3 toneladas por año; 3) hidrocarburos (HC) con emisiones de 3.261,7 toneladas por año; 4) óxidos de nitrógeno (NOx) con emisiones de 33.386,7 toneladas por año; 5) dióxido de azufre (SO $_2$ ) con emisiones de 100,4 toneladas por año; 6) dióxido de carbono (CO $_2$ ) con emisiones de 3.277.425,7 toneladas por año; 7) carbono negro (BC o *Black Carbon*) con emisiones de 1.769 toneladas por año; 8) metano (CH $_4$ ) con emisiones de 54,9 toneladas por año; 9) óxido nitroso (N $_2$ O) con emisiones de 153,8 por año, y 10) amoniaco (NH $_3$ ) con emisiones de 8,8 toneladas por año.

El material particulado es el contaminante de mayor preocupación en Colombia y en este trabajo se presenta por primera vez la realidad del impacto por emisiones asociadas a la maquinaria que emplea combustible diésel en el país. Por ejemplo, en Bogotá, de acuerdo con la estimación realizada en este trabajo, el número de unidades de maquinaria que emplean combustible diésel representa aproximadamente el 0,5 % de la flota de fuentes móviles y aporta el 19,6% y el 20,7 % de las emisiones totales de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, respectivamente. Este resultado evidencia la necesidad de incorporar estas fuentes de emisión en las políticas de mejora de la calidad del aíre y establecer estándares normativos para la maquinaria en el país.

Cada uno de los dos bloques temáticos contiene conclusiones y recomendaciones para el perfeccionamiento del inventario en futuras versiones. Algunos a resaltar son la necesidad de establecer una hoja de ruta para incorporar toda la maquinaria importada en el RUNT; es importante realizar acercamientos con el Ministerio de Transporte y la DIAN con miras a robustecer los registros de manera que permitan incluir nuevos campos de información necesarios para el cálculo de emisiones e identificación de los tipos de maquinaria. Durante el desarrollo del presente trabajo se encontró que existen múltiples partidas arancelarias no controladas que no son objeto de obligatorio registro en el RUNT lo cual debe analizarse para futuros inventarios de maquinaria en el país.



# **PARTE 1**

CONSTRUCCIÓN DEL INVENTARIO DE FLOTA DE FUENTES MÓVILES DE USO DE FUERA DE CARRETERA EN COLOMBIA



# 1.1. INTRODUCCIÓN

En esta sección del documento se detalla la metodología empleada para la elaboración del *Inventario* de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia realizado con enfoque en maquinaria de construcción, industrial y agrícola. Esta parte se basó en la *Guía metodológica para la construcción del inventario de maquinaria móvil no de carretera (Estimación de la población de maquinaria*) elaborado por el Programa CALAC+ (2020a).

Una de las bases de datos principales para este trabajo correspondió al Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMA) del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) proveído por el Ministerio de Transporte. Esta base contiene parte de los insumos esenciales de caracterización de la flota, tales como los rubros: i) construcción², agrícola o industrial, ii) tipo de combustible: diésel, eléctrico, gasolina, gas o etanol, iii) año modelo, iv) tipología de la maquinaria: retroexcavadora, compactadora, entre otros, v) marca y modelo (BOBCAT B730, AMMANN ASC100, entre otros). Estos tres últimos (tipología de la maquinaria, marca y modelo) fueron esenciales para la búsqueda de la potencia asociada por unidad de maquinaria.

No obstante, la base RNMA del RUNT presenta el inconveniente de que la obligación de registro en dicho instrumento se instauró sólo a partir del año 2012, mediante el artículo 208 del Decreto Ley 019 de 2012 (Colombia. Presidencia de la República, 2012) que crea el Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMA). El registro de la maquinaria ingresada al país antes de 2012 se dejó a voluntad del propietario de la maquinaria, lo cual sugiere la existencia de un subregistro de unidades para aquella ingresada al país antes de 2012.

Por lo anterior, es necesario considerar una segunda base de datos en este trabajo que permita conocer la cantidad real de unidades importadas al país, la cual se obtiene a partir del registro de aduanas (LegisComex). Como se mostrará a lo largo de esta parte del inventario, la compatibilización de las bases RUNT y LegisComex se realiza a partir del número de subpartida arancelaria común.

# 1.2. DEPURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS DE REGISTRO DE MAQUINARIA Y DE ADUANAS

La información necesaria para poder estimar las emisiones de contaminantes, de acuerdo con U.S. EPA (2018) la Agencia de Protección Ambiental (U.S.EPA, 2018), es:

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

Para obtener esta información de la maquinaria del país, se utilizaron dos bases de datos: RUNT y LegisComex. La primera tiene la información de una porción de la maquinaria en el país, clasificada

<sup>2</sup> La categoría del sector de construcción también incluye la maquinaria para minería, de acuerdo con la Resolución 1068 del 2015 del Ministerio de Transporte (Colombia, Ministerio de Transporte, 2015).

por rubro, tipo de maquinaria, año modelo y combustible; mientras que la segunda tiene las cantidades de la maquinaria que ha ingresado al país. La depuración de las bases de datos se realizó de la siguiente manera:

#### 1.2.1. REGISTRO ÚNICO NACIONAL DE TRÁNSITO (RUNT)

El RUNT tiene la siguiente información sobre la maquinaria registrada: número único de identificación, estado (activo, cancelado, registrado), fecha de registro, marca de la máquina, modelo de la máquina, año modelo, rubro (agrícola, construcción, industrial), tipo de maquinaria, cilindraje, combustible y peso.

Es de resaltar que la base del RUNT no cuenta con datos de potencia del motor ni estándar de emisiones, los cuales son esenciales para el cálculo de emisiones de la flota. La metodología empleada para completar esta información se encuentra más adelante en el presente documento.

#### Rubro según el RUNT

El RUNT establece un rótulo para cada una de las unidades de maquinaria respecto al sector de ejecución del trabajo: construcción (incluye minería), industrial o agrícola. Para el caso colombiano, el sector construcción representa el 58% de la maquinaria, el sector agrícola representa el 24% y el sector industrial el 18%.

#### Tipología según el RUNT

El RUNT tiene la clasificación de la maquinaría registrada según tipología, que se muestra a continuación:

Tabla 1. Tipologías de fuente móvil de uso de fuera de carretera por rubro encontradas en la base de datos RUNT

Rubro	Tipología en el RUNT
	Abonadora
	Alzadora de caña
	Bulldozer
	Cargador
	Cortadora
	Cosechadora
	Cribas
	Excavadora
	Fertilizadora
Agrícola	Fresadora
	Fumigadora
	Gator
	Grúa
	Miniexcavadora
	Mini retroexcavadora
	Minicargador
	Montacargas
	Motoniveladora
	Pulverizador agrícola

Rubro	Tipología en el RUNT		
	Retrocargador		
	Retroexcavadora		
	Taladro perforación pozo petrolero		
	Tractor		
Agrícola	Tractor sobre oruga		
	Transplantadora		
	Utilero		
	Zanjadora		
	Aplanadora		
	Autohormigonera		
	Bulldozer		
	Camión		
	Camión carga extensa		
	Camión grúa		
	Cargador		
	Carretilla apiladora		
	Carretilla elevadora		
	Compactador		
	Cribas		
	Dumper (volqueta articulada)		
	Equipo de demolición		
	Excavadora		
	Finisher		
	Fresadora		
Construcción	Grúa		
	Irrigador		
	Jumbo de perforación		
	Manipulador telescópico		
	Miniexcavadora		
	Mini retroexcavadora		
	Minicargador		
	Montacargas		
	Motoniveladora		
	Pala draga		
	Pavimentadora		
	Perforadora		
	Piloteadora		
	Plataforma de elevación		
	Recicladora de pavimentos		
	Retrocargador		
	Retroexcavadora		

Rubro	Tipología en el RUNT	
	Tractor	
	Tractor sobre oruga	
Construcción	Trituradora	
Construcción	Vibrocompactadora	
	Volqueta sobre oruga	
	Zanjadora	
	Apilador	
	Autohormigonera	
	Barredora	
	Bulldozer	
	Cambiadora de riel	
	Camión	
	Camión estéril	
	Camión grúa	
	Cargador	
	Cargadora frontal	
	Carretilla apiladora	
	Carretilla elevadora	
	Compactador	
	Draga	
	Excavadora	
	Grúa	
	Jumbo de perforación	
Industrial	Manipulador telescópico	
	Maquina barredora	
	Miniexcavadora	
	Minicargador	
	Montacargas	
	Motoniveladora	
	Mototraílla	
	Penetrómetro autopropulsado	
	Perforadora	
	Plataforma de elevación	
	Prensa hidráulica	
	Recicladora	
	Retrocargador	
	Retroexcavadora	
	Taladro	
	Taladro perforación pozo petrolero	
	Tractor	
	Tractor sobre oruga	

Rubro	Tipología en el RUNT
	Trituradora
Industrial	Vibrocompactadora
	Volco

Fuente: elaborada a partir de base RUNT (2019).

De las tipologías de maquinaria según la base de datos del RUNT, 16 de ellas agrupan el 95% del total de la flota, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipos de maquinaria con mayor porcentaje de representación

Tipología RUNT	Participación	Participación acumulada
Tractor	21,1%	21,1%
Excavadora	17,3%	38,4%
Retroexcavadora	13,7%	52,1%
Montacargas	11,4%	63,6%
Minicargador	7,0%	70,6%
Cargador	6,0%	76,6%
Bulldozer	4,6%	81,2%
Vibrocompactadora	3,7%	84,9%
Motoniveladora	3,3%	88,3%
Cosechadora	2,0%	90,3%
Miniexcavadora	1,2%	91,5%
Compactador	1,1%	92,6%
Cargadora frontal	0,8%	93,4%
Dumper (volqueta articulada)	0,7%	94,1%
Retrocargador	0,6%	94,7%
Grúa	0,5%	95,2%

Fuente: elaboración a partir de base RUNT (2019).

A partir de las definiciones de referencia para los diferentes tipos de maquinaria, contenidas en la metodología del inventario de emisiones de U.S. EPA (2010), se realiza la siguiente armonización de terminología:

**Tabla 3**. Armonización de tipología de la US EPA y RUNT

Tipologías según EPA	Tipologías según RUNT	
Plataforma telescópica	Plataforma de elevación	
Barredoras	Barredora, maquina barredora	
Bulldozer	Bulldozer	
Camiones fuera de carretera	Camión, camión carga extensa, camión estéril	

Tipologías según EPA	Tipologías según RUNT	
Cargadores de		
neumáticos de goma	Cargador, cargadora frontal	
Grúa horquilla	Carretilla apiladora, carretilla elevadora, montacargas	
Motoniveladora	Motoniveladora	
Conjuntos de riego	Irrigador	
Cortacéspedes con motor trasero (Res.)	Cortadora	
Dumpers	Dumper (volqueta articulada), volqueta sobre oruga	
Excavadoras	Excavadora, miniexcavadora	
Fumigadores / pulverizadores	Fumigadora, Pulverizador agrícola	
Grúas	Camión grúa, grúa	
Cosechadora	Cosechadora	
Mantenimiento ferroviario	Cambiadora de riel	
Minicargadoras	Minicargador	
Otros equipos agrícolas	Abonadora, alzadora de caña, cribas, fertilizadora, fresadora, gator, transplantadora, utilero	
Otros equipos de construcción	Autohormigonera, cribas, equipo de demolición, fresadora, pala draga, recicladora de pavimentos	
Otros equipos industriales generales	Apilador, autohormigonera, draga, manipulador telescópico, prensa hidráulica, recicladora, volco	
Pavimentadoras	Finisher, pavimentadora	
Perforadoras	Jumbo de perforación, penetrómetro autopropulsado, perforadora, piloteadora, taladro, taladro perforación pozo petrolero	
Mototraílla	Mototraílla	
Rodillos	Aplanadora, compactador, vibrocompactadora	
Cargadores / Retroexcavadoras	Mini retroexcavadora, retrocargador, retroexcavadora	
Tractores	Tractor	
Tractores Agrícolas	Tractor (rubro agrícola)	
Tractores de orugas	Tractor sobre oruga	
Trituradora	Trituradora	
Zanjadoras	Zanjadora	

#### Distribución de la flota por antigüedad

La edad de la flota de maquinaria registrada en el RUNT se calcula a partir de su año modelo, que se encuentra distribuida de la siguiente manera:

100% 90% 84% 80% Participación [%] 60% 50% 40% 30% 20% 12% 10% 4% 0% 0-15 >15 - 30 >30 Rango de antigüedad [años]

Figura 1. Distribución de la maquinaria respecto al rango de antigüedad

Fuente: elaborado a partir de base RUNT (2019).

#### Combustible

La maquinaria es clasificada según el combustible en el registro. La distribución de esta maquinaría en términos de combustible puede verse en la siguiente figura:

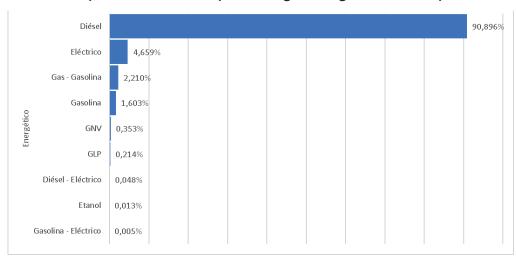


Figura 2. Distribución porcentual de la maquinaria según energético utilizado para funcionamiento

Nota: GNV: gas natural vehicular; GLP: gas licuado de petróleo. Fuente: elaborado propia a partir de base RUNT (2019).

Como puede verse en la anterior figura, más del 90% de la maquinaria utiliza diésel como combustible. Algunas unidades de maquinaria registradas en el RUNT no contaban con la información del combustible empleado, por lo que se procedió a replicar la información según la marca y el modelo de la maquinaria que sí contaba con este campo diligenciado. Lo anterior, tomando en consideración la distribución porcentual del energético o combustible para la marca y modelo en cuestión.

#### Muestra de cálculo

A continuación, se presenta un ejemplo de la manera como se replicó la información del combustible: Información inicial:

Marca	Modelo	Combustible	Cantidad	Porcentaje con información de combustible
CATERPILLAR	416E	DIÉSEL	403	95,95%
		GASOLINA	14	3,33%
		GNV (gas natural vehicular)	3	0,71%
		Sin información	498	

Replicando la misma distribución porcentual de combustible de las unidades con este campo diligenciado, se tiene que de las 498 unidades de maquinaria que no cuentan con información de combustible, 478 funcionarían con diésel, 17 funcionarían con gasolina y 3 con GNV.

#### **Potencia**

Como se indicó anteriormente, la base de datos RUNT no contiene información sobre la potencia de referencia del motor, que es esencial para el cálculo de emisiones. Sin embargo, esta misma base de datos contiene la información específica de marca y modelo para cada una de las unidades de maquinaria, lo que permite determinar la potencia para cada máquina a través de la búsqueda en los catálogos correspondientes.

Es importante resaltar que el objetivo de este ejercicio es completar la información de potencia para el cálculo de emisiones contaminantes, que se basa en las fuentes de emisión que emplean combustible diésel por representar más del 90 % de las fuentes totales y ser las emisiones catalogadas como cancerígenas por las Naciones Unidas. En consecuencia, la información completada de la base RUNT se realizó sólo para unidades que emplean combustible diésel.

Existen múltiples bases de catálogos de maquinaria en internet, y las consideradas para el presente trabajo se listan a continuación:

- Ritchie Bros (2018)
- Kelly Tractor Co (2021)
- Maquqam (2015)
- Caterpillar (2021)
- Construction Equipment (2021)
- Machinery Trader (2021)
- Purple Wave Auction (2021)
- My tractor (2021)
- TradeMachines (2021)
- Machinery Trader (2021)
- Frontline Construction (2021)
- Lectura (2021)
- Construction Equipment Guide (s. f.)

- Pacific Coast Iron (2021)
- TRACSA (2021)
- Bas Machinery (2021)
- Ziegler Rental (2021)
- Equipment Watch (2021)
- Tractor Data (2021)

En los casos de ausencia de información sobre la potencia respecto a una marca y un modelo de maquinaria en particular, la potencia nominal se asignó tomando en consideración la distribución de potencias según rubro y tipología. Esta asignación se hizo de la misma manera cómo se realizó la del combustible descrita en la sección anterior; en lugar de la marca y el modelo, se utilizó el rubro y la tipología.

Luego de haber realizado la asignación de potencias nominales, se realizó una clasificación de la maquinaria según los rangos de potencia establecidos en las regulaciones internacionales (ver figura 6) y se calculó el porcentaje de los registros totales para cada rango.

100% 80% articipación [%] 60% 43,7% 40% 32.3% 20% 10,8% 6.2% 2,8% 2,9% 0,9% 0,2% 0.1% 0% 8 ≤ kW < 19 19 ≤ kW < 37 37≤kW<75 75≤kW<130 130≤kW<225 225≤kW<450 450≤kW<560 560 kW ≤

Figura 3. Distribución porcentual de la maquinaria registrada por rangos de potencia

Fuente: elaborado a partir de base RUNT (2019).

#### 1.2.2. BASE DE DATOS DE ADUANA PROVENIENTE DE LEGISCOMEX

Los datos de aduana se tomaron de LegisComex entre 2009 y 2018 acorde a la disponibilidad de los datos. La base de datos de LegisComex contiene información asociada a las subpartidas arancelarias, valores comerciales y arancelarios de estas subpartidas, país de origen, país de procedencia y cantidad de maquinaria ingresada al país (sin restricción, ni distinción de rango de potencia o de combustible).

La selección de datos provenientes de LegisComex se realizó teniendo en cuenta únicamente los códigos de partida descritos expresamente en la Resolución 1068 de 2015 del Ministerio de Transporte. La siguiente tabla muestra los códigos de partida seleccionados y la descripción establecida por la DIAN:

Tabla 4. Subpartidas seleccionadas según Resolución 1068 de 2015 del Ministerio de Transporte<sup>3</sup>

Índole	Código partida	Descripción	
Controlada	8429110000	Topadoras frontales (bulldozers), y topadoras angulares (angledozers) de orugas, autopropulsadas.	
	8429190000	Las demás topadoras (bulldozers), y topadoras angulares (angledozers), autopropulsadas.	
	8429510000	Cargadoras y palas cargadoras de carga frontal, autopropulsadas.	
	8429520000	Máquinas autopropulsadas cuya superestructura pueda girar 360 grados.	
	8429590000	Las demás palas mecánicas, excavadoras, cargadoras y palas cargadoras, autopropulsadas, no incluidas antes.	
	8905100000	Dragas.	

Solamente se tuvieron en cuenta estas subpartidas para hacer la consulta de información en LegisComex, teniendo que las demás subpartidas que se utilizan para importar este tipo de fuentes móviles no están expresas en la Resolución 1068 del 2015 del Ministerio de Transporte y pueden contemplar maquinaria que no es objeto de este inventario y que generarían una sobreestimación de la flota.

#### Origen de la maquinaria según información de aduanas

El origen y procedencia de la maquinaria se analizó a partir de los datos de aduana provenientes de LegisComex. Los resultados muestran que entre 2009 y 2018<sup>4</sup> más del 90% de la maquinaria de interés tiene origen en Estados Unidos, Brasil, China y Japón (figura 4). Existe una categoría denominada desconocido, que aplica para aquellos que no se tiene información sobre su país de origen y de procedencia.

<sup>3</sup> Existen subpartidas que no están siendo controladas para el registro en el Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMA) y que no se contemplaron en el presente trabajo.

<sup>4</sup> La participación de los países tanto en origen como en procedencia ha variado durante el periodo comprendido; por ejemplo, en el 2010, Brasil representaba aproximadamente el 58% en ambos aspectos; sin embargo, en los años siguientes su participación no supera el 13%. Ilegando a años en los que es menor al 3% (I egisComex. 2020).

ESTADOS UNIDOS 42,5% BRASIL 36,2% CHINA 6,0% JAPÓN 5,8% DESCONOCIDO 2,7% COREA DEL SUR **1,4**% ITALIA (UE) 1,4% REINO UNIDO (UE) **1,3**% FINLANDIA (UE) 1 0,6% REPÚBLICA CHECA (UE) 0,3% FRANCIA (UE) 0,3% BÉLGICA (UE) 0,2% **AUSTRALIA** 0,2% ALEMANIA (UE) 0,1% 20,0% 30,0% 0,0% 10,0% 40,0% 50,0%

Figura 4. Países de origen de maquinaria que representan más del 99% de las unidades ingresadas al país entre 2009 y 2018

Fuente: elaborado a partir de base LegisComex (2020).

En cuanto al país de procedencia (figura 5), puede verse que el 18% de la maquinaria proviene de Antigua y Barbuda, lo que permite inferir que puede ser usada, teniendo en cuenta la ausencia de este país en la figura 4.

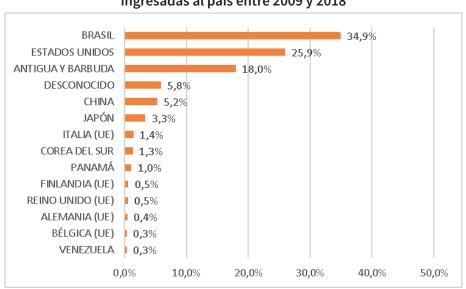


Figura 5. Países de procedencia de maquinaria que representan más del 99% de las unidades ingresadas al país entre 2009 y 2018

Fuente: elaborado a partir de base LegisComex (2020).

# 1.3. FLOTA SELECCIONADA PARA EL INVENTARIO DE EMISIONES

La flota de fuentes móviles de uso fuera de carretera seleccionada para el inventario de emisiones fue aquella que estuviera activa en el 2018 y que funcionara con diésel como combustible, tomando en consideración que la maquinaria que utiliza este combustible representa el 90% y que sus emisiones son catalogadas como cancerígenas para los humanos según Agencia Internacional para la Investigación Contra el Cáncer - IARC. Las características que se tomaron en cuenta para realizar esta selección son las siguientes:

- a. Año modelo igual o inferior a 2018 (se incluyen las máquinas que tienen año modelo 2019 pero que se registraron en el 2018).
- b. El estado es activo o registrado.
- c. Potencia asignada.
- d. Funciona con combustible diésel.

Por otro lado, debido a que la cantidad de maquinaria que se encuentra registrada en el RUNT no corresponde a la que se encuentra en la base de datos de información aduanera (representa el 59,3% aproximadamente de la cantidad que se reporta en LegisComex), se realizó un ajuste de la cantidad total: de 56.957 a 96.010 unidades.

Al hacer esta selección de los registros totales, la distribución de este tipo de fuentes móviles en términos de rubro cambió respecto a los valores reportados anteriormente de la siguiente manera: construcción, de 58% a 63%; agrícola, de 24% a 26%; industrial, de 18% a 11%. En cuanto a la distribución en edad, el cambio fue mínimo, ya que aquella maquinaria con una edad igual o inferior a 15 años pasó de 84% a 83%, aquella con una edad superior a 15 años e inferior a 30 años pasó de 12% a 13%, y la que tuviera más de 30 años se mantuvo con el mismo porcentaje.

Cabe aclarar que en esta selección no se implementó el modelo de retiro de maquinaria (scrapping) sugerido en la metodología de los Estados Unidos, por cuanto sobreestimaría la cantidad de maquinaria retirada en Colombia. Por entrevistas con algunos comercializadores de maquinaria y por el conocimiento de lo que sucede con los vehículos de carretera, es común en Colombia la práctica de realizar cambios de motor (overhaul) en las fuentes de emisión como una opción para prolongar la vida de la maquinaria.

En el registro RUNT se tiene que, de las 63.617 máquinas registradas en el 2018, tan solo 40 tienen el registro cancelado lo cual es consistente con la anterior información. Respecto a este último valor es importante tener en cuenta que también el bajo número de cancelación de registros puede obedecer a un subregistro o una desactualización de los vehículos que efectivamente se encuentran fuera de circulación.

# 1.4. NIVEL TECNOLÓGICO

Un parámetro fundamental para el cálculo de las emisiones asociadas a la flota es el nivel tecnológico (estándar de emisiones), ya que éste determina finalmente su nivel de emisión durante la operación. Junto con el desarrollo internacional de los estándares de emisiones para motores diésel de uso fuera de carretera se ha desarrollado la tecnología para el control de dichas emisiones,

principalmente en lo que se refiere a sistemas de inyección, mejoras en los sistemas de admisión, en la cámara de combustión y, finalmente, en los sistemas de post tratamiento de emisiones.

El estándar de emisiones en Colombia para este tipo de fuente móvil no está reglamentado, lo cual permite la entrada de cualquier máquina nueva o usada sin importar sus emisiones contaminantes. Por lo anterior, con el fin de asignar factores de emisión a la maquinaria objeto de estudio, se realizan las siguientes suposiciones:

1. Se asume un retraso tecnológico respecto a los países que implementaron regulación de emisiones (ver figura 5), por cuanto en Colombia no se cuenta aún con estándares mínimos de emisiones para estas fuentes. Este retraso se asume de nueve años respecto a las normativas de Estados Unidos, como sucedió en Brasil; los dos países de donde más se importa y proviene maquinaria a Colombia desde el 2009 al 2018 (ver figura 4 y figura 5).

Este supuesto se realiza tomando en consideración la diferencia entre los años de entrada en vigencia de los estándares de emisiones en Brasil respecto a los de Estados Unidos. Brasil es un referente importante por ser el único país en América del Sur que tiene un estándar de emisiones para estas fuentes móviles, según la revisión bibliográfica realizada (Dallmann & Menon, 2016).

Por otro lado, este desfase es coherente con lo que sucede en Colombia para las fuentes móviles de carretera, en el que los desfases han variado, según combustible y fecha de implementación, en un rango entre 5 y 15 años. Específicamente, para fuentes móviles que funcionan con diésel, el desfase ha sido entre 5 y 10 años.

2. Los estándares de emisiones se asignan con base en el año modelo y la suposición mencionada anteriormente. Se escogen los factores de emisión de Estados Unidos, en lugar de los de la Unión Europea, porque es el país con mayor representación en los países de origen de la maquinaria (42,4%), mientras que los países europeos representan menos del 5% (véase figura 4).

En cuanto a estándares de emisiones máximos que pudiera cumplir la maquinaria, no se realizó ninguna restricción, es decir, no se supuso que la maquinaria no pudiera tener un estándar de emisiones Tier 4 intermedio o final aunque el contenido de azufre en el combustible fuera superior al que se exige para estos estándares; tomando en consideración la dinámica que se evidencia en Colombia respecto a las fuentes móviles de carretera, en la que si bien el combustible no cumple con los requisitos mínimos para traer vehículos Euro 6 o Tier 3 (estándares más exigentes en la Unión Europea y en los Estados Unidos, que funcionan con un combustible cuyo contenido de azufre es de 10 ppm y 15 ppm, respectivamente) , se evidencia un porcentaje significativo de solicitudes de certificación ambiental para ingreso de vehículos nuevos con este tipo de estándares (ANLA, 2020, p. 65). Por lo anterior, se deduce que la importación de fuentes móviles no está sujeta exclusivamente a la calidad del combustible, sino también a otros factores inherentes (representatividad en el mercado, países en donde se comercializa, condiciones de la línea de producción, etc.), que conlleva a la posible importación de las mejores tecnologías disponibles.

Potencia Neta 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 P<8 8≤P<19 19 ≤ P < 37 37 ≤ P < 56 Unión 75≤P<130 130≤ P ≤560 P<8 8≤P<19 19 ≤ P < 37 37 ≤P < 56 75≤P<130 130 ≤ P < 225 225 ≤ P < 450 450 ≤ P < 560 Brasil 19≤P≤560 P≤560 China P > 560 19≤P≤560 Japón Corea 19≤P≤560 India P≤ 560 P > 560 56≤P≤560 Stage I / Tler 1 Stage II / Tler 2 Stage III A / Tler 3 Stage III B / Tler 4 Stage IV / Tler 4

Figura 6. Estándar de emisiones de maquinaria móvil con motor diésel para principales países de procedencia segregado por rango de potencia (P)

Fuente: elaborado a partir del Programa CALAC+ (2020a)

## 1.5. ASIGNACIÓN GEOGRÁFICA

La asignación a nivel regional y a nivel de ciudad de la cantidad de maquinaria y, consecuentemente, de las emisiones contaminantes, se realiza por medio de indicadores económicos y productivos en los sectores de construcción, agrícola e industrial. 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 se describe en U.S. EPA (2005b).

#### Maquinaria en la construcción

El indicador económico que se utiliza para la asignación geográfica de la maquinaria utilizada en el sector de construcción es el Producto Interno Bruto (PIB a precios corrientes) por departamento a 2018 (datos provisionales) asociado a construcción (edificaciones y obras civiles) publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE.

Tabla 5. Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el PIB asociado a construcción (edificaciones y obras civiles)

Región	Participación (%) a 2018
Amazonas	0,06
Antioquia	16,57
Arauca	0,30
Atlántico	4,63

Región	Participación (%) a 2018
Bogotá D.C.	17,53
Bolívar	5,44
Boyacá	4,38
Caldas	1,69
Caquetá	0,70
Casanare	0,65
Cauca	2,54
Cesar	1,38
Chocó	0,33
Córdoba	1,86
Cundinamarca	6,75
Guainía	0,09
Guaviare	0,10
Huila	2,61
La Guajira	1,02
Magdalena	1,61
Meta	2,59
Nariño	2,09
Norte de Santander	2,56
Putumayo	0,42
Quindío	1,16
Risaralda	1,88
San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Archipiélago)	0,06
Santander	8,13
Sucre	1,29
Tolima	2,93
Valle del Cauca	6,52
Vaupés	0,05
Vichada	0,09

Fuente: elaboración a partir de Colombia. Departamento Nacional de Estadística - DANE (2020).

#### Maquinaria agrícola

La asignación de la maquinaria que trabaja en el sector agrícola se realizó con base en el área agrícola cosechada (millones de hectáreas) por región. Este indicador estadístico y económico, publicado dentro del Censo Nacional Agropecuario del 2014 (DANE, 2014), incluye la producción agroindustrial: café, palma de aceite, caña panelera, caña de azúcar, cacao, caucho, algodón, tabaco, de tubérculos y plátanos, de frutas, de cereales, de plantaciones forestales, de hortalizas, de verduras y de legumbres, de plantas aromáticas y medicinales, de flores y follajes.

Tabla 6. Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el área agrícola cosechada a nivel nacional de 6.705.673 de hectáreas

Región	Participación (%) a 2014	
Amazonas	1,07%	
Antioquia	9,10%	
Arauca	0,83%	
Atlántico	0,11%	
Bogotá D.C.	0,06%	
Bolívar	2,66%	
Boyacá	3,38%	
Caldas	3,83%	
Caquetá	1,32%	
Casanare	2,76%	
Cauca	6,24%	
Cesar	2,93%	
Chocó	3,30%	
Córdoba	3,94%	
Cundinamarca	3,56%	
Guainía	1,18%	
Guaviare	0,35%	
Huila	5,13%	
La Guajira	1,14%	
Magdalena	2,37%	
Meta	6,78%	
Nariño	8,29%	
Norte de Santander	2,57%	
Putumayo	0,92%	
Quindío	1,30%	
Risaralda	1,41%	
San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Archipiélago)	0,01%	
Santander	5,45%	
Sucre	1,19%	
Tolima	8,07%	
Valle del Cauca	7,10%	
Vaupés	0,22%	
Vichada	1,46%	

Fuente: elaborado a partir de DANE (2014)

#### Maquinaria industrial

El indicador económico que se utiliza para la asignación geográfica de la maquinaria utilizada en el sector industrial es el PIB a precios corrientes por departamento a 2018 (datos provisionales) asociado a la manufactura publicado por el DANE.

Tabla 7. Porcentaje de participación de los 32 departamentos y Bogotá D.C. en el PIB asociado a industria manufacturera

Región	Participación (%) a 2018	
Amazonas	0,01	
Antioquia	19,17	
Arauca	0,11	
Atlántico	5,83	
Bogotá D.C.	18,23	
Bolívar	5,10	
Boyacá	2,69	
Caldas	1,68	
Caquetá	0,10	
Casanare	0,33	
Cauca	2,51	
Cesar	0,55	
Chocó	0,03	
Córdoba	1,50	
Cundinamarca	10,87	
Guainía	0,01	
Guaviare	0,01	
Huila	0,48	
La Guajira	0,06	
Magdalena	0,46	
Meta	0,68	
Nariño	0,34	
Norte de Santander	0,78	
Putumayo	0,03	
Quindío	0,33	
Risaralda	1,75	
San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Archipiélago)	0,02	
Santander	10,67	
Sucre	0,51	
Tolima	1,78	
Valle del Cauca	13,39	
Vaupés	0,00	
Vichada	0,00	
	Fuente: elaborado a partir de DANE (2020)	

Fuente: elaborado a partir de DANE (2020).

#### 1.6. CONCLUSIONES

Este trabajo, por ser el primer inventario de maquinaria en Colombia, requirió el uso de información complementaria externa y relacionar varias bases de datos del país. Este aporte permite reconocer la información que se requiere incorporar en las bases existentes para obtener un registro que le permita al país y a las autoridades correspondientes incluir los aportes de emisiones de estas fuentes de manera regular en futuros inventarios tanto nacionales como locales.

De acuerdo con la información disponible, más del 90% de la maquinaria utiliza diésel como combustible, cuyas emisiones son catalogadas como cancerígenas para los humanos según la IARC.

El 95% de la maquinaria tiene un motor cuya potencia nominal se encuentra entre el rango de potencia de igual o mayor a 19 kW y menor de 560 kW, lo que establece un objeto de aplicación viable para la implementación de normas estadounidenses y europeas.

El 18% de la maquinaria que fue importada entre los años 2009 y 2018 viene de Antigua y Barbuda, que es un país que no aparece en la lista de países de origen, por lo que se puede inferir que al menos esta cantidad puede venir en una condición diferente de nueva.

El presente trabajo evidencia un subregistro de este tipo de fuentes en la base de datos del RUNT respecto a la información de aduanas. La base de datos contiene solo el 59% de las unidades que se registran como ingresadas al país (LegisComex) mediante las subpartidas que están en la tabla 4 (siendo estas subpartidas una parte de las que se utilizan para ingresar maquinaria). Esto se debe a que el artículo 208 del Decreto Ley 019 de 2012, que modifica al artículo 11 de la Ley 1006 del 2006, establece como obligatorio el registro de esta maquinaria en el RUNT a partir del año 2012.

Sin un modelo de retiro de la maquinaria y con el ajuste realizado a partir de las cantidades reportadas en LegisComex y en la DIAN, se determina que 96.010 unidades son objeto del inventario de emisiones. No se tomó en cuenta maquinaria que funcionara con otros combustibles ya que estos representan el 5% de la flota registrada y no tienen la misma criticidad en términos de material particulado ( $PM_{25}$ ) que el diésel.

#### 1.7. RECOMENDACIONES

- I. Realizar una actualización de la normativa vigente en materia de registro de maquinaria para establecer la obligatoriedad de registros a todas las unidades de maquinaria que se encuentren en el territorio nacional independientemente del año modelo de fabricación o importación.
- II. Crear un rubro para minería en el RNMA con el fin de distinguir la maquinaria que va a utilizarse en este sector de la que trabaja en el de construcción.
- III. Realizar campañas que incentiven el registro de la maquinaria faltante en el RNMA que se encuentra activa en el país, pudiendo también actualizar el estado de aquella que se encuentra retirada.

- IV. Incorporar la información de la potencia nominal, combustible y estándar de emisiones como campos obligatorios para toda la maquinaria que se registre en el país en la base del RUNT o incluso desde la base de registro de aduanas. Esto se puede lograr por medio de un trabajo articulado con actores que utilicen este tipo de fuentes móviles para sus actividades económicas.
- V. Realizar una estandarización de la tipología de maquinaria que se registra en el RUNT de manera que se evite duplicidad de términos para designar un mismo tipo de maquinaria.
- VI. Identificar la viabilidad de incorporar subpartidas arancelarias adicionales a las que son objeto de registro en la Resolución 1068 de 2015 del Ministerio de Transporte. Lo anterior, con el objetivo de incorporar nuevas fuentes móviles de emisiones de uso fuera de carretera que no hayan podido incluirse en el presente trabajo.
- VII. Incluir fuentes móviles marítimas, de recreación y aéreas en el RUNT o cualquier otra base del Estado, para poder realizar un estudio de sus emisiones contaminantes.





### 2.1. INTRODUCCIÓN

En esta parte se presenta la metodología utilizada para la generación del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a las fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia con año base 2018, así como los resultados obtenidos para la flota objeto de evaluación.

Los contaminantes atmosféricos que se contemplaron en este inventario son los siguientes:

- Material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).
- Monóxido de carbono (CO).
- Hidrocarburos (HC).
- Óxidos de nitrógeno (NOx).
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Carbono negro (BC o Black Carbon).
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Amoniaco (NH<sub>3</sub>)

Tal como se presentó en la parte 1 de este documento, la flota de fuentes móviles a considerar es aquella que se encontraba activa al año 2018 (que tuviera año modelo 2018 o inferior, o año modelo 2019 y registradas en el 2018), que funcionara con diésel como combustible y tuviera información sobre su potencia nominal. Luego de realizar el ajuste con base en la información de aduanas, la cantidad de fuentes móviles objeto de evaluación es 96.010.

# 2.2. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES

Las emisiones contaminantes son calculadas de acuerdo con la *Guía metodológica para la estimación de emisiones de maquinaria móvil no de carretera (Cálculo de emisiones del inventario)* elaborado por el Programa CALAC+ (2020), la cual a su vez se basa en la U.S. EPA (2018) y en la U.E. EEA (2019).

Existen varias características que influyen en la emisión de contaminantes como son la tipología, la potencia, la configuración del motor, los sistemas de control de emisiones, el deterioro, el combustible con el que funciona, entre otros. El inventario de maquinaria elaborado a partir de la metodología descrita en la parte 1 de este documento tiene información fundamental para la estimación de las emisiones contaminantes, sin embargo, carece de otra igual de esencial: cantidad de horas al día que trabaja la máquina, la carga que maneja, el nivel de deterioro del motor o de sus sistemas de control de emisiones y las emisiones contaminantes durante un ciclo de operación normal

De acuerdo con la U.S. EPA (2018), para estimar las emisiones contaminantes de la flota de maquinaria, se tiene la siguiente ecuación:

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

#### Ecuación 1

Donde:

Sub : subíndice que señala el segmento de la población que tiene los siguientes mismos atributos: tipo de maquinaria, potencia nominal, edad y estándar de emisiones.

 $E_i$ : emisiones del segmento *sub* de la población para el contaminante i en el año de evaluación [g/año].

*i* : subíndice para los contaminantes HC, CO, NOx, PM<sub>10</sub> CH<sub>4</sub> N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>.

 $N_{sub}$ : cantidad de maquinaria del segmento sub de la población.

NA<sub>sub</sub>: nivel de actividad al año [h/año] para el segmento sub de la población.

 $Pot_{coh}$ : potencia nominal del motor en [kW] para el segmento sub de la población.

 FC<sub>sub</sub> : factor de carga representativo de las condiciones de operación para el segmento sub de la población. Representa la fracción de la potencia nominal del motor a la que típicamente opera la maquinaria (adimensional).

FE<sub>sub,i</sub>: factor de emisión del contaminante *i* en estado estacionario del motor como si fuera nuevo para la maquinaria del segmento *sub* de la población. Representa las emisiones en gramos por unidad de energía, [g/kWh]. Para el caso de HC, se contemplan las emisiones del cárter en caso de que aplique<sup>5</sup>.

 $FAT_{sub,i}$ : factor para ajustar las emisiones del contaminante i obtenidas en ciclo en estado estacionario a ciclo en estado transitorio, (adimensional). No aplica para los contaminantes  $CH_4$   $N_2O$  y  $NH_3$ 

 $FD_{sub,i}$ : factor de deterioro que representa el ajuste del factor de emisiones del contaminante i por el envejecimiento o deterioro del motor y los sistemas de control de emisiones, (adimensional). No aplica para los contaminantes  $CH_4$   $N_2O$  y  $NH_3$ 

 $SMP_{sub,i}$ : ajuste de masa de  $PM_{10}$  por variación del contenido de azufre en el combustible respecto de los valores de azufre del combustible de certificación utilizado para la medición de  $FE_{sub,i}$ . Se expresa en [g/kWh].

Para CO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, las fórmulas son ligeramente distintas y se encuentran descritas a continuación:

La estimación del CO, se realiza de la siguiente manera:

$$E_{CO2} = \sum_{sub} [W_{sub} \cdot \left(BSFC_{sub} \cdot FAT_{sub,BSFC} - FE_{sub,HC} \cdot FAT_{sub,HC} \cdot FD_{sub,HC}\right) \cdot 0.87 \cdot (44/12)]$$

<sup>5</sup> Las emisiones del cárter aplican cuando el motor tiene un estándar de emisiones Tier 3 o inferior, ya que para aquellos certificados con Tier 4 tienen un sistema de recirculación de los gases del cárter. De acuerdo con U.S. EPA (2018), estas emisiones son aproximadamente el 2% de las emisiones de escape de hidrocarburos.

# DIRECCIÓN DE ASUNTOS AMBIENTALES, SECTORIAL Y URBANA

#### Ecuación 2

Donde:

 $E_{co2}$ : emisión de  $CO_2$  en [g/año].

W<sub>sub</sub>: el trabajo realizado por el segmento de población sub [kWh/año]. Es calculado a

partir de  $N_{sub} \cdot NA_{sub} \cdot Pot_{sub} \cdot FC_{sub}$ 

BSFC : consumo de combustible específico al freno en [g/kWh] del segmento sub de la

población.

*FAT<sub>sub,BSFC</sub>* : factor de ajuste transitorio para el BSFC.

FE<sub>sub.HC</sub>: factor de emisión de hidrocarburos (HC) [g/kWh] del segmento de población.

 $FE_{sub,HC}$ : factor de ajuste transitorio para el HC.

 $FD_{sub,HC}$ : factor de deterioro para el HC.

0,87 : fracción en masa de carbono en el diésel.

: proporción entre la masa del CO<sub>2</sub> y del carbono.

Por otro lado, la estimación del SO, se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{SO2} = \sum_{sub} [W_{sub} \cdot \left(BSFC_{sub} \cdot FAT_{sub,BSFC} \cdot (1 - soxcnv) - FE_{sub,HC} \cdot FAT_{sub,HC} \cdot FD_{sub,HC}\right) \cdot 0,01 \cdot soxdsl \cdot 2]$$

#### Ecuación 3

Donde:

 $E_{SO2}$  : emisión de SO<sub>2</sub> en [g/año].

: fracción de azufre convertida en material particulado. Para aquellos motores con

un estándar de emisiones Tier 4 intermedio y Tier 4 final que cumplan con un valor

máximo permisible de PM<sub>10</sub> de 0,1341 g/kWh, el valor de es 0,3. Para los

demás motores, el valor es 0,02247.

0,01 : factor de conversión de fracción porcentual a fracción por peso.

soxdsi : fracción porcentual del azufre en el diésel con el que funciona la maquinaria.

2 : proporción entre la masa del SO<sub>2</sub> y del azufre.

Para la estimación de  $CH_4$ ,  $N_2O$  y  $NH_3$ , las emisiones son calculadas con la ecuación 1 sin tomar en cuenta factores de ajuste y de deterioro; los factores de emisión son tomados de U.E. EEA (2019) y haciendo la siguiente equivalencia entre estándares de emisiones europeos y estadounidenses:

Tabla 8. Equivalencia supuesta para este inventario entre estándares estadounidenses y europeos

Estándares estadounidenses	Estándares europeos	
Tier 0	Pre-Stage I	
Tier 1	Stage I	
Tier 2	Stage II	
Tier 3	Stage IIIA	
Tier 4 intermedio	Stage IIIB	
Tier 4 final	Stage IV	
NA	Stage V	

Fuente: Programa CALAC+ (2020b).

En cuanto al  $PM_{2.5}$  y al carbono negro, las emisiones son estimadas tomando en consideración que estos contaminantes son una fracción del  $PM_{10}$ . En conformidad con la metodología de U.S. EPA (2018), el  $PM_{2.5}$  representa el 97% del  $PM_{10}$ , mientras que el carbono negro se estima con base en la información de la guía de la U.E. EEA (2019) y realizando la equivalencia entre los estándares de emisiones estadounidenses y los europeos que se encuentra en la tabla 8.

Tabla 9. Fracción de carbono negro en el PM<sub>10</sub> asociado a motores de fuentes móviles de uso fuera de carretera

Tecnología	Diésel < 130 kW		Diésel	l ≥ 130 kW
	f-BC	+/- (%)	f-BC	+/- (%)
Tier 0	0,55	10	0,50	20
Tier 1	0,80	10	0,70	20
Tier 2	0,80	10	0,70	20
Tier 3	0,80	10	0,70	20
Tier 4I (A, B)	0,80	50	0,70	20
Tier 4I (C, D)	0,15	50	0,15	20
Tier 4F (A, B)	0,80	50	0,70	30
Tier 4F (C, D)	0,15	50	0,15	30

Nota: Tier 4I (Tier 4 intermedio) y Tier 4F (Tier 4 final) pueden variar en función de la tecnología incluida, donde A y B no tienen filtro de partículas (DPF), mientras que C y D tienen DPF<sup>6</sup>.

Fuente: Programa CALAC+ (2020b).

La siguiente tabla resume las fuentes de información utilizadas para obtener los parámetros que se requieren en las ecuaciones 1, 2 y 3.

<sup>6</sup> Véase tabla 19

Tabla 10. Fuentes de información utilizadas para la estimación de parámetros necesarios para el cálculo de las emisiones contaminantes

Parámetro	Fuente de información primaria
Número total de unidades de maquinaria	Parte 1 de este documento - Construcción del inventario de flota de maquinaria en Colombia.
Nivel de actividad	Los valores se obtuvieron de <i>Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling</i> (U.S. EPA, 2010), con base en las tipologías obtenidas en la parte 1 del presente documento.
Potencia nominal	Parte 1 de este documento - Construcción del inventario de flota de fuentes móviles de uso de fuera de carretera en Colombia.
Factor de carga típico por maquinaria	Los valores se obtuvieron de <i>Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling</i> (U.S. EPA, 2010), con base en las tipologías obtenidas en la parte 1 del presente documento.
Factores de emisión para HC, CO, NOx, PM <sub>10</sub> y BSFC	Los valores se obtuvieron de <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> (U.S. EPA, 2018), tomando en consideración los estándares de emisiones asignados en la parte 1 del presente documento.
Factor de ajuste transitorio	Los valores se obtuvieron de <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> (U.S. EPA, 2018), tomando en consideración los estándares de emisiones y la tipología de maquinaria descrita en la parte 1 del presente documento.
Factor de deterioro	La metodología de cálculo del factor de deterioro se tomó de Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b (U.S. EPA, 2018).
Ajuste de masa de PM <sub>10</sub>	La metodología de cálculo del ajuste del material particulado se tomó de <i>Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad</i> <i>Compression-Ignition Engines in MOVES2014b</i> (U.S. EPA, 2018).
Factores de emisión para CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O y NH <sub>3</sub>	Los factores de emisión son tomados de EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook U.E. EEA (2019). Para $\rm N_2O$ y $\rm NH_3$ los factores de emisión no varían por potencia, ni por estándar, de acuerdo con la U.E. EEA (2019), sus valores son 0,035 g/kWh y 0,002 g/kWh, respectivamente.

#### 2.2.1. NIVEL DE ACTIVIDAD

El nivel de actividad de las fuentes móviles de uso fuera de carretera es un parámetro fundamental en el cálculo de las emisiones, ya que describe cuántas horas en un periodo determinado la fuente móvil se encuentra operando. Al no haber información sobre la operación local, se utilizan los datos que se encuentran por la U.S. EPA (2010). En tal documento, la U.S. EPA describe el nivel de actividad de varias tipologías de maquinaria codificadas con un consecutivo de clasificación de fuente (SCC, por sus siglas en inglés); para poder utilizar estos valores, se tuvo en cuenta la homologación o equivalencia realizada en la tabla 3.

La relación entre los códigos SCC y las tipologías descritas en el inventario está en la tabla 20, así como su nivel de actividad y factor de carga.

#### 2.2.2. FACTOR DE CARGA

El factor de carga es un valor que permite ajustar la potencia máxima del motor para que represente la potencia utilizada en uso normal, teniendo en cuenta que la maquinaria no funciona a carga completa el 100% del tiempo de la operación, sino que varía dependiendo del trabajo a realizar. Al igual que el nivel de actividad, el factor de carga depende de la operación específica de la maquinaria, pero al no tener información local se utilizan los datos de U.S. EPA (2010), que se encuentran en la tabla 20.

## 2.2.3. FACTOR DE EMISIÓN EN ESTADO TRANSITORIO

Previo al ingreso o comercialización de las fuentes móviles de uso fuera de carretera en los países en que existe regulación, se realiza una evaluación ambiental de los motores que van a instalarse en la maquinaria, mediante la ejecución de una prueba en dinamómetro al motor prototipo y la verificación del cumplimiento del estándar de emisiones que ha adoptado el país en cuestión. Antes de la implementación de los estándares Tier 4 intermedio y final, la evaluación se realizaba utilizando un ciclo de operación compuesto de varios puntos en estado estacionario, descritos en la norma ISO 8178 (International Organization for Standardization, 2017); para los estándares más recientes, además de la evaluación del motor en un ciclo de operación en estado estacionario, se realiza una evaluación en estado transitorio, teniendo en cuenta la naturaleza dinámica de la operación de la maquinaria. Este estado transitorio está caracterizado por un perfil de par motor y régimen del motor en un tiempo determinado NRTC (Non Road Transient Cycle -ciclo transitorio no vial), en lugar de puntos de operación que describen estados estacionarios (Non Road Steady State Cycle, NRSC – ciclo de estado estable no vial); los cambios en el par motor y en el régimen tienen la intención de retratar la operación del motor cuando la maquinaria está en uso.

En U.S. EPA (2018), los factores de emisión que se reportan para motores que cumplen estándares de emisión Tier 0, Tier 1, Tier 2 o Tier 3 se obtienen de pruebas realizadas bajo el ciclo de operación en estado estacionario; por lo tanto, para tomar en consideración la operación transitoria de esta maquinaria, los factores deben ajustarse a través de los factores de ajuste a ciclo transitorio. Para los estándares de Tier 4 (intermedio o final), los valores fueron obtenidos a partir de pruebas realizadas con el ciclo de operación en estrado transitorio, por lo que no requieren ninguna corrección de este tipo.

En la tabla 21 se encuentran los factores de emisión según rango de potencia y estándar de emisiones para el BSFC, HC, CO, NOx,  $PM_{10}$  y  $CH_4$ . Para aquella maquinaria clasificada con los estándares de emisiones Tier 4i o final del inventario, se tomó el valor promedio de las diferentes configuraciones dentro del estándar y rango de potencia que correspondiesen, ya que no se tiene información sobre los sistemas de control de emisiones que pueda tener la maquinaria. Por ejemplo, para los motores con potencia menor a 8 kW, el documento U.S. EPA (2018) establece los siguientes factores de emisión para Tier 4FA y Tier 4FB (dos primeras filas):

Tabla 11. Factores de emisión Tier 4 para motores con potencia menor a 8 kW

Rango de potencia	Estándar de emisiones	BSFC [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM <sub>10</sub> [g/kWh]
kW<8	Tier 4FA	248,18	0,72	2,79	5,41	0,29
kW<8	Tier 4FB	248,18	0,99	3,02	5,58	0,25
kW<8	Tier 4F (promedio de Tier 4FA y Tier 4FB)	248,18	0,86	2,91	5,50	0,27

En la tercera fila se muestran los promedios realizados de los valores de Tier 4FA y Tier 4FB que se asignaron a los motores que tuvieran aquella potencia y aquel estándar en cuestión. Este procedimiento se aplicó para los demás rangos de potencia (véase tabla 21).

#### 2.2.4. FACTOR DE AJUSTE TRANSITORIO

Los factores de emisión de los motores con un estándar de emisiones Tier 3 o inferior deben ajustarse como se dijo anteriormente. Este ajuste es realizado a partir de unos factores de corrección, descritos en U.S. EPA (2018) para cada tipología, estándar de emisiones y contaminante. En la tabla 22 se muestran los factores de ajuste para los contaminantes HC, CO, NOx y PM<sub>10</sub>, y para el consumo de combustible específico del freno, BSFC, que se utilizaron para cada máquina según su estándar de emisiones.

#### 2.2.5. FACTOR DE DETERIORO

El deterioro de los sistemas de control de emisiones o de componentes del motor conlleva a un incremento de las emisiones, que puede representarse matemáticamente con un factor que corrige los valores de las emisiones específicas del motor en cuestión. El factor de deterioro es función de la edad: las emisiones incrementan a medida que el motor envejece hasta llegar a un valor máximo que resulta cuando se ha llegado al máximo de su vida útil. Para calcular este factor, primero debe estimarse la fracción de la vida útil o el factor de edad que tiene el motor en particular por medio de la siguiente ecuación:

$$Factor\ Edad_{sub} = rac{Edad\cdot NA_{sub}\cdot FC_{sub}}{Vida\ Media_{sub}}$$

#### Ecuación 4

La vida media es un valor estadístico que describe la vida útil que tiene una maquinaria en particular. Al no tener información local, se utilizan los valores estimados por la U.S. EPA (2010) según el rango de potencia del motor instalado en la máquina:

Tabla 12. Vida media según potencia del motor

Rango de potencia	Vida media [h]
kW<8	
8≤kW<12	2500
12≤kW<19	2500
19≤kW<37	
37≤kW<56	
56≤kW<75	4667
75≤kW<130	4667
130≤kW<225	
225≤kW<450	7000
450≤kW<560	1000
560≤kW	

Fuente: U.S. EPA (2010).

Luego de obtener el factor de edad para el segmento de la población, se procede a calcular el factor de deterioro por medio de las siguientes ecuaciones, según corresponda:

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i} \cdot (Factor\ Edad_{sub})^b; \ \ Si\ Factor\ Edad_{sub} < 1$$
 Ecuación 5

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i}$$
; Si Factor  $Edad_{sub} \ge 1$ 

#### **Ecuación 6**

Donde:

 $A_{sub,i}$ : para cada contaminante i es una constante definida según el tipo de maquinaria y el estándar de emisiones. El valor se obtiene a partir de la información de la U.S. EPA (2018), que se encuentra descrita en la tabla 13. Como puede verse, al momento en que la maquinaria cumple su vida útil, el factor de deterioro toma su máximo valor que es  $1 + A_{sub,i}$ .

b : constante e igual a 1 para motores diésel, ya que se considera un deterioro lineal en función de la edad.

Tabla 13. Factor de deterioro relativo (A) (% incremento/%vida útil)

Contaminante	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3 y Tier 4
HC	0,047	0,036	0,034	0,027
СО	0,185	0,101	0,101	0,151
NOx	0,024	0,024	0,009	0,008
PM <sub>10</sub>	0,473	0,473	0,473	0,473

Fuente: U.S. EPA (2018).

Cabe aclarar que este modelo no toma en cuenta cambios de motor (*overhauls*) que prolongan la vida útil, que es una práctica que sucede en Colombia.

#### Muestra de cálculo

Estimar las emisiones de hidrocarburos de tres tractores utilizados en el sector industrial, que tienen tres años de uso, con una potencia nominal de 120 kW y un estándar de emisiones Tier 1.

De acuerdo con las tablas de información, se tienen los siguientes valores para ingresarse en las ecuaciones que corresponda:

Parámetro y valor	Fuente de información
$NA = 1135 \left[ h/a\tilde{n}o \right]$	Tabla 20
FC = 0,21	Tabla 20
$FE = (1 + 0.02) \cdot 0.45 \ [g/kWh]$ $FE = 0.46 \ [g/kWh]$	Tabla 21 El factor 0,02 corresponde a las emisiones de cárter. Recuerde que este factor relacionado con las emisiones del cárter solamente aplica para las emisiones de hidrocarburos y para los motores con un estándar de emisiones igual o inferior a Tier 3.
FAT = 2,29	Tabla 22
A = 0,036	Tabla 13
Vida media = 4667	Tabla 12

Ecuación 4:

Factor Edad = 
$$\frac{3 \left[a\tilde{n}o\right] \cdot 1135 \left[h/a\tilde{n}o\right] \cdot 0.21}{4667 h}$$

 $Factor\ Edad = 0.1532$ 

Como el factor de edad es menor a 1, se utiliza la Ecuación 5:

$$FD = 1 + 0.036 \cdot (0.1532)^{1}$$

$$FD = 1,006$$

Luego, se utiliza la Ecuación 1

al tener todos los parámetros para calcular las emisiones de los hidrocarburos:

$$E_{HC} = 3 \cdot 1135 \left[ \frac{h}{a\tilde{n}o} \right] \cdot 120 [kW] \cdot 0.21 \cdot 0.46 [\frac{g}{kWh}] \cdot 2.29 \cdot 1.006$$

$$E_{HC} = 90930 \left[ \frac{g}{a\tilde{n}o} \right]$$

#### 2.2.6. AJUSTE POR AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE

El azufre en el combustible incide directamente en la producción de material particulado en la combustión, por lo que debe tomarse en cuenta el contenido de este elemento en el combustible con el que trabaja la maquinaria. Para lo anterior, se utiliza la metodología descrita en U.S. EPA (2018) que ajusta las emisiones del material particulado con base en el porcentaje de azufre que se

encuentra en el diésel. La siguiente ecuación describe la manera cómo se calcula el ajuste SMP<sub>sub</sub>;

$$SMP = BSFC \cdot FAT_{BSFC} \cdot 7 \cdot soxcnv \cdot 0.01 \cdot (soxbas - soxdsl)$$

#### Ecuación 7

Donde:

7 : gramos de sulfato de  $PM_{10}$  / gramos de azufre en  $PM_{10}$ 

0,01 : conversión de porcentaje a fracción.

soxbas 7 contenido percentual de exufre usas

: contenido porcentual de azufre usado en el combustible de certificación del

motor [%].

**soxdsl** : contenido porcentual de azufre en el combustible que utiliza la maquinaria [%].

Para el caso de este inventario, se utilizó un valor de 50 ppm, de acuerdo con el

contenido máximo que se permite en el país.

#### Muestra de cálculo

Estimar las emisiones de material particulado  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y carbono negro (BC) de 8 abonadoras utilizadas en el sector agrícola, que tienen 5 años de uso, con una potencia nominal de 210 kW y un estándar de emisiones Tier 3. El diésel con el que funcionan las abonadoras tiene un contenido de azufre de 50 ppm (0,005%).

De acuerdo con las tablas de información, se tienen los siguientes valores para ingresarse en las ecuaciones que corresponda:

Parámetro y valor	Fuente de información
NA = 381 [h/año]	Tabla 20
FC = 0,59	Tabla 20
$FE_{PM_{10}} = 0.20 [g/kWh]$	Tabla 21
$FAT_{PM_{10}} = 1,47$	Tabla 22
A = 0.473	Tabla 13
Vida media = 4667	Tabla 12
BSFC = 226,3340 [g/kWh]	Tabla 21
$FAT_{BSFC} = 1,01$	Tabla 22

<sup>7</sup> Véase tabla 23

Ecuación 4:

Factor Edad = 
$$\frac{5 \left[a\tilde{n}o\right] \cdot 381 \left[h/a\tilde{n}o\right] \cdot 0.59}{4667 \ h}$$

 $Factor\ Edad = 0.2408$ 

Como el factor de edad es menor a 1, se utiliza la Ecuación 5:

$$FD = 1 + 0.473 \cdot (0.2408)^{1}$$

$$FD = 1,114$$

Para calcular el ajuste por contenido de azufre, se utiliza la Ecuación 7:

$$SMP = 226,3340 [g/kWh] \cdot 1,01 \cdot 7 \cdot 0,02247 \cdot 0,01 \cdot (0,2 - 0,005)$$

$$SMP = 0.0701 \left[ g/kWh \right]$$

Luego, se utiliza la Ecuación 1 al tener todos los parámetros para calcular las emisiones de PM,:

$$E_{PM_{10}} = 8 \cdot 381 \left[ \frac{h}{a\tilde{n}o} \right] \cdot 210 [kW] \cdot 0.59 \cdot (0.20 \left[ \frac{g}{kWh} \right] \cdot 1.47 \cdot 1.114 - 0.0701 \left[ \frac{g}{kWh} \right])$$

$$E_{PM_{10}} = 97212 \left[ \frac{g}{a\tilde{n}o} \right]$$

Para calcular las emisiones de PM<sub>2 5</sub>, se utiliza el factor descrito en EPA (2018):

$$E_{PM_{25}} = E_{PM_{10}} \cdot 0.97$$

$$E_{PM_{25}} = 94296 \left[ \frac{g}{a\tilde{n}o} \right]$$

De acuerdo con la tabla 9, la fracción de carbono negro (BC) en el material particulado  $PM_{10}$  es 0,70, por lo que el valor de las emisiones de este contaminante climático de vida corta es:

$$E_{BC} = 68049 \left[ \frac{g}{a\tilde{n}o} \right]$$

# 2.3. RESULTADOS

En la presente sección, se presentan los resultados de los contaminantes emitidos en el 2018 por la maquinaria que operaba en Colombia para ese año. Para la correcta interpretación de los resultados se debe tener presente que la categoría del sector de construcción en el RUNT incluye la maquinaria de minería, conforme a lo establecido en la Resolución 1068 del 2015 del Ministerio de Transporte.

Tabla 14. Resultados de emisiones en el 2018 de PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO, por rubro

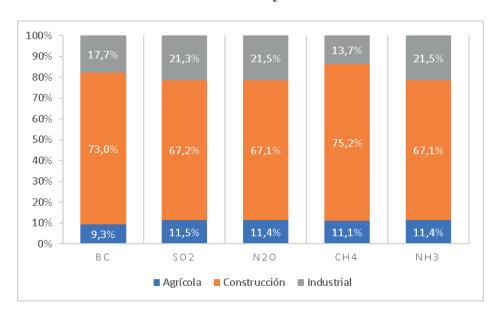
Rubro	PM <sub>10</sub> [t]	PM <sub>2.5</sub> [t]	NO <sub>x</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	CO <sub>2</sub> [t]
Agrícola	233,1	226,1	2.992,0	1.825,0	280,6	376.160,3
Construcción	2.036,4	1.975,3	23.081,8	12.911,6	2.419,2	2.203.693,8
Industrial	475,1	460,9	7.313,0	3.038,7	561,9	697.571,7
Total	2.744,6	2.662,2	33.386,7	17.775,3	3.261,7	3.277.425,7

Tabla 15. Resultados de emisiones en el 2018 de BC, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, y NH<sub>3</sub> por rubro

Rubro	BC [t]	SO <sub>2</sub> [t]	N <sub>2</sub> O [t]	CH₄ [t]	NH <sub>3</sub> [t]
Agrícola	164,3	11,5	17,5	6,1	1,0
Construcción	1.291,5	67,5	103,2	41,3	5,9
Industrial	313,2	21,4	33,1	7,5	1,9
Total	1.769,0	100,4	153,8	54,9	8,8

En las siguientes figuras, se muestra el porcentaje que tiene cada rubro en los contaminantes evaluados:

Figura 7. Porcentaje por rubro de la emisión total por contaminante para PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO $_{_2}$ 



100% 17,3% 17,3% 17,29 90% 21,99 21,3% 80% 70% 60% 50% 74,2% 74,2% 69,1% 40% 30% 20% 10% 10,3% 11,5% 8,5% 8,5% 9,0% 8,6% 0% PM10 PM2.5 Nox СО ΗС C 0 2 ■ Agrícola ■ Construcción ■ Industrial

Figura 8. Porcentaje por rubro de la emisión total por contaminante para BC, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, y NH<sub>3</sub>

Respecto a la contribución de cada rango de potencia por cada contaminante se tienen las siguientes figuras:

Figura 9. Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para PM10, PM2.5 y NOx

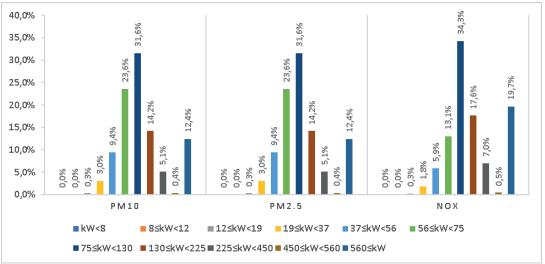


Figura 10. Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para CO, HC y CO,

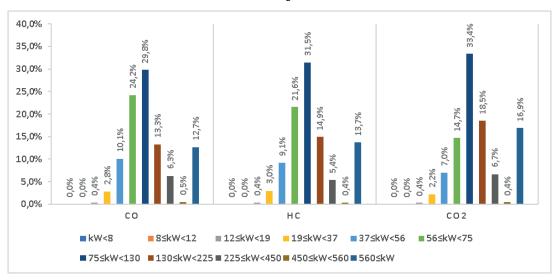
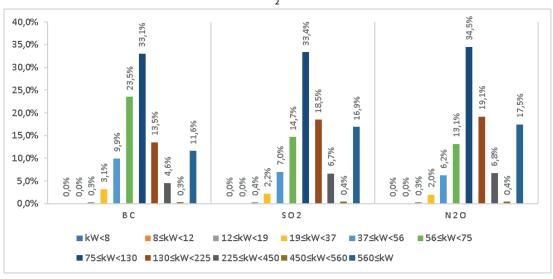


Figura 11. Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para BC,  $SO_2$  y  $N_2O$ 



45,0% 34,5% 40,0% 35,0% 30,0% 25,0% 20,0% 15,0% 10,0% 5,0% 0,0% ■ kW<8 ■8≤kW<12 ■ 12≤kW<19 ■ 19≤kW<37 ■37≤kW<56 ■56≤kW<75 ■75≤kW<130 ■130≤kW<225 ■ 225≤kW<450 ■ 450≤kW<560 ■ 560≤kW

Figura 12. Porcentaje por rango de potencia de la emisión total por contaminante para CH<sub>4</sub>, y NH<sub>3</sub>

Por otro lado, se muestra la distribución porcentual por rubro y por estándar de emisiones:

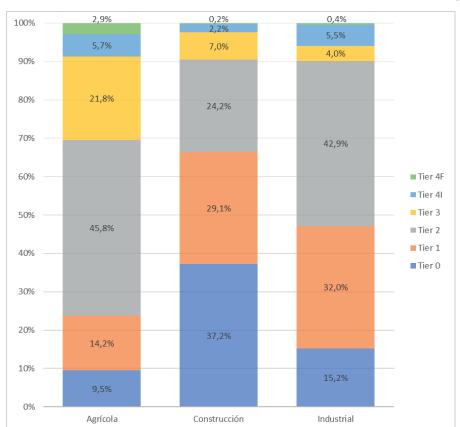


Figura 13. Distribución porcentual de la maquinaria por estándar de emisiones según rubro

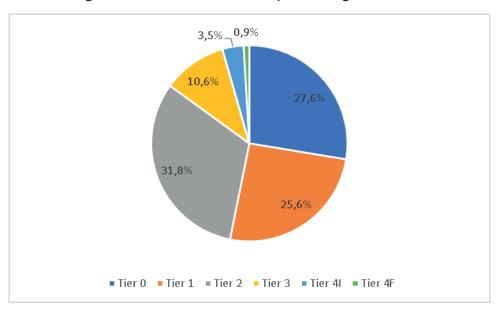


Figura 14. Distribución de la maquinaria según estándar

Adicionalmente, se realiza la estimación de las emisiones para Bogotá, utilizando los factores de actividad de los sectores agrícola, de construcción y manufacturero que se encuentran en las tablas 5, 6 y 7:

Tabla 16. Resultados de emisiones en el 2018 de PM10, PM2.5, NOx, CO, HC y CO<sub>2</sub> por rubro para Bogotá D.C.

Rubro	PM <sub>10</sub> [t]	PM <sub>2.5</sub> [t]	NO <sub>x</sub> [t]	CO [t]	HC [t]	CO <sub>2</sub> [t]
Agrícola	0,1	0,1	1,8	1,1	0,2	231,1
Construcción	357,1	346,3	4.047,1	2.263,9	424,2	386.391,2
Industrial	86,6	84,0	1.333,2	554,0	102,4	127.169,7
Total	443,8	430,5	5.382,1	2.819,0	526,8	513.792,0

Tabla 17. Resultados de emisiones en el 2018 de BC,  $SO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ , y  $NH_3$  por rubro para Bogotá D.C.

Rubro	BC [t]	SO <sub>2</sub> [t]	N <sub>2</sub> O [t]	CH₄ [t]	NH <sub>3</sub> [t]
Agrícola	0,1	0,01	0,01	0,004	0,001
Construcción	226,4	11,8	18,1	7,2	1,0
Industrial	57,1	3,9	6,0	1,4	0,3
Total	283,6	15,7	24,1	8,6	1,4

Nota: se amplía la cantidad de decimales para SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y NH<sub>3</sub> en el rubro agrícola para que no aparezcan en cero cuando se contempla una sola cifra decimal.

Cabe aclarar que, al no haber una distinción en el sistema de información RNMA de la maquinaria que va a utilizarse para el sector de construcción o para el de minería, existe un factor adicional de

incertidumbre al no poder distinguir cuántas máquinas que se encuentran registradas en el rubro de construcción son utilizadas en el sector de minería.

## 2.4. CONCLUSIONES

El sector que más contribuye en las emisiones contaminantes es el de construcción. Dependiendo del contaminante, este sector aporta entre el 67% y el 75% de las emisiones de la flota, valores superiores al porcentaje en términos de cantidad de maquinaria activa en el 2018 que representa el sector: 63%. La razón de esto puede inferirse por la distribución tecnológica por rubro que se muestra en la figura 13, en la que se evidencia que este sector tiene un gran porcentaje de maquinaria con los niveles tecnológicos menos avanzados, Tier 0 y Tier 1, respecto a los otros dos sectores.

Los valores de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  estimados para Bogotá D.C. son significativos, tomando en consideración que, de acuerdo con los resultados del inventario del 2014 realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente -SDA (2017, p. 74), los valores del material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  para fuentes móviles fueron de 1475 t y 1224 t, respectivamente. Actualmente, no se tiene información oficial del 2018, excepto por unos resultados preliminares que se encuentran publicados por la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C. -SDM (2019, p. 10), en el que los valores reportados para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  fueron 1847 t y 1677 t, respectivamente. Con estos valores preliminares, la participación estimada de la maquinaria en las fuentes móviles para estos contaminantes sería de 19,3% y 20,4%, respectivamente.

# 2.5. RECOMENDACIONES

- I. Realizar proyectos piloto para estimar los factores de emisión locales y factores de actividad de la maquinaria que se encuentra en el país, con el fin de poder estimar con mayor exactitud las emisiones totales de este tipo de fuentes móviles.
- II. Realizar estudios que evalúen los factores de emisión de la maquinaria a la que se le cambien motores (*overhauls*) para ampliar la vida útil, con el fin de que los inventarios futuros consideren esta afectación.
- III. Incluir la maquinaria con motores que tengan una potencia igual o superior a 560 kW en la normativa de regulación ambiental, tomando en consideración el porcentaje considerable que tiene en términos de emisiones contaminantes. A pesar de que estas máquinas representan menos del 1% en términos de cantidad, sus emisiones, dependiendo del contaminante, varían entre el 4,2% y el 19,7%.



# **BIBLIOGRAFÍA**

- Bas Machinery (2021). Bas Machinery [en línea]. Recuperado de: https://www.basmachinery.com/
- Bogotá D. C. Secretaría Distrital de Ambiente SDA (2017). Documento técnico de soporte modificación del Decreto 98 del 2011. Recuperado el 13 de agosto del 2020 de http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\_library/get\_file?uuid=d134928c-8756-4a69-ad18-ff09bb822fef&groupId=3564131.
- **Bogotá D. C. Secretaría Distrital de Movilidad SDM (2019).** Inventario de emisiones de fuentes moviles y fuentes fijas industriales año 2018 (documento en validación). Recuperado el 13 de agosto del 2020 de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-2020/inventario\_de\_emisiones\_2018\_version\_enero\_2020.pdf.
- Caterpillar (2021). CAT [en línea]. Recuperado de: https://www.cat.com/en\_MX.html
- Colombia. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA (2020). Informe de gestión 2019. Recuperado el 05 de agosto del 2020 de la página http://www.anla.gov.co/documentos/planeacion\_y\_gestion/15\_informes\_de\_gestion\_de\_la\_anla/2019/20200131%20Informe%20 Gestio%CC%81n%20ANLA%202019.pdf.
- Colombia. Congreso de la República (2006). Ley 1006 de 2006. Por la cual se reglamenta la profesión de Administrador Público y se deroga la Ley 5ª de 1991.
- **Colombia. Departamento Nacional de Estadística DANE (2014).** Censo Nacional Agropecuario 2014. Recuperado el 05 de agosto del 2020 de la página https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf
- Colombia. Departamento Nacional de Estadística DANE (2020). Cuentas nacionales departamentales: PIB por departamento. Recuperado el 05 de agosto del 2020 de la página https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales
- **Colombia. Ministerio de Transporte (2015).** Resolución 1068 de 2015. Por medio de la cual se reglamenta el Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada y se dictan otras disposiciones.
- Colombia. Presidencia de la República (2012). Decreto Ley 019 de 2012. Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública.
- Colombia. RUNT (2019). Base de datos del Registro Único Nacional de Tránsito para la flota de maquinaria registrada hasta el 2019.
- Construction Equipment (2021). Construction Equipment [en línea]. Recuperado de: https://www.constructionequipment.com/
- **Construction Equipment Guide (s.f.).** Construction Equipment Guide [en línea]. Recuperado de: https://www.constructionequipmentguide.com/
- **Dallmann, T., & Menon, A. (2016).** Technology Pathways for Diesel Engines Used in Non-Road Vehicles and Equipment. In The International Council on Clean Transportation. Disponible en la página en https://theicct.org/sites/default/files/publications/Non-Road-Tech-Pathways\_white-%20 paper\_vF\_ICCT\_20160915.pdf
- **Equipment Watch (2021).** Equipment Watch [en línea]. Recuperado de:https://app. equipmentwatch.com/search/by-manufacturer
- Frontline Construction (2021). Frontline Construction Equipment [en línea]. Recuperado de:https://drsdrills.com/
- International Agency for Research on Cancer (2012). IARC: DIESEL ENGINE EXHAUST CARCINOGENIC IARC. Recuperado del 28 de enero del 2020de https://www.iarc.fr/news-events/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/
- International Organization for Standardization (2017). Reciprocating internal combustion engines Exhaust emission measurement Part 4: Steady-state and transient test cycles for different engine applications (ISO 8178-4:2020). Disponible en: https://www.iso.org/standard/79199. html

- Kelly Tractor Co. (2021). Kelly Tractor CAT [en línea]. Recuperado de: https://www.kellytractor.com/
- Lectura (2021). Lectura Specs [en línea]. Recuperado de: https://www.lectura-specs.es/es
- LegisComex (2020). Base de datos generada en LegisComex para las importaciones realizadas entre 2009 y 2018 para las subpartidas 8429110000, 8429190000, 8429510000, 8429520000, 8429590000, 8905100000.
- Machinery Trader (2021). Machinery Trader [en línea]. Recuperado de:https://www.machinerytrader.es/
- Machinery Trader (2021). Machinery Trader [en línea]. Recuperado de:https://www.machinerytrader.com/
- Maquqam (2015). Maquqam [en línea]. Recuperado de: http://maquqam.com/
- My tractor (2021). MyTractor [en línea]. Recuperado de:https://www.mytractor.com/es/
- Pacific Coast Iron (2021). Pacific Coast Iron Equipment Services [en línea]. Recuperado de: https://www.pciheavyequipment.com/
- 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
- **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
- Purple Wave Auction (2021). PurpleWave [en línea]. Recuperado de: https://www.purplewave.com/
- Ritchie Bros (2018). RITCHIE Specs [en línea]. Recuperado de: https://www.ritchiespecs.com/
- TRACSA (2021). TRACSA CAT [en línea]. Recuperado de: https://www.tracsa.com.mx/
- Tractor Data (2021). Tractor Data [en línea]. Recuperado de: http://www.tractordata.com/
- TradeMachines (2021). TradeMachines [en línea]. Recuperado de:https://trademachines.com.co/
- **U.E. EEA (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/emepeea-guidebook-2013/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-non-road-mobile-sources/view
- **U.E. EEA (2019).** EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Disponible en https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019.
- U.S. EPA (1991). Nonroad Engine and Vehicle Emission Study. Disponible en https://nepis.epa.gov/ Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100Al9E.TXT
- U.S. EPA (2002). Nonroad Engine Growth Estimates. Disponible en https://nepis.epa.gov/Exe/ ZyPURL.cgi?Dockey=P10005FN.TXT
- **U.S. EPA (2005a).** Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrappage. Disponible en https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1004L8U.TXT
- **U.S. EPA (2005b).** 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
- **U.S. EPA (2005c).** User's Guide for the Final NONROAD2005 Model. Disponible en https://nepis.epa. gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1004L24.TXT
- **U.S. 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
- **U.S. 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
- Winther, M., & Nielsen, O. (2006). Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985 2004 and projections from 2005-2030. Disponible en https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\_Public/37/098/37098389.pdf.
- Ziegler Rental (2021). Ziegler Rental [en línea]. Recuperado de:https://www.zieglerrental.com/

# **Anexo**

### Tipología de Fuentes Móviles de Uso Fuera de Carretera

En la siguiente tabla se presenta la tipología utilizada por el RUNT de aquellos equipos que utilizan diésel, y su homologación estandarizada EPA, junto con su definición y referente ilustrativo a manera de ejemplo.

**Tabla 18**. Tipologías y definiciones de fuentes móviles de uso fuera de carretera

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Plataforma de elevación	Plataformas telescópicas (articulado, tijeras, y otros), equipo de ascensores para el personal también llamado levanta hombre. (ej. JLG 600AJ)	Plataforma telescópica	
Maquina barredora, barredora	Vehículos de barrido autopropulsado. (ej. DULEVO 5000)	Barredora	STORE
Bulldozer	Es un tipo de niveladora que empuja y excava la tierra (no es posible cargar materiales sobre camiones tolva). Es utilizada principalmente en construcción y minería. (ej. CATERPILLAR D5G LGP)	Bulldozer	
Camión, camión carga extensa, camión estéril	Equipo autopropulsado para uso fuera de carretera usado para volteo. Su potencia tiende a ser mayor a 50kw	Camión fuera de carretera	

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Cargador, cargadora frontal	Carga con una cuchara de montaje frontal para sacar material con pala, aunque puede utilizar otros accesorios en lugar de un cubo.	Cargador frontal	
Carretilla apiladora, carretilla elevadora, montacargas	Equipo diseñado para levantar materiales en almacenes, bodegas, industrias y otros fines generales.	Grúa horquilla	
Motoniveladora	Equipo dotado con una hoja metálica para nivelar terrenos o refinar taludes	Motoniveladora	COACH STORY
Irrigador	Equipo diseñado para aspersión de líquidos a presión como por ejemplo mezcla asfáltica	Irrigador	
Cortadora	Equipo autopropulsado diseñado para mantener una superficie verde según altura deseada	Cortacéspedes con motor trasero	No.
Dumper (volqueta articulada), volqueta sobre oruga	Pequeños cargadores o camiones, para espacios confinados y de carga ligera. Se utilizan normalmente para proyectos de construcción pequeños.	Dúmper	

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Excavadora, miniexcavadora	Excavadoras de ruedas o de orugas, diseñadas principalmente para excavar con una cuchara o cubo. (ej. Caterpillar 321D LCR)	Excavadora	
Fumigadora, pulverizador agrícola	Equipo con atomizador diseñado para la pulverización en cultivos (ej. CASE IH PATRIOT 250 EXTREME)	Fumigadores / pulverizadores	000
Camión grúa, grúas.	Grúas autopropulsadas que usan cables de elevación. No confundir con equipamientos montados en camiones u otros equipos de uso en carretera.	Grúa telescópica	
Cosechadora	Equipo para la ciega destinados a cosechar o enfardar	Cosechadora	
Cambiadora de riel	Equipo diseñado para el cambio o renovación de durmientes y rieles (ej. SWING MASTER 361)	Mantenimiento ferroviario	
Gator	Equipo autopropulsado diseñado para el transporte de carga pequeña (ej. JOHN DEERE 825i)	Otros equipos agrícolas	

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Alzadora de caña	Equipo diseñado para recolectar caña (ej. JOHN DEERE 2254)	Otros equipos agrícolas	
Abonadora	Equipo diseñado para la distribución de correctivos, fertilizantes y semillas (ej. STARA HERCULES 6.0)	Otros equipos agrícolas	
Trasplantadora	Equipo diseñado para el trasplante de horizontes (suelo) (ej. KUBOTA NSPU-68C)	Otros equipos agrícolas	
Cribas	Equipo autopropulsado con rodaje tipo oruga. Es diseñado para separar material por granulometría.	Otros equipos de construcción Otros equipos agrícolas	
Autohormigonera	Es un equipo diseñado para fabricar, transportar y descargar el hormigón.	Otros equipos de construcción Otros equipos industriales generales	L4700 DIECE:
Equipo de demolición	Equipo diseñado para la demolición. Cuenta con rodaje tipo oruga.	Otros equipos de construcción	
Recicladora de pavimentos	Equipo diseñado para retirar la carpeta asfáltica o estabilizar suelos.	Otros equipos de construcción	

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Pavimentadora, finisher	Equipo diseñado para distribuir y darle forma a la carpeta asfáltica.	Pavimentadora	
Perforadora	Equipo autopropulsado diseñado para perforar estratos geológicos.	Perforadoras	
Piloteadora	Equipo autopropulsado diseñado para el montaje o instalación de pilotes.	Perforadoras	
Taladro	Equipo giratorio de perforación de barrenos.	Perforadoras	
Taladro perforación pozo petrolero	Equipo autopropulsado diseñado para perforar estratos geológicos.	Perforadoras	
Mototraílla	Equipo diseñado para excavación, carga, transporte, descarga o nivelación de terrenos	Mototraílla	
Compactador, aplanadora, vibrocompactador	Equipo autopropulsado dotado de uno o varios rodillos o ruedas diseñados para aplanar- compactar superficies (ej. CATERPILLAR CB24B)	Rodillos	

Tipología de equipo/ maquinaria según RUNT	Definición	Tipología de equipo/maquinaria estandarizada	Ilustración de referencia
Retroexcavadora, retrocargador, mini retroexcavadora	Maquinaria multipropósito que posee una pala cargadora y una cuba. Que cumple la función de una excavadora y un cargador frontal. (ej. BOBCAT B730)	Retroexcavadora	
Tractor	Equipo diseñado para remolcar, arrastrar o empujar (ej. KUBOTA M9540)	Tractor agrícola	www.dleselkubota.com.co
Tractor sobre orugas	Equipo diseñado para remolcar, arrastrar o empujar, que está sobre orugas.	Tractor sobre orugas	
Zanjadora	Equipo diseñado para cortes de suelo o zanjas	Zanjadora	

Tabla 19. Clasificación de los motores con sistemas de control de emisiones según estándar

Clasificación	DPF	SCR
Tier 4IA o Tier 4FA	No	No
Tier 4IB o Tier 4FB	No	Sí
Tier 4IC o Tier 4FC	Sí	No
Tier 4ID o Tier 4FD	Sí	Sí

Tabla 20. Relación entre tipología, SCC, nivel de actividad y factor de carga

	na 201 Retación entre apotogia, o	SCC		
Rubro	Tipología	(consecutivo de clasificación de fuente)	Nivel de Actividad [h/año]	Factor de Carga
Agrícola	Abonadora	2270005055	381	0,59
Agrícola	Alzadora de caña	2270005055	381	0,59
Agrícola	Bulldozer	2270002063	899	0,59
Agrícola	Cargador	2270002060	761	0,59
Agrícola	Cortadora	2270004040	480	0,43
Agrícola	Cosechadora	2270005045	110	0,59
Agrícola	Cribas	2270005055	381	0,59
Agrícola	Excavadora	2270002036	1092	0,59
Agrícola	Fertilizadora	2270005055	381	0,59
Agrícola	Fresadora	2270005055	381	0,59
Agrícola	Gator	2270005055	381	0,59
Agrícola	Grúa	2270002045	990	0,43
Agrícola	Mini retroexcavadora	2270002066	1135	0,21
Agrícola	Minicargador	2270002072	818	0,21
Agrícola	Miniexcavadora	2270002036	1092	0,59
Agrícola	Motoniveladora	2270002048	962	0,59
Agrícola	Pulverizador agrícola	2270005035	90	0,59
Agrícola	Retrocargador	2270002066	1135	0,21
Agrícola	Retroexcavadora	2270002066	1135	0,21
Agrícola	Taladro perforación pozo petrolero	2270002033	466	0,43
Agrícola	Tractor	2270005015	475	0,59
Agrícola	Tractor sobre oruga	2270002069	936	0,59
Agrícola	Transplantadora	2270005055	381	0,59
Agrícola	Zanjadora	2270002030	593	0,59
Construcción	Aplanadora	2270002015	760	0,59
Construcción	Autohormigonera	2270002081	606	0,59
Construcción	Bulldozer	2270002063	899	0,59
Construcción	Camión	2270002051	1641	0,59
Construcción	Camión grúa	2270002045	990	0,43
Construcción	Cargador	2270002060	761	0,59
Construcción	Carretilla apiladora	2270003020	1700	0,59
Construcción	Carretilla elevadora	2270003020	1700	0,59
Construcción	Compactador	2270002015	760	0,59
Construcción	Cribas	2270002081	606	0,59
Construcción	Dumper (volqueta articulada)	2270002078	566	0,21
Construcción	Excavadora	2270002036	1092	0,59
Construcción	Finisher	2270002003	821	0,59

		SCC		
Rubro	Tipología	(consecutivo de clasificación	Nivel de Actividad [h/año]	Factor de Carga
Construcción	Fresadora	de fuente) 2270002081	606	0,59
Construcción	Grúa	2270002045	990	0,43
Construcción	Irrigador	2270005060	749	0,43
Construcción	Manipulador telescópico	2270003040	878	0,43
Construcción	Mini retroexcavadora	2270002066	1135	0,21
Construcción	Minicargador	2270002072	818	0,21
Construcción	Miniexcavadora	2270002036	1092	0,59
Construcción	Montacargas	2270003020	1700	0,59
Construcción	Motoniveladora	2270002048	962	0,59
Construcción	Pala draga	2270002081	606	0,59
Construcción	Pavimentadora	2270002003	821	0,59
Construcción	Perforadora	2270002033	466	0,43
Construcción	Piloteadora	2270002033	466	0,43
Construcción	Plataforma de elevación	2270003010	384	0,21
Construcción	Recicladora de pavimentos	2270002081	606	0,59
Construcción	Retrocargador	2270002066	1135	0,21
Construcción	Retroexcavadora	2270002066	1135	0,21
Construcción	Tractor	2270002066	1135	0,21
Construcción	Tractor sobre oruga	2270002069	936	0,59
Construcción	Trituradora	2270002054	955	0,43
Construcción	Vibrocompactadora	2270002015	760	0,59
Construcción	Volqueta sobre oruga	2270002078	566	0,21
Construcción	Zanjadora	2270002030	593	0,59
Industrial	Apilador	2270003040	878	0,43
Industrial	Autohormigonera	2270003040	878	0,43
Industrial	Barredora	2270003030	1220	0,43
Industrial	Bulldozer	2270002063	899	0,59
Industrial	Cambiadora de riel	2285002015	943	0,21
Industrial	Camión	2270002051	1641	0,59
Industrial	Camión estéril	2270002051	1641	0,59
Industrial	Camión grúa	2270002045	990	0,43
Industrial	Cargador	2270002060	761	0,59
Industrial	Cargadora frontal	2270002060	761	0,59
Industrial	Carretilla apiladora	2270003020	1700	0,59
Industrial	Carretilla elevadora	2270003020	1700	0,59
Industrial	Compactador	2270002015	760	0,59
Industrial	Draga	2270003040	878	0,43
Industrial	Excavadora	2270002036	1092	0,59

		SCC		
Rubro	Tipología	(consecutivo de clasificación de fuente)	Nivel de Actividad [h/año]	Factor de Carga
Industrial	Grúa	2270002045	990	0,43
Industrial	Jumbo de perforación	2270002033	466	0,43
Industrial	Manipulador telescópico	2270003040	878	0,43
Industrial	Máquina barredora	2270003030	1220	0,43
Industrial	Minicargador	2270002072	818	0,21
Industrial	Miniexcavadora	2270002036	1092	0,59
Industrial	Montacargas	2270003020	1700	0,59
Industrial	Motoniveladora	2270002048	962	0,59
Industrial	Mototraílla	2270002018	914	0,59
Industrial	Perforadora	2270002033	466	0,43
Industrial	Plataforma de elevación	2270003010	384	0,21
Industrial	Prensa hidráulica	2270003040	878	0,43
Industrial	Recicladora	2270003040	878	0,43
Industrial	Retrocargador	2270002066	1135	0,21
Industrial	Retroexcavadora	2270002066	1135	0,21
Industrial	Taladro	2270002033	466	0,43
Industrial	Taladro perforación pozo petrolero	2270002033	466	0,43
Industrial	Tractor	2270002066	1135	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	2270002069	936	0,59
Industrial	Trituradora	2270002054	955	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	2270002015	760	0,59
Industrial	Volco	2270003040	878	0,43

Fuente: elaborado a partir de la información del RUNT (2019) y la que se encuentra en U.S. EPA (2010).

Tabla 21. Factores de emisión según estándar de emisiones

Rango de Potencia	Estándar de emisiones	BSFC [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM <sub>10</sub> [g/ kWh]	CH <sub>4</sub> [g/kWh]
kW<8	Tier 0	248,18	2,01	6,71	13,41	1,34	0,091
kW<8	Tier 1	248,18	1,02	5,52	7,01	0,60	0,060
kW<8	Tier 2	248,18	0,74	5,52	5,77	0,67	0,060
kW<8	Tier 4FA	248,18	0,72	2,79	5,41	0,29	
kW<8	Tier 4FB	248,18	0,99	3,02	5,58	0,25	
kW<8	Tier 4F (promedio)	248,18	0,86	2,91	5,50	0,27	0,060
8≤kW<12	Tier 0	248,18	2,28	6,71	11,40	1,21	0,091
8≤kW<12	Tier 1	248,18	0,59	2,90	5,95	0,36	0,060
8≤kW<12	Tier 2	248,18	0,59	2,90	5,95	0,36	0,060

Rango de Potencia	Estándar de emisiones	BSFC [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM <sub>10</sub> [g/ kWh]	CH <sub>4</sub> [g/kWh]
8≤kW<12	Tier 4FA	248,18	0,72	2,79	5,41	0,29	
8≤kW<12	Tier 4FB	248,18	0,42	1,83	5,02	0,18	
8≤kW<12	Tier 4F (promedio)	248,18	0,57	2,31	5,22	0,23	0,060
12≤kW<19	Tier 0	248,18	2,28	6,71	11,40	1,21	0,091
12≤kW<19	Tier 1	248,18	0,59	2,90	5,95	0,36	0,060
12≤kW<19	Tier 2	248,18	0,59	2,90	5,95	0,36	0,060
12≤kW<19	Tier 4FA	248,18	0,72	2,79	5,41	0,29	
12≤kW<19	Tier 4FB	248,18	0,42	1,83	5,02	0,18	
12≤kW<19	Tier 4F (promedio)	248,18	0,57	2,31	5,22	0,23	0,060
19≤kW<37	Tier 0	248,18	2,41	6,71	9,25	1,07	0,053
19≤kW<37	Tier 1	248,18	0,37	2,05	6,34	0,45	0,043
19≤kW<37	Tier 2	248,18	0,37	2,05	6,34	0,45	0,014
19≤kW<37	Tier 4IA	248,18	0,56	1,84	5,24	0,22	
19≤kW<37	Tier 4FA	248,18	0,18	0,55	3,70	0,04	
19≤kW<37	Tier 4FC	248,18	0,02	0,06	2,93	0,00	
19≤kW<37	Tier 4F (promedio)	248,18	0,10	0,31	3,32	0,02	0,014
37≤kW<56	Tier 0	248,18	1,33	4,68	9,25	0,97	0,036
37≤kW<56	Tier 1	248,18	0,70	3,17	7,51	0,63	0,014
37≤kW<56	Tier 2	248,18	0,49	3,17	6,30	0,32	0,010
37≤kW<56	Tier 4IA	248,18	0,24	1,31	4,06	0,20	0,007
37≤kW<56	Tier 4FA	248,18	0,10	0,36	3,74	0,03	
37≤kW<56	Tier 4FC	248,18	0,02	0,07	2,97	0,00	
19≤kW<37	Tier 4F (promedio)	248,18	0,06	0,22	3,36	0,02	0,007
56≤kW<75	Tier 0	248,18	1,33	4,68	9,25	0,97	0,036
56≤kW<75	Tier 1	248,18	0,70	3,17	7,51	0,63	0,014
56≤kW<75	Tier 2	248,18	0,49	3,17	6,30	0,32	0,010
56≤kW<75	Tier 3	248,18	0,25	3,17	4,02	0,27	0,010
56≤kW<75	Tier 4IA	248,18	0,12	0,53	3,38	0,15	
56≤kW<75	Tier 4IC	248,18	0,01	0,04	2,62	0,01	
56≤kW<75	Tier 4I (promedio)	248,18	0,06	0,28	3,00	0,08	0,007
56≤kW<75	Tier 4FA	248,18	0,10	1,80	4,39	0,25	
56≤kW<75	Tier 4FB	248,18	0,02	0,14	0,18	0,02	
56≤kW<75	Tier 4FC	248,18	0,00	0,00	2,77	0,01	
56≤kW<75	Tier 4FD	248,18	0,01	0,00	0,12	0,00	
56≤kW<75	Tier 4F (promedio)	248,18	0,03	0,48	1,87	0,07	0,007
75≤kW<130	Tier 0	223,24	0,91	3,62	11,24	0,54	0,029
75≤kW<130	Tier 1	223,24	0,45	1,16	7,58	0,38	0,010
75≤kW<130	Tier 2	223,24	0,45	1,16	5,50	0,24	0,007
75≤kW<130	Tier 3	223,24	0,25	1,16	3,35	0,30	0,007
75≤kW<130	Tier 4IA	223,24	0,05	0,27	2,65	0,04	

Rango de Potencia	Estándar de emisiones	BSFC [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM <sub>10</sub> [g/ kWh]	CH <sub>4</sub> [g/kWh]
75≤kW<130	Tier 4IB	223,24	0,02	0,35	2,72	0,01	
75≤kW<130	Tier 4IC	223,24	0,00	0,01	2,53	0,01	
75≤kW<130	Tier 4ID	223,24	0,01	0,10	0,30	0,00	
75≤kW<130	Tier 4I (promedio)	223,24	0,02	0,18	2,05	0,02	0,003
75≤kW<130	Tier 4FB	223,24	0,01	0,07	0,19	0,01	
75≤kW<130	Tier 4FC	223,24	0,00	0,01	2,45	0,00	
75≤kW<130	Tier 4FD	223,24	0,01	0,03	0,13	0,00	
75≤kW<130	Tier 4F (promedio)	223,24	0,01	0,04	0,92	0,01	0,003
130≤kW<225	Tier 0	223,24	0,91	3,62	11,24	0,54	0,012
130≤kW<225	Tier 1	223,24	0,41	1,00	7,48	0,34	0,007
130≤kW<225	Tier 2	223,24	0,41	1,00	5,36	0,18	0,007
130≤kW<225	Tier 3	223,24	0,25	1,00	3,35	0,20	0,007
130≤kW<225	Tier 4IA	223,24	0,15	2,20	3,31	0,14	
130≤kW<225	Tier 4IB	223,24	0,01	0,33	1,48	0,01	
130≤kW<225	Tier 4IC	223,24	0,01	0,07	1,50	0,00	
130≤kW<225	Tier 4ID	223,24	0,04	0,00	0,15	0,01	
130≤kW<225	Tier 4I (promedio)	223,24	0,05	0,65	1,61	0,04	0,003
130≤kW<225	Tier 4FB	223,24	0,01	0,03	0,20	0,01	
130≤kW<225	Tier 4FC	223,24	0,01	0,29	1,55	0,00	
130≤kW<225	Tier 4FD	223,24	0,01	0,02	0,11	0,00	
130≤kW<225	Tier 4F (promedio)	223,24	0,01	0,11	0,62	0,00	0,003
225≤kW<450	Tier 0	223,24	0,91	3,62	11,24	0,54	0,012
225≤kW<450	Tier 1	223,24	0,27	1,75	8,07	0,27	0,007
225≤kW<450	Tier 2	223,24	0,22	1,13	5,81	0,18	0,007
225≤kW<450	Tier 3	223,24	0,22	1,13	3,35	0,20	0,007
225≤kW<450	Tier 4IA	223,24	0,15	2,20	3,31	0,14	
225≤kW<450	Tier 4IB	223,24	0,01	0,33	1,48	0,01	
225≤kW<450	Tier 4IC	223,24	0,02	0,07	1,50	0,00	
225≤kW<450	Tier 4ID	223,24	0,04	0,00	0,15	0,01	
225≤kW<450	Tier 4I (promedio)	223,24	0,05	0,65	1,61	0,04	0,003
225≤kW<450	Tier 4FB	223,24	0,01	0,03	0,20	0,01	
225≤kW<450	Tier 4FC	223,24	0,01	0,29	1,55	0,00	
225≤kW<450	Tier 4FD	223,24	0,01	0,02	0,11	0,00	
225≤kW<450	Tier 4F (promedio)	223,24	0,01	0,11	0,62	0,00	0,003
450≤kW<560	Tier 0	223,24	0,91	3,62	11,24	0,54	0,012
450≤kW<560	Tier 1	223,24	0,20	1,78	7,81	0,30	0,007
450≤kW<560	Tier 2	223,24	0,22	1,78	5,50	0,18	0,007
450≤kW<560	Tier 3	223,24	0,22	1,78	3,35	0,20	0,007
450≤kW<560	Tier 4IA	223,24	0,15	2,20	3,31	0,14	
450≤kW<560	Tier 4IB	223,24	0,01	0,33	1,48	0,01	

Rango de Potencia	Estándar de emisiones	BSFC [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM <sub>10</sub> [g/ kWh]	CH₄[g/kWh]
450≤kW<560	Tier 4IC	223,24	0,02	0,07	1,50	0,00	
450≤kW<560	Tier 4ID	223,24	0,04	0,00	0,15	0,01	
450≤kW<560	Tier 4I (promedio)	223,24	0,05	0,65	1,61	0,04	0,003
450≤kW<560	Tier 4FB	223,24	0,01	0,03	0,20	0,01	
450≤kW<560	Tier 4FC	223,24	0,01	0,29	1,55	0,00	
450≤kW<560	Tier 4FD	223,24	0,01	0,02	0,11	0,00	
450≤kW<560	Tier 4F (promedio)	223,24	0,01	0,11	0,62	0,00	0,003
560≤kW	Tier 0	223,24	0,91	3,62	11,24	0,54	0,003
560≤kW	Tier 1	223,24	0,38	1,02	8,25	0,26	0,003
560≤kW	Tier 2	223,24	0,22	1,02	5,50	0,18	0,003
560≤kW	Tier 4IA	223,24	0,13	0,49	2,96	0,06	
560≤kW	Tier 4IB	223,24	0,09	0,20	2,97	0,02	
560≤kW	Tier 4I (promedio)	223,24	0,11	0,35	2,97	0,04	0,003
560≤kW	Tier 4FA	223,24	0,05	0,03	3,05	0,03	
560≤kW	Tier 4FB	223,24	0,03	0,18	2,79	0,02	
560≤kW	Tier 4FC	223,24	0,01	0,00	2,80	0,00	
560≤kW	Tier 4F (promedio)	223,24	0,03	0,07	2,88	0,02	0,003

Nota: los factores de emisión de HC, CO, NOx y PM y el valor de BSFC son tomados de EPA (2018), utilizando los factores de conversión de 1 hp = 0.7457 kW y de 1lb = 453,592 g. Los factores de emisión de CH $_4$  son tomados de U.E. EEA (2019).

Tabla 22. Factores de ajuste transitorio según tipología, estándar de emisiones y contaminante

Rubro	Tipología	НС	со	NOx		PM <sub>10</sub>		BSFC
		Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 3
Agrícola	Abonadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Alzadora de caña	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Bulldozer	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Cargador	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Cortadora	1	1	1	1	1	1	1
Agrícola	Cosechadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Cribas	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Excavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Fertilizadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Fresadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Gator	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Grúa	1	1	1	1	1	1	1
Agrícola	Mini retroexcavadora	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18

		HC	со	NOx		PM <sub>10</sub>		BSFC
Rubro	Tipología	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 3
Agrícola	Minicargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Agrícola	Miniexcavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Motoniveladora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Pulverizador agrícola	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Retrocargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Agrícola	Retroexcavadora	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Agrícola	Taladro perforación pozo petrolero	1	1	1	1	1	1	1
Agrícola	Tractor	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Tractor sobre oruga	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Transplantadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Agrícola	Zanjadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Aplanadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Autohormigonera	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Bulldozer	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Camión	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Camión grúa	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Cargador	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Carretilla apiladora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Carretilla elevadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Compactador	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Cribas	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Dumper (volqueta articulada)	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Excavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Finisher	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Fresadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Grúa	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Irrigador	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Manipulador telescópico	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Mini retroexcavadora	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Minicargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Miniexcavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Montacargas	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Motoniveladora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Pala draga	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Pavimentadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Perforadora	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Piloteadora	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Plataforma de elevación	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18

Rubro	Tipología	НС	со	NOx		PM <sub>10</sub>		BSFC
		Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 3
Construcción	Recicladora de pavimentos	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Retrocargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Retroexcavadora	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Tractor	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Tractor sobre oruga	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Trituradora	1	1	1	1	1	1	1
Construcción	Vibrocompactadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Construcción	Volqueta sobre oruga	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Construcción	Zanjadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Apilador	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Autohormigonera	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Barredora	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Bulldozer	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Cambiadora de riel	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Industrial	Camión	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Camión estéril	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Camión grúa	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Cargador	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Cargadora frontal	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Carretilla apiladora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Carretilla elevadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Compactador	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Draga	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Excavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Grúa	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Jumbo de perforación	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Manipulador telescópico	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Máquina barredora	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Minicargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Industrial	Miniexcavadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Montacargas	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Motoniveladora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Mototraílla	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Perforadora	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Plataforma de elevación	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Industrial	Prensa hidráulica	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Recicladora	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Retrocargador	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Industrial	Retroexcavadora	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18

		HC	со	NOx		PM <sub>10</sub>		BSFC
Rubro	Tipología	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 2	Tier 3	Tier 0 a Tier 3
Industrial	Taladro	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Taladro perforación pozo petrolero	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Tractor	2,29	2,57	1,1	1,21	1,97	2,37	1,18
Industrial	Tractor sobre oruga	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Trituradora	1	1	1	1	1	1	1
Industrial	Vibrocompactadora	1,05	1,53	0,95	1,04	1,23	1,47	1,01
Industrial	Volco	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: elaborado a partir de EPA (2018).

Tabla 23. Contenido porcentual de azufre en el combustible de certificación según estándar de emisiones

Estándar de emisiones	Contenido de azufre [%]
Tier 0 y Tier 1	0,33
Tier 2 y Tier 3	0,2
Tier 4 Intermedio	0,05
Tier 4 Final	0,0015

Fuente: elaborado a partir de U.S. EPA (2018).



# INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES DE USO FUERA DE CARRETERA EN COLOMBIA

Enfoque sobre maquinaria de construcción, minera, industrial y agrícola



# MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

**BOGOTÁ D.C. 2022**