

**Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociadas a maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Antioquia (2019)**

Carolina Rugeles Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencia Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Bogotá, Colombia

2021

**Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociadas a maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Antioquia (2019)**

Carolina Rugeles Vargas

Trabajo para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director:

Juan Felipe Méndez Espinosa, MSc

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencia Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Bogotá, Colombia

2021

## Resumen

Las emisiones de contaminantes atmosféricos asociadas a la Maquinaria Móvil no de carretera (MMNC) en Antioquia y el país en la actualidad no son inventariadas, y en consecuencia no se tiene en cuenta sus contribuciones en las emisiones regionales y nacionales. Por tal motivo se desarrolló la presente investigación haciendo uso de las guías metodológicas de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), en donde se logró inventariar la MMNC perteneciente a las áreas de construcción, agro e industria, que estuvieron activas en el año 2019 en el departamento de Antioquia. Con dicho inventario de MMNC se calculó las emisiones de los contaminantes HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC y SO<sub>2</sub>. Por último y con el propósito de proponer soluciones que contribuyan a la disminución de la carga contaminante generada por MMNC, se realizó una indagación sobre los avances logrados por la Unión Europea en el desarrollo de estrategias y políticas relacionadas con la contaminación atmosférica producida por el funcionamiento de dichas máquinas.

En conclusión, se pudo establecer un estimado de 21 996 unidades de MMNC para Antioquia y en cuanto a las emisiones generadas a la atmósfera en el año 2019 por la MMNC se pudo identificar que el contaminante que más se emitió fue el CO<sub>2</sub> con 676 101.7 toneladas, seguido del NO<sub>x</sub> 6 602.6t, CO 2 413.7t, HC 511.1t, PM<sub>10</sub> 4 669t, PM<sub>2.5</sub> 452.9t y BC 336.9t; por último, el SO<sub>2</sub> fue el que tuvo menores emisiones con 20.7t. También se pudo establecer que los equipos que más contaminan son las cargadoras frontales, montacargas, compactadoras y excavadoras. En cuanto a los avances que ha tenido la Unión Europea en relación a las emisiones por MMNC se pudo comprobar que las estrategias y normativas pueden ser adaptables en el caso colombiano y Antioquia en lo relacionado a importación de equipos, control de emisiones,

modernizar progresivamente la MMNC por tecnologías más limpias y el mejoramiento del diésel al disminuir la cantidad de azufre disuelto en este.

**Palabras claves:** Fuente móvil no de carretera, contaminación atmosférica, cambio climático, inventario de emisiones, Antioquia.

## Abstract

The emissions of atmospheric pollutants associated with Non-Road Mobile Machinery in Antioquia and the country are not currently inventoried, and consequently their contributions to regional and national emissions are not considered. For this reason, Non-Road emission-inventory was developed using the methodological guides of the United States Environmental Agency (EPA) and the European Environment Agency (EEA). Non-Road is considered as construction, agriculture, and industry equipment's which were active in 2019 at Antioquia department. The emissions of the pollutants HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC and SO<sub>2</sub> were calculated. Finally, and with the purpose of proposing solutions that contribute to the reduction of the pollutants generated from Non-Road, a research was made on the progress made by the European Union in the development of strategies and policies related to air pollution produced by the operation of these machines.

In conclusion, it was possible to establish an estimation of 21 996 units of Non-Road. It was possible to identify that the pollutant that was emitted the most was CO<sub>2</sub> with 676 101.7 tons, followed NO<sub>x</sub> 6602.6t, CO 2413.7t, HC 511.1t, PM<sub>10</sub> 4669t, PM<sub>2.5</sub> 452.9t, and BC 336.9t; lastly, SO<sub>2</sub> was the one with the lowest emissions with 20.7t. It was also possible to establish that the equipment that pollutes the most are front loaders, forklifts, compactors, and excavators. Regarding the progress that the European Union has had in relation to emissions by Non-Road, it was possible to verify that the strategies and regulations can be adaptable in the Colombian and Antioquia cases in relation to the import of equipment, emission control, progressively modernize the Non-Road for cleaner technologies and the improvement of diesel by reducing the amount of sulfur dissolved in it.

**Keywords:** Non-road mobile source, air pollution, climate change, emissions inventory, Antioquia.

## Tabla de contenido

Introducción .....	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación .....	16
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos .....	19
Marco de referencia .....	20
Marco teórico .....	20
<i>Atmosfera</i> .....	20
<i>Contaminación atmosférica</i> .....	21
Fuentes naturales.....	21
Fuente fija. ....	21
Fuente móvil. ....	21
Material Particulado menor a 10 micras (PM10).....	21
Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5).....	21
Monóxido de Carbono (CO). ....	22
Óxidos de nitrógeno (NOx). ....	22
Dióxido de Azufre (SO2).....	22
Dióxido de carbono (CO2).....	22
Hidrocarburos (HC). ....	22
Black Carbon/carbono negro/hollín (BC).....	23
<i>Maquinaria móvil no de carretera</i> .....	23
<i>Inventario de emisiones</i> .....	24

Marco geográfico .....	24
Estado del Arte.....	25
Metodología .....	30
Introducción a las metodologías de los tres objetivos específicos.....	32
<i>Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Antioquia .....</i>	<i>32</i>
Asignación geográfica .....	32
<i>Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a MMNC en el</i>	
<i>departamento de Antioquia.....</i>	<i>33</i>
<i>Descripción de políticas públicas implementadas por la Unión Europea para combatir esta</i>	
<i>problemática .....</i>	<i>35</i>
Resultados .....	36
Inventario de Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) para el departamento de Antioquia	
.....	36
Inventario de emisiones de contaminantes climáticos-atmosféricos asociados a MMNC en el	
departamento de Antioquia .....	39
<i>Comparativa entre contaminantes.....</i>	<i>39</i>
<i>Emisiones de hidrocarburos (HC).....</i>	<i>39</i>
<i>Emisiones de monóxido de carbono (CO).....</i>	<i>40</i>
<i>Emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).....</i>	<i>41</i>
<i>Emisiones de dióxido de carbono (CO2).....</i>	<i>41</i>
<i>Emisiones de dióxido de Azufre (SO2).....</i>	<i>42</i>
<i>Emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10).....</i>	<i>43</i>
<i>Emisiones de material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5).....</i>	<i>43</i>



<i>Emisiones de black carbon/carbono negro/hollín (BC)</i> .....	44
<i>Comparaciones entre las emisiones de Transporte Carretable (TC) del Valle de Aburra y emisiones de MMNC de Antioquia</i> .....	44
Condiciones, situación y posición de la Unión Europea UE en torno a la reglamentación e investigación del control de las emisiones atmosféricas en la MMNC .....	45
<i>Estrategias que Antioquia podría adoptar de la Unión Europea para la MMNC</i> .....	53
Conclusiones y recomendaciones .....	55
Conclusiones .....	55
Recomendaciones .....	56
Referencias bibliográficas.....	57

### **Lista de tablas**

Tabla 1. Nombres siglas o acrónimos empleados para la maquinaria móvil no de carretera .....	23
Tabla 2. Antecedentes investigaciones documentales .....	25
Tabla 3. Conceptos generales de la investigación .....	30
Tabla 4. Porcentaje de participación de la maquinaria móvil no de carretera en Antioquia .....	37
Tabla 5. Normativas ambientales de la Unión Europea para maquinaria móvil no de carretera .	48

### **Lista de figuras**

Figura 1. La estructura vertical de la atmosfera. White (1998, p.12) .....	20
Figura 2. Mapa de Antioquia subregiones. Gobernación de Antioquia (2020) .....	25
Figura 3. Porcentaje de participación para el año 2019 de la MMNC de Antioquia, estimada en 21 996 máquinas respecto al total nacional de 124 071 máquinas. ....	36

Figura 4. Las MMNC con más números de unidades en Antioquia (de las 32 tipologías encontradas en la región para el año 2019) entre el total de 21 996 máquinas existentes en el departamento. ....	37
Figura 5. Comparativa de las emisiones generadas en Antioquia por MMNC en el año 2019. ....	39
Figura 6. Emisiones HC de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	40
Figura 7. Emisiones CO de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	40
Figura 8. Emisiones NOx de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	41
Figura 9. Emisiones CO2 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	42
Figura 10. Emisiones SO2 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	42
Figura 11. Emisiones PM10 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el 2019. ....	43
Figura 12. Emisiones PM2.5 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ..	43
Figura 13. Emisiones BC de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019. ....	44
Figura 14. Comparaciones entre las emisiones generadas en el año 2016 por el TC del Valle de Aburrá y las emisiones del año 2019 de MMNC del departamento de Antioquia. ....	45
Figura 15. Sucesos más importantes para la Unión Europea sobre la protección del recurso atmosférico. Fuente: autoría propia. ....	47

### **Anexos**

Anexo A. Maquinaria móvil no de carretera presente en Antioquia. ....	63
Anexo B. Emisiones de la maquinaria móvil no de carretera en Antioquia. ....	65

## Introducción

El desarrollo de diversas actividades antropogénicas como la industrialización que en los últimos siglos ha provocado un deterioro ambiental, se caracteriza por un aumento en las emisiones atmosféricas. Por lo anterior, vienen derivándose un gran conjunto de problemáticas socio-ambientales que ponen en riesgo la subsistencia de muchos seres vivos en el planeta. En consecuencia, los gobiernos a nivel mundial pactaron propósitos y estrategias dirigidas a prevenir, reducir y controlar las emisiones atmosféricas en cada nación, como el Acuerdo de Paris.

En respuesta a los acuerdos que se desarrollaron a nivel mundial, el gobierno colombiano ha establecido políticas y planes encaminados a proteger el recurso aire. Entre los objetivos planteados para tal fin esta la Identificación de las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, determinar y promover las estrategias para prevenir y minimizar la generación de emisiones de contaminantes, como se puede constatar en documentos como la Resolución 2254 de 2017 y la Política de prevención y control de la contaminación del aire. Por tal motivo y en el marco de dichas políticas, en la presente investigación se estimaron las emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a la Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) en el departamento de Antioquia al año 2019.

Para ello, se construyó el inventario de MMNC activa al año 2019 empleada en las actividades agrícolas, industriales y de construcción; se consideró información de aduanas usando la base de datos LegisComex; posteriormente, con la información del inventario de maquinaria móvil no de carretera (MMNC) de Antioquia, se realizaron cálculos para estimar la emisión de los siguientes contaminantes: HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y BC. Éstos se obtuvieron a partir de la aplicación de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental

de Estados Unidos (EPA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). El anterior procedimiento se lleva a cabo con el fin de establecer una estimación de las emisiones en el departamento de Antioquia por la utilización de MMNC, y así determinar cómo estas sustancias alteran la composición del aire y afectan su calidad. Como paso adicional y complementario, el documento también muestra un consolidado de las estrategias que ha empleado la Unión Europea para la MMNC en pro de plantear soluciones para la reducción del impacto negativo en la calidad del aire que estos vehículos producen.

### **Planteamiento del problema**

A nivel mundial la contaminación atmosférica ha sido un problema importante, y es uno de los puntos a tratar en muchas de las cumbres y diálogos de las Naciones Unidas, y entre los países que no pertenecen a dicha organización. Estos encuentros han dejado como resultado tratados en los cuales se establecen metas y propósitos para evitar un mayor deterioro en la calidad del aire.

En el mundo las emisiones atmosféricas generadas por el hombre han conllevado a un amplio número de afectaciones significativas en los factores bióticos y abióticos, dando como resultado un desequilibrio medio ambiental como el aumento de la temperatura del planeta, la lluvia ácida, el aumento del nivel del mar, el derretimiento de los polos, la modificación de los hábitats, la disminución de la población de algunas especies, etc.

Este problema ambiental ha provocado una vulnerabilidad en las personas, ya que se encuentra estrechamente relacionado con la salud, y según menciona la Organización Mundial de la Salud OMS (2018) “Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año”. Y para el caso de Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MinAmbiente (2017) menciona que “anualmente la contaminación del aire ocasiona alrededor de 8.609 muertes prematuras en el país, generando costos por morbilidad y mortalidad que ascienden a \$15,4 billones de pesos, equivalentes al 1,4% del producto interno bruto (PIB) de 2015 del país” (p. 7).

Pero a este tipo de contaminación también se le suma un conjunto de circunstancias asociadas a los ámbitos político, económico y social, en donde se desarrollan situaciones como conflictos entre países, detrimentos patrimoniales, daños en las edificaciones, efectos

psicosociales, etc. Para mencionar un ejemplo de dichas situaciones, MinAmbiene (2017) expresa que la contaminación atmosférica “es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales” (p. 7).

En el caso colombiano en los años setenta empieza la implementación de leyes relacionadas con la preservación y cuidado de los recursos naturales; posteriormente se establecieron políticas encaminadas al ámbito atmosférico, para lo cual se formularon estrategias y se establecieron procedimientos y tecnologías con el objetivo de realizar monitoreos, inventarios, seguimientos y análisis de los gases que deterioran este recurso en el país. Uno de los mecanismos diseñados con el propósito de realizar controles a las concentraciones de algunos contaminantes es el de emplear métodos de monitoreo para el análisis del aire de fuentes fijas y móviles, pero este monitoreo se ha centrado principalmente en las fuentes fijas, y en lo que respecta a las fuentes móviles, su punto focal son los vehículos que circulan o transitan por carreteras, dejando de lado o desestimando un poco a la maquinaria móvil que no transita por carreteras. Por tal motivo los estudios que se desarrollan a estas últimas fuentes de emisión son muy pocos, dejando de lado un foco y una estadística de contaminación.

Considerando que el gobierno colombiano hasta la fecha no destina recursos para la estimación de las concentraciones de contaminantes atmosféricos asociados a la MMNC, y según lo consultado por el autor de la presente propuesta en la cual las investigaciones relacionadas con este tema en el país son prácticamente inexistentes, y esto a pesar de los impactos negativos que conlleva el funcionamiento de la MMNC como es el caso de emplear grandes cantidad de diésel como combustible, lo cual a corto y largo plazo aumenta de forma considerable el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas como la neumonía y crónicas como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), cáncer del pulmón y cardiovasculares. Así las cosas, se

planteó una pregunta objeto de análisis: ¿Cuál es la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos climáticos asociados a la maquinaria móvil no de carretera en Antioquia?

## Justificación

¿Por qué este trabajo se enfocó en el departamento de Antioquia? Según datos del DANE (2019) Antioquia se encuentra entre las regiones del país con mayor densidad poblacional después de Bogotá. Esta jurisdicción hoy en día es de las más prosperas, siendo uno de los departamentos con mayores representatividades en las áreas de: la industria, el agro y en cuanto al sector de la construcción; por tal razón se puede decir que es una de las regiones del país que produce más emisiones a la atmosfera (IDEAM 2020). Además de esto, en la actualidad Antioquia no cuenta con estudios ni investigaciones que estimen las concentraciones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la MMNC, algo que se pudo constatar con información de la máxima autoridad ambiental en Antioquia que es la Corporación Autónoma Regional CORANTIOQUIA, entidad que en la actualidad ha implementado un plan estratégico para la gestión de la calidad del aire en su jurisdicción por medio de la Resolución 040-RES2002-756, Resolución 040-RES2003-1099, Resolución Número 910 2008, CONPES 3943, guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas y el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, como es exigido en la resolución 650 de 2010 - Adopción protocolo calidad del aire. Pero lamentablemente en los documentos ya mencionados no se especifica un método que se aplique para evaluar la maquinaria móvil que no transita en carretera, lo que da a entender que el porcentaje de estudios que identifiquen estas fuentes de emisión y por ende su participación en el deterioro de la calidad de aire puede ser nulo, o que el existente es mínimo.

Pero para entender mejor la situación en el departamento de Antioquia es importante ver como Colombia, siguiendo las indicaciones de los distintos eventos, convenios y cumbres mundiales, que se han encaminado a la disminución de la contaminación atmosférica como el



caso del Protocolo de Kioto, Acuerdo de París o los Objetivos de Desarrollo del Milenio, se ha comprometido a trabajar en los diseños allí planteados, y para lo cual se impulsa a las autoridades ambientales a implementar estrategias encaminadas a reducir y controlar las emisiones atmosféricas generadas de fuentes antrópicas. Uno de los propósitos del Estado es hacer un mejor control y seguimiento a la calidad del aire con la intención de reducir la contaminación atmosférica, debido a que este tipo de contaminación influye en gran medida en la mayoría de los factores socio-ambientales y amenaza la supervivencia en el planeta.

Pese a todos los esfuerzos que se desarrollan para controlar las emisiones atmosféricas producidas en el territorio nacional, éstos son insuficientes ya que las inversiones económicas que aporta el estado son escasas, y las autoridades ambientales no cuentan con los recursos necesarios para desempeñar una labor óptima, debido a que en la actualidad se han realizado los estudios y análisis para establecer la información del estado de la calidad del aire, pero estos son limitados especialmente en la determinación de las fuentes que producen las emisiones, y aún más en cuanto a la maquinaria móvil que no transita por carretera.

Teniendo en cuenta que el presupuesto con el que cuenta MinAmbiente para el análisis de fuentes fijas y móviles es escaso como se puede constatar con datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), se establecieron estrategias encaminadas para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas, que apoyaría a la política de prevención y control de la contaminación del aire en donde se expresa que con el propósito de mitigar la contaminación del aire, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) establece “Identificar las principales fuentes de emisión de los contaminantes que afectan la salud humana y el bienestar de la población” (p. 35). También menciona el documento citado que para desarrollar dicho objetivo las instituciones

académicas participarían como apoyo para realizar tales inventarios. Otro organismo que hace mención sobre el mismo tema es el IDEAM (2016) el cual expresa que:

La articulación entre las autoridades ambientales y las instituciones académicas que podrían apoyar la identificación y evaluación de fuentes de emisión es baja, siendo las instituciones académicas que ofertan programas ambientales las que en el marco de líneas de y proyectos de investigación en el tema o trabajos de grado en los que se podrían operativizar gran parte de las acciones en las que la Autoridad Ambiental debe avanzar pero que por falta de personal y bajo presupuesto no ha iniciado. (p. 21)

En vista de lo ya mencionado se estima que el presente trabajo es necesaria para el departamento de Antioquia y el país, debido a que es importante la identificación de la maquinaria móvil no de carretera (este trabajo se centró en la MMNC importada entre 2009-2019, que se encuentra en el rango de potencia entre 19 y 560 kW, trabaja con motores diésel y pertenece a los grupos de construcción, agro e industria) en el departamento de Antioquia para la elaboración de un inventario de emisiones atmosféricas, las cuales son BC, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y HC para el año 2019. Con la producción del inventario se logra identificar los niveles teóricos de emisión y se obtiene información con la cual formular y diseñar estrategias como por ejemplo los métodos de vigilancia para controlar dichas emisiones, e implementar sugerencias o normativas para los comercializadores y propietarios de las fuentes generadoras, y de esta manera reducir el impacto ambiental.

Con la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas asociadas a la maquinaria móvil no de carreteras en el departamento de Antioquia del año 2019, la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD apoya la investigación y aporta información constituyéndose de esta manera como una fuente documental para las autoridades ambientales, instituciones académicas, estudiantes, investigadores, organizaciones públicas o privadas.

### **Objetivo general**

Estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Antioquia al año 2019.

### **Objetivos específicos**

Para la realización del presente trabajo los dos primeros objetivos específicos se plantean para dar solución directa al objetivo general, y el último objetivo específico se formuló como una propuesta de posibles estrategias o soluciones que contribuyen a la disminución de la contaminación del aire generada por la maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Antioquia y el mundo.

- Crear el inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Antioquia a partir de información del LegisComex.
- Calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos aplicando la metodología de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos y la Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Describir políticas públicas implementadas por la Unión Europea para combatir esta problemática.

## Marco de referencia

### Marco teórico

A continuación, se exponen los conceptos teóricos fundamentales para comprender esta investigación.

### Atmosfera

Según Gallego (2013) “La atmosfera es la capa gaseosa que rodea toda la superficie de un planeta. La atmosfera terrestre tiene un espesor de unos 2.000km aproximadamente, aunque el 75% de su masa se concentra en los primeros 11km” (p.11-12). Esta cobertura de aire es conformada principalmente por una mezcla de gases que principalmente son: nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, argón, dióxido de carbono, neón, helio, metano, kriptón, óxido nitroso, hidrogeno, xenón, etc. La concentración de los gases y la presencia de ellos varía según algunos factores como la radiación solar, atracción gravitatoria, factores químicos, geológicos y biológicos. la atmosfera terrestre se clasifica en capas que cambian según la distancia a la tierra y las cuales se ilustran junto con otros aspectos importante en la siguiente imagen.

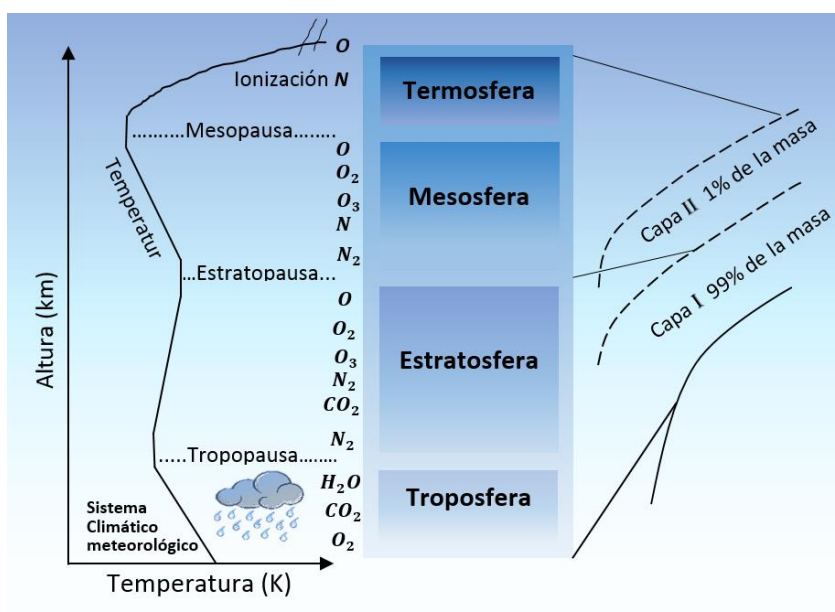


Figura 1. La estructura vertical de la atmósfera. White (1998, p.12)

### ***Contaminación atmosférica***

Se define como contaminación atmosférica a la modificación de la composición de esta masa gaseosa, debido a presencia o concentración de sustancias y modificación o alteraciones energéticas que no hacen parte de la estructura natural del aire según el espacio o capa atmosférica en el que se encuentre. Las sustancias contaminantes tienen distintas clasificaciones tales como: contaminantes criterio, tóxicos peligrosos y de efecto invernadero, estas emisiones son generadas en diferentes medios los cuales se clasifican según su procedencia en:

**Fuentes naturales.** “las emisiones naturales se generan por procesos que ocurren en la naturaleza como emisiones volcánicas y marinas, incendios forestales o la actividad de los seres vivos (bacterias desnitrificadoras, digestión de los herbívoros, etc.)” (Gallego, 2013).

**Fuente fija.** “Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa” (Minambiente, 2015).

**Fuente móvil.** “Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza” (Minambiente 2015).

Para este trabajo se investigaron algunas fuentes móviles y los contaminantes medidos se muestran a continuación con una breve descripción de cada uno de ellos.

**Material Particulado menor a 10 micras (PM10).** “Son llamadas también partículas gruesas y tienen un tamaño comprendido entre 2.5 y 10 micrómetros. Aproximadamente el ancho de un séptimo de cabello” (SISAIRE, 2020).

**Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5).** “Se conocen como partículas finas de menos de 2.5 micras de diámetro. Suponen un mayor peligro para la salud que el PM10,

debido a que al inhalarlas pueden alcanzar zonas periféricas de los bronquiolos” (SISAIRE, 2020).

**Monóxido de Carbono (CO).** “Se forma a partir de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Este es un caso común donde una proporción del carbón se oxida solamente a monóxido de carbono, mientras que la combustión completa conduce a la formación de dióxido de carbono” (SISAIRE, 2020).

**Óxidos de nitrógeno (NOx).** “se producen mayormente en la combustión de productos fósiles, siendo destacables las fuentes móviles como los vehículos, carbón y quemas de madera; también en zonas próximas a fábricas de fertilizante, químicas de nitrito, etc. entre los óxidos de nitrógeno se incluyen NO,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $N_2O$ ,  $N_2O_5$ , así como sus respectivos ácidos, pero principalmente tienen interés como contaminantes el NO y el  $NO_2$ ” (formación, 2008, p.159).

**Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).** “Gas incoloro que se forma a partir de la combustión de sustancias que contienen azufre, principalmente petróleo y carbón, así como de numerosos procesos industriales” (SISAIRE, 2020).

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** “es un gas natural que proviene de la oxidación de la materia orgánica con la respiración, combustión, etc. Depende fuertemente de las reservas de carbono, sobre todo de combustibles fósiles. La acción del hombre está modificando el balance en el ciclo del CO<sub>2</sub> causando grandes problemas medioambientales” (formación, 2008, p.153).

**Hidrocarburos (HC).** “este tipo de sustancia está clasificada en los contaminantes orgánicos volátiles y las emisiones de hidrocarburos están asociadas a la mala combustión de derivados del petróleo. Provocan efectos de considerable importancia en la salud humana y el medio ambiente” (formación, 2008, p.161).

**Black Carbon/carbono negro/hollín (BC).** “se refiere a los aerosoles que contienen carbón negro generado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles o biomasa. Entre las fuentes primarias se encuentran las emisiones de motores diésel, cocinas e incendios forestales” (PNUMA, 2011, p.7). “el carbono negro tiene un papel único e importante en el sistema climático de la Tierra porque absorbe la radiación solar, influye en los procesos de las nubes y altera el derretimiento de la capa de nieve y hielo” (Bond, 2013, p.5384).

### ***Maquinaria móvil no de carretera***

Este tipo de maquinaria tiene diferentes denominaciones las cuales son importantes a tener en cuenta para la búsqueda y obtención de información relacionada a esta, por tal motivo se recopilan en la tabla 1 algunos de los nombres empleados en diferentes fuentes documentales.

Tabla 1.

*Nombres siglas o acrónimos empleados para la maquinaria móvil no de carretera*

<b>Nombre</b>	<b>Siglas o acrónimos</b>
Maquinaria fuera de ruta	MFR
Maquinaria móvil fuera de ruta	MMFR
Maquinaria móvil no de carretera	MMNC
Maquinaria o vehículos NONROAD	NONROAD
Vehículos fuera de la vía (non-road)	Non-road
Maquinaria móvil no vial	NRMM

**Nota.** Denominaciones de MMNC en diferentes partes del mundo. Fuente: autoría propia.

En Colombia la Resolución número 910 del 5 de junio de 2008, hace mención a la MMNC y según MINAMBIENTE (2008) define que:

Maquinaria o vehículos NONROAD: Se refiere a cualquier máquina móvil, equipo industrial transportable o cualquier vehículo con o sin carrocería, que no ha sido diseñado para el transporte de pasajeros o carga en carretera, en el cual se ha instalado una máquina de combustión interna. Esta definición incluye, pero no está limitada a las maquinas instaladas en:

Plataformas industriales de perforación, compresores, entre otros. equipos de construcción, incluyendo motoniveladoras, tractores, excavadores hidráulicos, cargadores, entre otros. equipos agrícolas, trilladoras, entre otros. equipos para la silvicultura, vehículos agrícolas auto-propulsados, equipos para el manejo de materiales, camiones para cargar y levantar, equipos de mantenimiento de carreteras, equipos para limpieza de nieve, equipos para el soporte terrestre en los aeropuertos, ascensores, grúas móviles, cuatrimotos. (p.19)

### ***Inventario de emisiones***

Inventario de emisiones son agrupaciones de datos relacionados a cantidades de contaminantes que cumplen ciertas características como: espacios geográficos, fuentes de emisión, periodos de tiempo etc. La EPA (2016) expresa que “Los inventarios de emisiones son cantidades de contaminantes medidas a lo largo del tiempo. Los inventarios de emisiones se pueden comparar con los niveles de contaminantes del aire en un área para determinar si el aumento de las emisiones disminuye la calidad del aire”.

### **Marco geográfico**

Este trabajo tiene como área estudio el departamento de Antioquia, por tal motivo es importante hacer una breve descripción de este: Antioquia es un departamento de Colombia, localizado al noroeste del país como se puede ver en el mapa de abajo. esta región ocupa un territorio de 63.612 km<sup>2</sup>. Su organización territorial comprende nueve subregiones (Urabá, Suroeste, Occidente, Norte, Valle de Aburrá, Bajo Cauca, Magdalena Medio, Nordeste, Oriente) y su capital es la ciudad de Medellín. Tiene 125 municipios. Genera el 13 % del PIB colombiano,



ubicándose en segundo lugar tras Bogotá. es el departamento más poblado, si se tiene en cuenta que el distrito capital de Bogotá es una entidad administrativa especial. Esta información fue obtenida de la Gobernación de Antioquia (2020).



*Figura 2.* Mapa de Antioquia subregiones. Gobernación de Antioquia (2020)

## Estado del Arte

En el siguiente cuadro se presenta un consolidado de investigaciones enfocadas en los inventarios de emisiones de maquinaria móvil no de carretera.

Tabla 2.

*Antecedentes investigaciones documentales*

<b>Nombre</b>	<b>Lugar y año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Autor</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
Estimation and	China	Se establece un	Artículo	Xiurui	Guo, X., Wu, H.,

<b>Nombre</b>	<b>Lugar y año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Autor</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
prediction of pollutant emissions from agricultural and construction diesel machinery in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China	2020	inventario de emisiones para estimar o predecir los contaminantes atmosféricos de la maquinaria non-road diésel agrícola y de construcción, en la región Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) (Guo, 2020).	académico	Guo, Hongkan Wu, Dongsheng Chen, Zhilan Ye, Yaqian Shen, Junfang Liu, Shuiyuan Cheng.	Chen, D., Ye, Z., Shen, Y., Liu, J., & Cheng, S. (2020). Estimation and prediction of pollutant emissions from agricultural and construction diesel machinery in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China. <i>Environmental Pollution</i> , 260, 113973.
Determinación del nivel de actividad y emisiones contaminantes producidos por maquinaria fuera de ruta en Chile	Chile 2018	Estimación del nivel de actividad y las emisiones contaminantes generados por maquinaria móvil fuera de ruta en Chile,	Trabajo de grado para pregrado	Francisco Javier Pardo Ortiz	Pardo, f. j. (2018). Determinación del nivel de actividad y emisiones contaminantes producidas por maquinaria fuera

<b>Nombre</b>	<b>Lugar y año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Autor</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
		utilizando como año base el 2017. contaminantes HC, CO, NOx, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> (Pardo, 2018).			de ruta en Chile. Universidad Tecnica Federico Santa Maria Chile.
Emisiones de contaminantes provenientes de maquinaria pesada en faenas mineras ubicadas en la cordillera de los andes	Chile 2017	Estimación del nivel de emisiones atmosféricas que son producidas por la maquinaria pesada en la minería de Chile (Saldaña, 2017).	Trabajo de grado para pregrado	Natalia Alejandra Saldaña Troncoso	Saldaña, N. A. (2017). Emisiones de contaminantes provenientes de maquinaria pesada en faenas mineras ubicadas en la cordillera de los andes. Universidad Técnica Federico Santa Maria Chile.
Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para	Chile 2013	diagnóstico e inventario de emisiones”, en el cual se	Documento corporativo publico	Ministerio del Medio Ambiente Geasur	Geasur Tecnología y Medioambiente. (2013).

<b>Nombre</b>	<b>Lugar y año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Autor</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
maquinaria fuera de ruta		realiza un análisis del estado actual de la maquinaria fuera de ruta a nivel nacional (Maquinaria nueva) y un inventario de emisiones para la maquinaria existente (Geasur, 2013).			Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para maquinaria fuera de ruta. Ministerio de medio ambiente Chile.
Inventario de emisiones fuera de ruta por construcción de edificaciones en el área urbana de la ciudad de Bogotá	Colombia Bogotá 2018	Se cuantificó las emisiones de los contaminantes HC, NOx, CO, PM, SO2 y CO2 provenientes de fuentes móviles fuera de ruta asociados a la actividad de la construcción de edificaciones en	Trabajo de grado para Magister en Ingeniería Ambiental	Jesús Alexander Ubaque Orjuela	Ubaque, J. A. (2019). Inventario de emisiones fuera de ruta por construcción de edificaciones en el área urbana de la ciudad de Bogotá. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.

<b>Nombre</b>	<b>Lugar y año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Autor</b>	<b>Referencia Bibliográfica</b>
		Bogotá para el año 2017 (Ubaque, 2019).			Universidad nacional de Colombia.

**Nota.** Investigaciones realizadas a inventario de maquinaria móvil no de carretera. Fuente: autoría propia

## **Metodología**

Este estudio de carácter exploratorio presenta cuatro etapas principales cuyo desarrollo es explicado de forma general a continuación:

- (1) En la primera etapa se obtuvieron datos cuantitativos y cualitativos que establecen la cantidad y tipología de MMNC presente en el país. Esta información se extrajo del documento “Acción climática y calidad del aire: implementación de la normativa de emisiones en maquinaria móvil no de carretera” elaborado por Méndez y morales, del cual esta investigación es una continuidad de dicho trabajo.
- (2) Con la cantidad de MMNC estimada para Colombia se logró establecer el inventario de MMNC del departamento de Antioquia haciendo uso del PIB y Hectáreas agrícolas cosechadas para esta jurisdicción (como se describe a continuación en asignación geográfica).
- (3) Se realizó el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a MMNC a partir de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). El inventario es de los contaminantes HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y BC.
- (4) Se buscó y recopiló estrategias implementadas por la Unión Europea para regular las emisiones atmosféricas relacionadas a maquinaria móvil no de carretera.

Para la ejecución de este trabajo se definieron algunos conceptos que son importantes en la investigación, y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

*Conceptos generales de la investigación*

---

**Datos generales**

---

---

Investigación	Exploratoria correlacional con datos recolectados de distintas fuentes secundarias.
Enfoque de la investigación	Es principalmente cuantitativo en la medición de las variables y en menor medida cualitativo para el cumplimiento del objetivo específico tres (Descripción de políticas públicas implementadas por la Unión Europea para combatir esta problemática).
Población	El estudio se realizó a la maquinaria móvil no de carretera, importada entre 2009-2019, que se encuentra en el rango de potencia neta instalada igual o superior a 19 kW e inferior a 560 kW, otras características que se tienen en cuenta es la de ser maquinaria que trabaja con motores diésel, pertenecientes a los grupos de construcción, agro e industria, del departamento de Antioquia para el año 2019, no mayor a 15 años.
Variables	<p>Número total de unidades de maquinaria</p> <p>Características de la maquinaria</p> <p>Nivel de actividad</p> <p>Potencia nominal promedio por maquinaria</p> <p>Factor de carga típico por maquinaria</p> <p>Factor de emisión para HC, CO y NOx maquinaria.</p> <p>Factor de emisión para material particulado y BC por maquinaria</p> <p>Factor de emisión para CO<sub>2</sub> por maquinaria</p> <p>Factor de emisión para SO<sub>2</sub> por maquinaria</p>
Fuentes de información	<p>LegisComex, fabricantes o comerciantes de MMNC</p> <p>Se tuvieron como guía la información de la EPA y la Unión Europea.</p>
Contaminantes	<p>HC, CO, CO<sub>2</sub>, NOx, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y BC.</p> <p>Se determina 50 ppm de azufre en el diésel para el año 2019 en Colombia.</p>

---

---

**Nota.** Información relevante para el trabajo investigativo. Fuente: autoría propia

## **Introducción a las metodologías de los tres objetivos específicos**

A continuación, se hace una breve explicación de la forma en la cual se dio solución a los objetivos específicos.

### ***Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Antioquia***

Para empezar, se obtuvo el inventario de MMNC del año 2019 presente en Colombia del documento “Acción climática y calidad del aire: implementación de la normativa de emisiones en maquinaria móvil no de carretera” de los autores Méndez y Morales (2021) en donde ellos lo elaboran con base en datos provenientes de LegisComex sobre importaciones de MMNC registradas por la DIAN para el periodo 2009 – 2019. También ellos hacen una indagación en documentos de fabricantes o comerciantes de MMNC; seguidamente establecen un filtro en la selección de los datos a cuantificar en el que se determina que las máquinas fuera las pertenecientes a las áreas de industria, agro y construcción, las cuales trabajan en una escala de potencia entre 19kW - 560 kW; y además se fija que la MMNC inventariada fuese la que funciona con combustible diésel, ya que según Méndez y Morales (2021) es la que tiene una mayor representación con más del 95% de unidades, y por el impacto negativo a causa de la utilización de diésel el cual es un contaminante que afecta en gran medida los ecosistemas y a su vez la salud y bienestar de los seres vivos en forma directa e indirecta. Otro factor que se tuvo en cuenta para la selección de la MMNC fue establecer una vida útil para cada máquina de 15 años. El modelo de chatarrización expuesto por la EPA se aplicó sobre las unidades de MMNC seleccionadas pertenecientes a Colombia.

**Asignación geográfica.** En la realización del inventario de MMNC para el departamento de Antioquia se utilizó las cantidades de maquinarias móviles no de carretera presentes en el país



(anexo A) obtenida de Méndez y Morales, en el que se clasifican los equipos en la actividad productiva a la que pertenece (agro, industria o construcción); con esta información más el porcentaje del Producto Interno Bruto PIB del año 2019 perteneciente a Antioquia en las actividades construcción 16.68%, e industria 19.08% DANE (2020a), y el porcentaje de hectáreas que ocupa el departamento en el país destinadas a la agricultura 8% DANE (2020b), se logra establecer el inventario teórico de MMNC en el departamento de Antioquia para el año 2019. Empleando la metodología de la EPA (2005) propuesta en el documento Geographic Allocation of Nonroad Engine Population Data to the State and County Level, del cual se extrajo la ecuación (p, 6)

$$(\text{Equip. Population})_{\text{state}} = (\text{Equip. Population})_{\text{national}} \times \frac{\text{Sum}(\text{Surrogates}_{\text{counties in state}})}{\text{Surrogate}_{\text{national}}} \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde, por ejemplo, el país registra 3.233 autohormigoneras, y esta maquinaria se clasificó en la actividad productiva construcción, la cual registró un PIB para Antioquia de 16.68% del 100% nacional. Entonces la sustitución para estimar la cantidad de autohormigoneras en Antioquia se muestra a continuación:

$$\# \text{ autohormigoneras en Antioquia} = \# \text{ autohormigoneras en Colombia} * \frac{\text{PIB } 16.68\% \text{ construcción}}{100\% \text{ PIB nacional}}$$

Se aplicó la misma ecuación a cada uno de los tipos de máquinas, y posteriormente se realizó la suma de todos los resultados para estimar el total de MMNC en el departamento, el cual es 21.996 de MMNC.

### ***Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a MMNC en el departamento de Antioquia***

Con la información recolectada del inventario de MMNC para el departamento de Antioquia mencionada en el párrafo anterior se logró calcular las emisiones de contaminantes

atmosféricos y climáticos (HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y BC) asociadas a MMNC, implementando la metodología adaptable de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), haciendo uso de las guías o procedimientos allí planteadas, de las cuales se utilizó la ecuación descrita por la EPA (2018).

$$Ec = \sum Ng * HUg * PNg * FCg * FEc,g \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

**Ec (g/año)** emisiones totales del contaminante c (HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>).

**PM<sub>2.5</sub>** se define como el 97% del PM<sub>10</sub> (EPA, 2018).

**BC** es una fracción del PM<sub>10</sub> en función del estándar de emisiones utilizado y potencia del motor (European Environment Agency, 2019).

**Ng (maquinaria)** Número de unidades de maquinaria agrupada en función de atributos técnicos similares g obtenido de aduanas. Este parámetro se obtuvo del inventario de MMNC a partir de LegisComex.

**HUg (horas/año)** Horas anuales de uso promedio de la maquinaria agrupada g. Este parámetro se obtuvo de información científica estandarizada de la (EPA, 2010).

**PNg (kW)** Potencia nominal promedio para la maquinaria g agrupada, obtenido a partir de datos de aduana y catálogos de fabricante. La cual se obtuvo a partir de información de LegisComex e información de catálogo de fabricante

**FC (adimensional)** Factor de carga asociado al segmento de unidades de maquinaria g agrupada (representa la fracción de potencia nominal del motor a la que usualmente opera la maquinaria). Este parámetro se obtuvo de información científica estandarizada de la (EPA, 2010).

***F<sub>Ec,g</sub>*** (g/kW\*hora) Factor de emisión para el contaminante c y tipo de maquinaria g agrupada. calculado a partir de la metodología de la EPA (2018)

Análisis: con la información obtenida se realizaron cálculos para establecer el inventario de las emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, HC y BC). De esta manera se puede estimar el porcentaje de participación que tiene este tipo de maquinaria móvil en la contaminación atmosférica para el año 2019 en el departamento de Antioquia.

***Descripción de políticas públicas implementadas por la Unión Europea para combatir esta problemática***

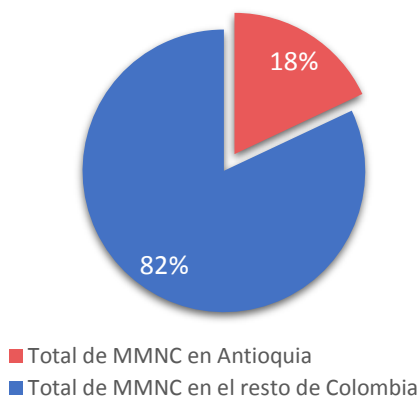
Se hizo una investigación sobre los avances logrados por la Unión Europea en el desarrollo de estrategias y políticas relacionadas con la contaminación atmosférica producida por el funcionamiento de la maquinaria móvil no de carretera. También se consolidaron las normativas vigentes que rigen a la MMNC a 31 de diciembre de 2020; por otro lado, se analizaron las políticas de la Unión Europea y se seleccionaron las estrategias que podrían adaptarse en el departamento de Antioquia, y por último se planteó la posibilidad de la adopción de éstas en el departamento de Antioquia y Colombia.

## Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los tres objetivos específicos de este proyecto.

### **Inventario de Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) para el departamento de Antioquia**

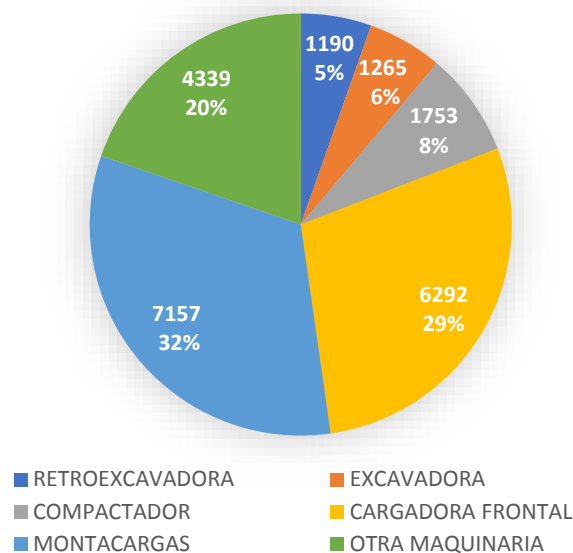
El inventario de maquinaria móvil no de carretera de los sectores industria, agrícola y construcción del departamento de Antioquia para el año 2019, muestra que existe un total de 21.996 MMNC comparadas con la cantidad de MMNC presente en el país suministrada por Méndez y Morales (2021) quienes señalan “124 071 unidades MMNC activas en Colombia a 2019” (p. 14). El porcentaje de participación de Antioquia es del 18% a nivel nacional, el cual se ilustra a continuación.



*Figura 3.* Porcentaje de participación para el año 2019 de la MMNC de Antioquia, estimada en 21 996 máquinas respecto al total nacional de 124 071 máquinas.

En Antioquia se encontraron 32 tipos de MMNC (ver información completa en el anexo A), en donde el montacarga lidera la cantidad de unidades con 7 157 máquinas seguido del cargador frontal con 6 292, los compactadores con 1 753 y las excavadoras con 1 265. La

siguiente figura ilustra las 5 máquinas con más número de unidades en el departamento y el porcentaje y cantidad de otras máquinas en dicho territorio.



*Figura 4.* Las MMNC con más números de unidades en Antioquia (de las 32 tipologías encontradas en la región para el año 2019) entre el total de 21 996 máquinas existentes en el departamento.

A continuación, se muestra el porcentaje de participación que tiene cada tipo de maquinaria móvil no de carretera en Antioquia.

Tabla 4.

*Porcentaje de participación de la maquinaria móvil no de carretera en Antioquia*

<b>Maquinaria móvil no de carretera</b>	<b>Porcentaje maquinaria en Antioquia</b>
Montacargas	32.54%
Cargadora frontal	28.60%
Compactador	7.97%
Excavadora	5.75%
Retroexcavadora	5.41%
Cortadora	3.30%
Bulldozer	2.84%

Autohormigonera	2.42%
Perforadora	2.11%
Carretilla elevadora	1.83%
Motoniveladora	1.47%
Camión grúa	1.22%
Gator	0.91%
Manipulador telescópico	0.75%
Cosechadora	0.65%
Volqueta sobre oruga	0.42%
Minicargador	0.27%
Piloteadora	0.26%
Carretilla apiladora	0.21%
Camión carga extensa	0.16%
Tractor	0.16%
Mototrailla	0.16%
Camiones fuera de carretera	0.13%
Mini excavadora	0.11%
Grúa	0.11%
Draga	0.05%
Taladro petrolero	0.05%
Cargador	0.04%
Dumper	0.03%
Cambiadora de riel	0.03%
Taladro	0.02%
Jumbo de perforación	0.02%

---

**Nota.** Porcentaje de maquinarias presentes en el departamento de Antioquia.

## Inventario de emisiones de contaminantes climáticos-atmosféricos asociados a MMNC en el departamento de Antioquia

A continuación, se muestran las gráficas que registran las emisiones de contaminantes atmosféricos producidas el año 2019 en Antioquia asociados a la MMNC. Los datos que se presentan son en toneladas/año.

### *Comparativa entre contaminantes*

Se encontró un nivel muy alto de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> el cual es de 676 101.7 toneladas/año, en comparación con los otros contaminantes, en donde le sigue los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> con 6 602.6 toneladas/año.

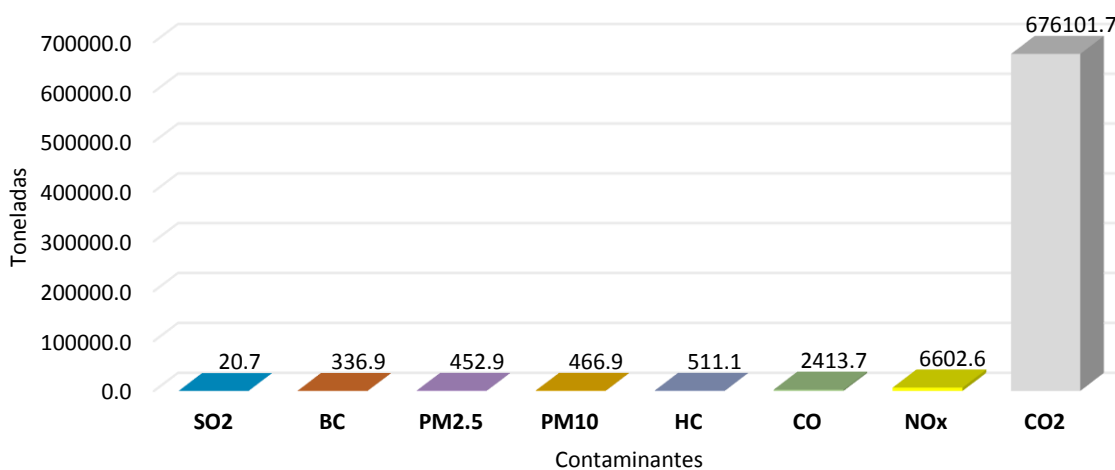
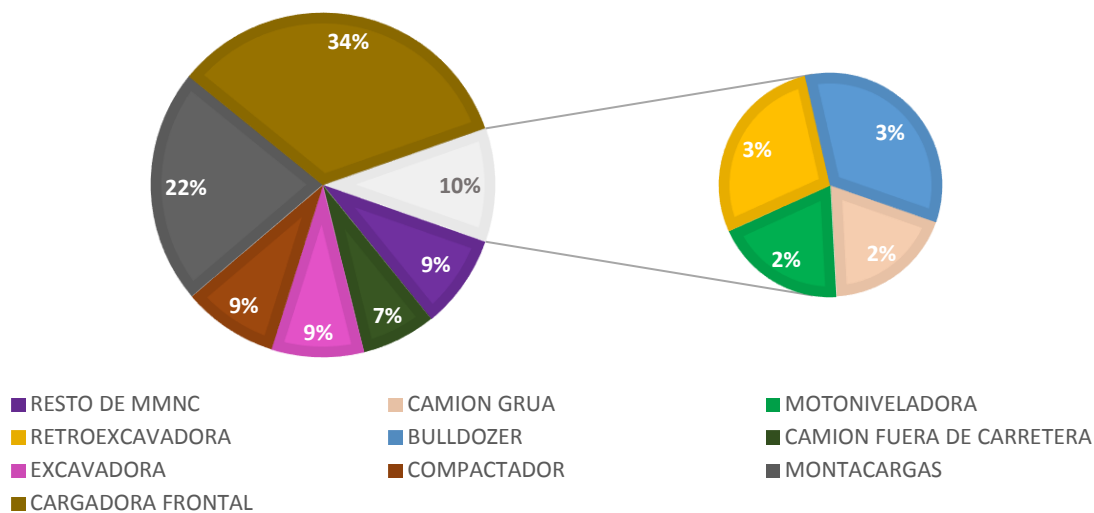


Figura 5. Comparativa de las emisiones generadas en Antioquia por MMNC en el año 2019.

### *Emisiones de hidrocarburos (HC)*

Las cargadoras frontales son las que más contaminan el aire del departamento con HC en unas cantidades de 172.78 toneladas/año las cuales equivalen a un porcentaje del 34%. Los taladros presentan menos incidencia con 0.031 toneladas/años correspondiente al 0.02% (Para más información sobre las emisiones por máquinas dirigirse al anexo B).

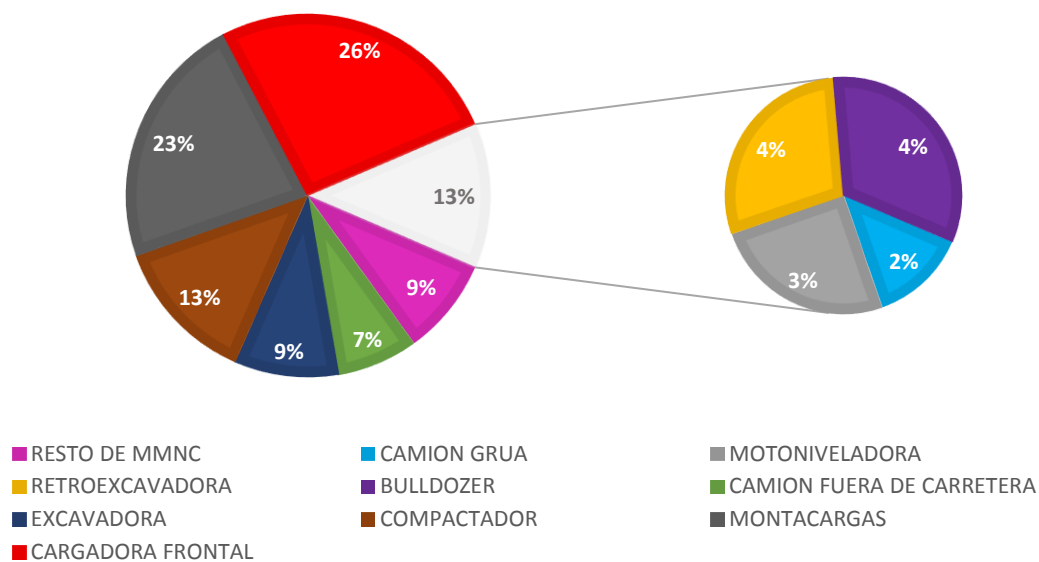
La figura 6 ilustra las máquinas que más contaminan en el departamento.



*Figura 6.* Emisiones HC de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### *Emisiones de monóxido de carbono (CO)*

La siguiente grafica muestra en que proporción las cargadoras frontales, montacargas, compactadoras y excavadoras, son las máquinas que más contaminan el aire con CO, registran los porcentajes de 26%, 23% y 13% respectivamente.

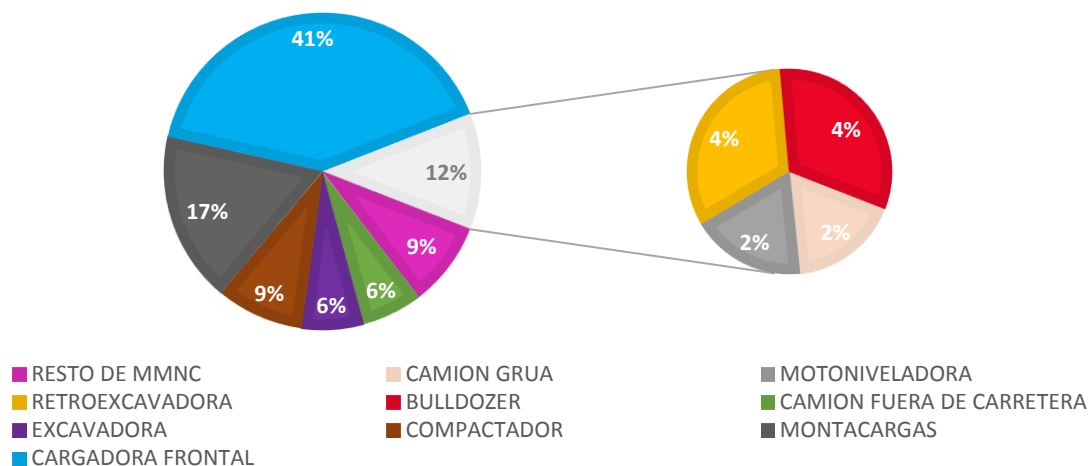


*Figura 7.* Emisiones CO de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.



### ***Emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)***

Las cargadoras frontales con un 41% de NOx tienen un porcentaje elevado en comparación con otras máquinas; le siguen los montacargas con 17% y las compactadoras con un 9%. En la figura 8 se muestran los equipos más contaminantes para NOx en la región.



*Figura 8.* Emisiones NOx de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### ***Emisiones de dióxido de carbono (CO2)***

Para el caso del dióxido de carbono se presenta un porcentaje de emisión del 41% para las cargadoras frontales, las cuales son las que más producen CO2 de los 32 tipos de MMNC en la región. En la figura se muestra las MMNC con más incidencia.

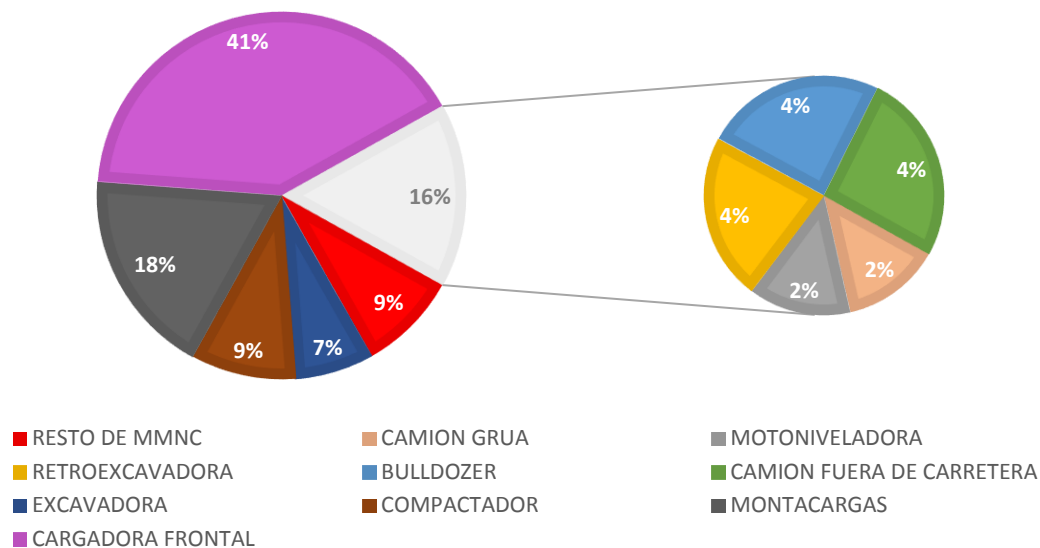


Figura 9. Emisiones CO2 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### Emisiones de dióxido de Azufre (SO2)

El porcentaje del contaminante dióxido de azufre en las cargadoras frontales es muy alto llegando al 41%, en comparación con los otros tipos de MMNC como se muestra en la siguiente figura.

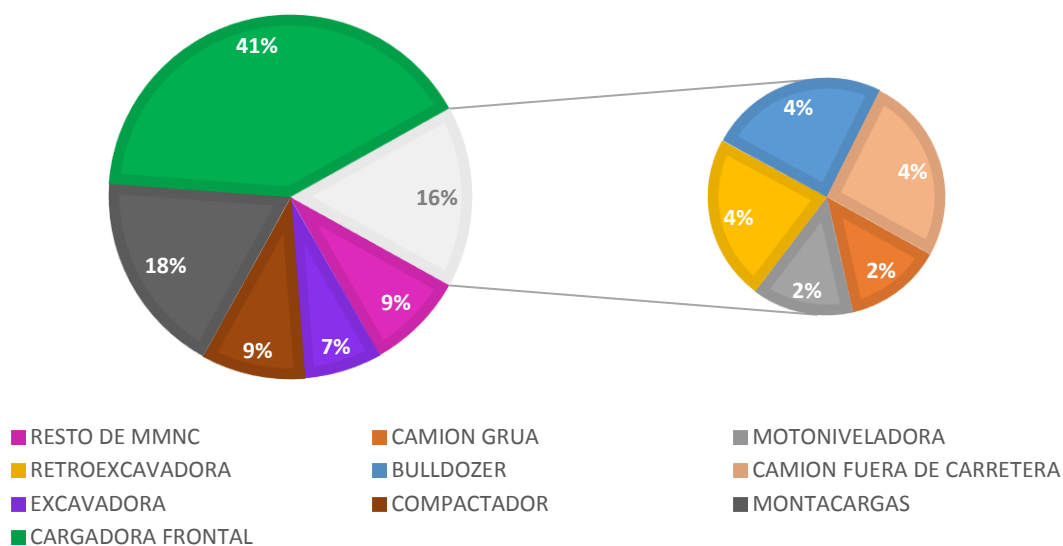
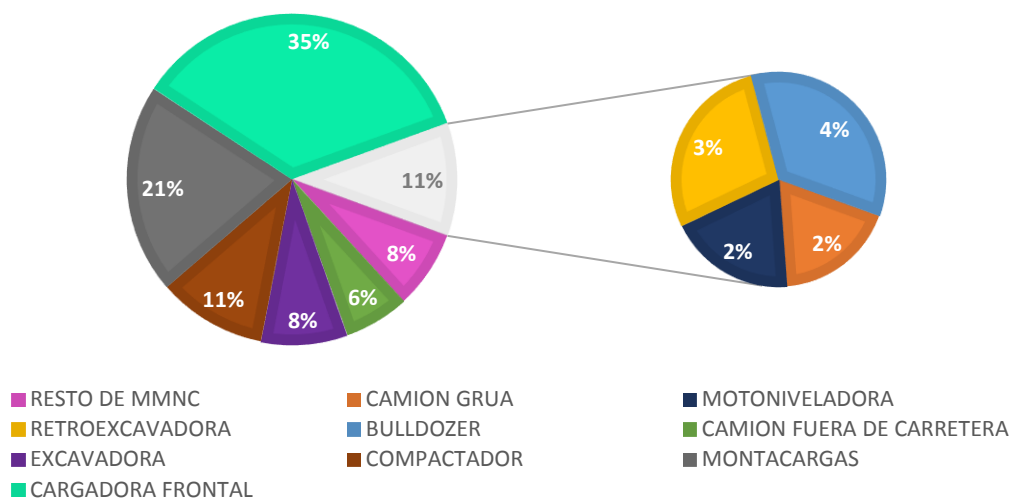


Figura 10. Emisiones SO2 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### *Emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10)*

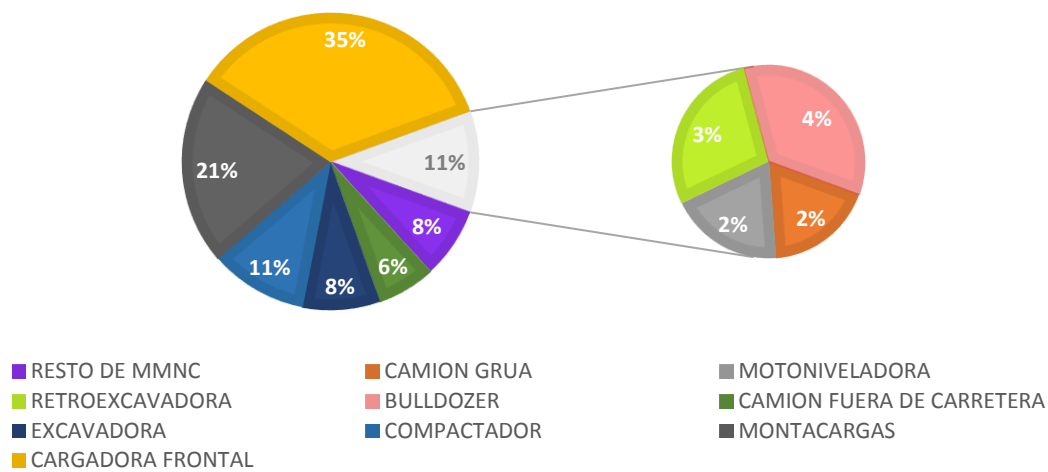
Los datos que se obtuvieron para PM10 muestran que las cargadoras frontales fueron las que más emisiones generaron en el año 2019, que es igual al 35% del total como se puede ver en la figura once.



*Figura 11.* Emisiones PM10 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el 2019.

### *Emisiones de material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5)*

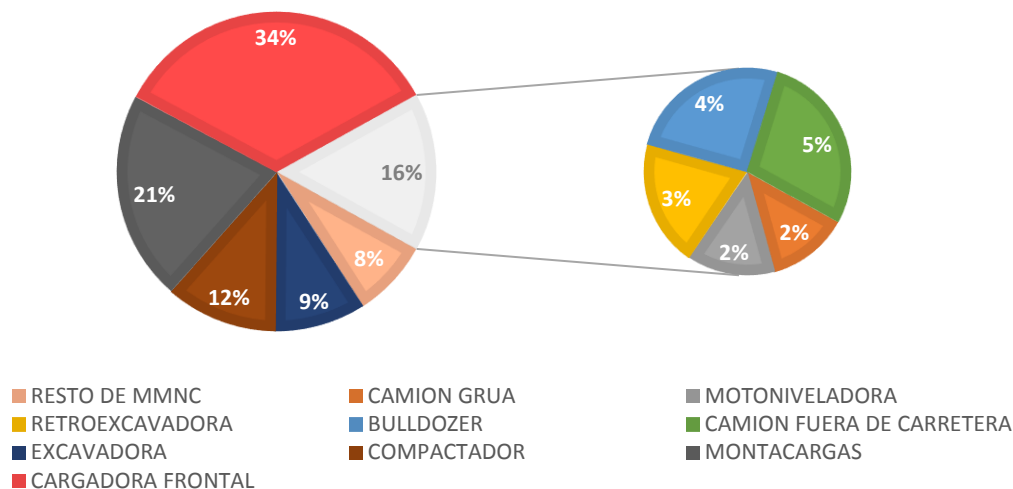
En el departamento las máquinas que más generan material particulado son las cargadoras frontales, seguidas por los montacargas y las compactadoras, como se puede ver en la gráfica.



*Figura 12.* Emisiones PM2.5 de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### ***Emisiones de black carbon/carbono negro/hollín (BC)***

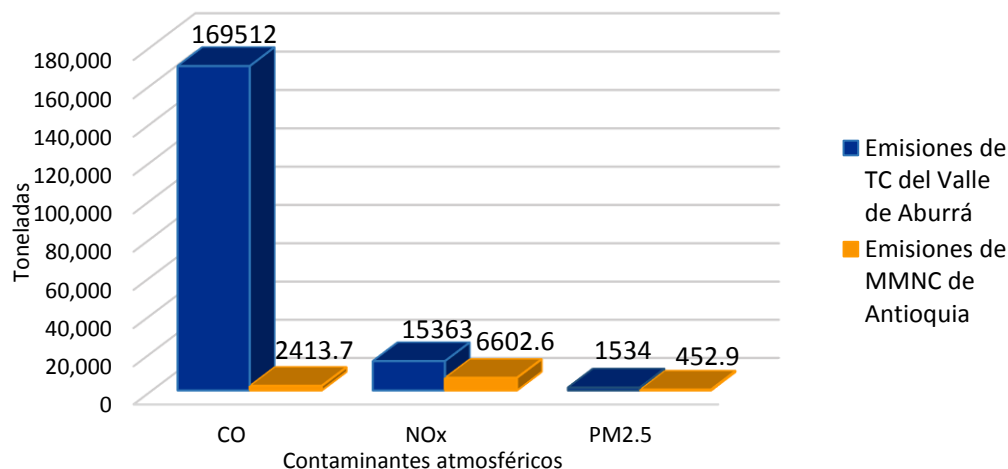
Las cargadoras frontales son las que más generaron BC en el año 2019 en el departamento de Antioquia, y tienen el 34% de incidencia en las cifras para la MMNC.



*Figura 13.* Emisiones BC de las MMNC más contaminantes de Antioquia en el año 2019.

### ***Comparaciones entre las emisiones de Transporte Carreteable (TC) del Valle de Aburrá y emisiones de MMNC de Antioquia***

En la siguiente figura se ilustra la diferencia entre las emisiones de los contaminantes CO, NOx y PM2.5 emitidos por la MMNC de Antioquia en el año 2019 y de TC del Valle de Aburrá registrada para el año 2016; los datos para esta última subregión fueron extraídos de la Universidad Pontificia Bolivariana (2018).



*Figura 14.* Comparaciones entre las emisiones generadas en el año 2016 por el TC del Valle de Aburrá y las emisiones del año 2019 de MMNC del departamento de Antioquia.

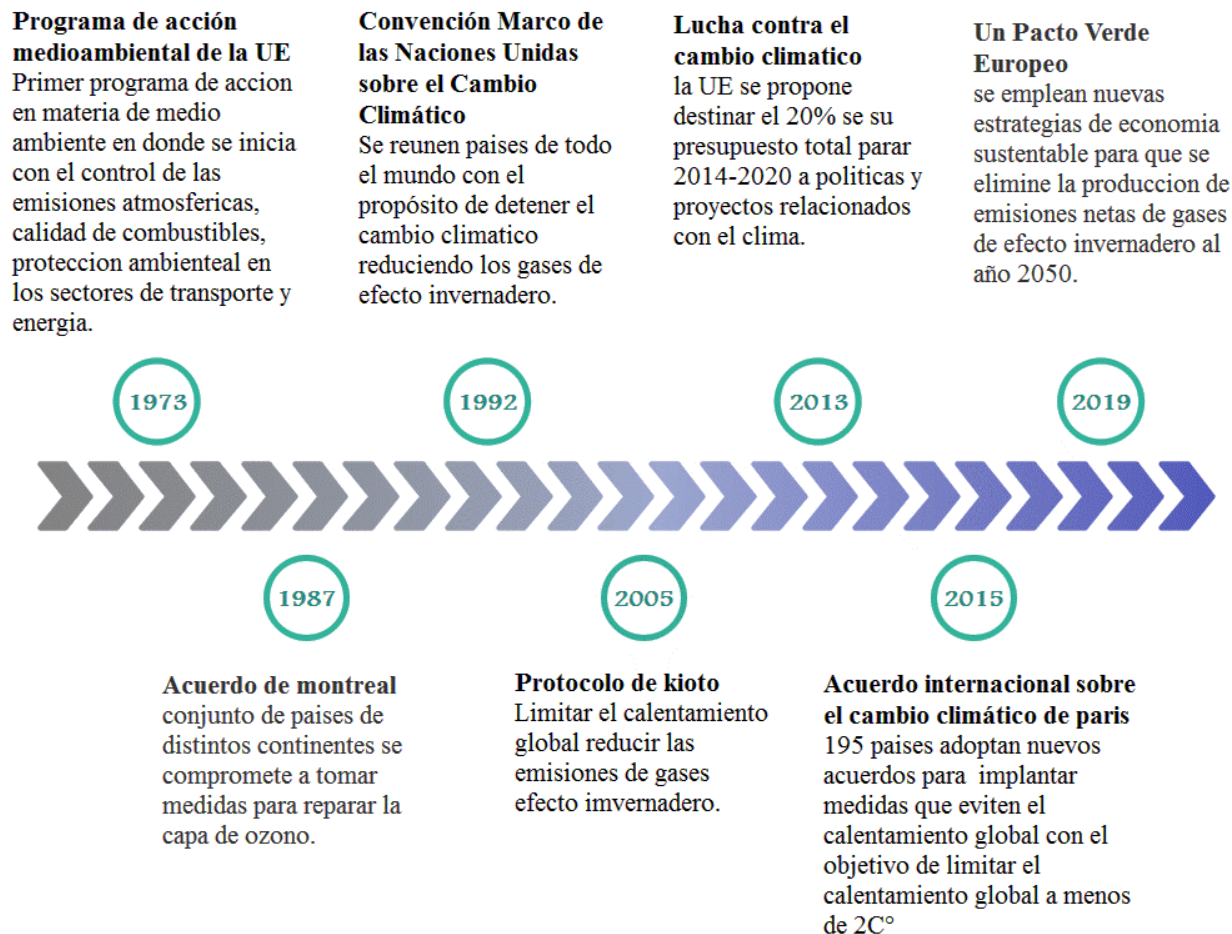
### **Condiciones, situación y posición de la Unión Europea UE en torno a la reglamentación e investigación del control de las emisiones atmosféricas en la MMNC**

La Unión Europea UE es el conjunto de 27 países europeos que pertenecen a una asociación que comparte condiciones políticas y económicas (Unión Europea, 2020a). De dicha entidad se recopiló información relacionada a la MMNC, con el propósito de desarrollar un enfoque exploratorio en lo relacionado a maquinaria móvil no de carretera; de esta manera se empleó la información obtenida de la UE como una guía a unas posibles medidas o propuestas que se ajusten y se podrían implementar en el territorio de Antioquia y Colombia, para dar soluciones a la carga contaminante en el aire producida por este tipo de máquinas.

Se toma como referente la UE por incluir entre sus integrantes países desarrollados que implementan estrategias dirigidas a la mitigación del impacto producido por las actividades humanas que deterioran el medio ambiente. Esta organización es una de las pioneras en este tema, iniciando esta labor hacia el año de 1973, década en la cual empieza a dirigir recursos en pro de generar soluciones al deterioro ambiental (Unión Europea, 2000b). En los últimos años

han sido los que más invierten en los países en desarrollo para combatir el cambio climático, estimando que entre los años 2014 al 2020 se aprobó un presupuesto destinado a países no socios y en desarrollo valorado en 14.000 millones de EUR para evitar o minimizar los efectos del cambio climático (Unión Europea, 2015). Otro factor a tener en cuenta es que esta organización destinó el 20% de todo el presupuesto de los años 2014-2020 en acciones relacionadas con el clima (Unión Europea, 2020). Además, se propuso como objetivo convertirse en el primer continente climáticamente neutro para el año 2050.

La UE ha pasado por periodos o etapas importantes relacionadas al mejoramiento de la calidad del aire, y es cierto señalar que en algunas de estas etapas no se ha especificado directamente como tal a la MMNC, pero se puede decir que estos periodos se encuentran estrechamente relacionados al tema en cuestión en aspectos tales como metas para la reducción de los contaminantes atmosféricos, la mejora de la calidad de los combustibles, en donde desde los años 80 se ha disminuido los niveles de azufre en el diésel (Blumberg, 2003), inversiones e incentivos para investigaciones en Acción por el Clima a través del Programa LIFE (Gobierno de España, 2020), etc. Las etapas más representativas se muestran en la siguiente figura.



*Figura 15.* Sucesos más importantes para la Unión Europea sobre la protección del recurso atmosférico.

Fuente: autoría propia.

Todas estas etapas, acuerdos y eventos contribuyeron a que la UE se comprometiera a trabajar en soluciones en contra del cambio climático, y por ende en las emisiones de contaminantes atmosféricos. Todo este progreso se ha podido evidenciar con el paso del tiempo. Una de las ventajas que ha contribuido a todo esto es que gran parte de sus ciudadanos tiene una educación ambiental y una actitud de apoyo al tema en cuestión, como se menciona en las estadísticas (Eurobarómetro, 2014), lo cual es un punto muy a favor en la implementación de recursos financieros para investigaciones, programas y la implementación de la legislación.

Uno de los avances más importantes que ha tenido la UE es la legislación, que hoy en día implementa para el recurso atmosférico, y que en este caso hace énfasis en la normativa vigente de la calidad del aire relacionada a la maquinaria móvil no de carretera, y para lo cual se realizó un consolidado en la tabla número 4.

Tabla 5.

*Normativas ambientales de la Unión Europea para maquinaria móvil no de carretera*

<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Tema</b>	<b>Fuente</b>
Reglamento (UE) 2020/1040 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de julio de 2020, que modifica el Reglamento (UE) 2016/1628 en lo que respecta a sus disposiciones transitorias para hacer frente al impacto de la crisis del COVID-19	2020	fabricantes de MMNC se cambiaron fechas límites para modificar los motores que se ajusten a la norma. Esto debido al COVID19	Unión Europea. (2020) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1040/oj">https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1040/oj</a>
Reglamento n.o 96 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de los motores con los que se equipen los tractores agrícolas y forestales y máquinas móviles no de carretera en lo que respecta a las emisiones de contaminantes por el motor [2019/547]	2019	Homologación de motores que serán empleados por la MMNC con relación a las emisiones.	Unión Europea. (2019) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42019X0547&amp;qid=1607479724083">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42019X0547&amp;qid=1607479724083</a>



<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Tema</b>	<b>Fuente</b>
Corrección de errores del Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de septiembre de 2016, sobre los requisitos relacionados con los límites de emisión de contaminantes gaseosos y particulados y la homologación de tipo de motores de combustión interna para maquinaria móvil no de carretera, que modifica el Reglamento (UE) ) No 1024/2012 y (UE) no 167/2013, y que modifica y deroga la Directiva 97/68 / CE	2019	Corrección del reglamento (UE) 2016/1628 que trata sobre la homologación de motores de combustión interna y límites de contaminantes gaseosos y particulados.	Unión Europea. (2019) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2019.231.01.0029.01.ENG">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2019.231.01.0029.01.ENG</a>
Reglamento Delegado (UE) 2018/236 de la Comisión, de 20 de diciembre de 2017, por el que se corrige la versión en estonio del Reglamento Delegado (UE) 2017/654	2018	Homologación de motores de combustión interna MMNC y requisitos técnicos y generales relacionados con los límites de emisión.	Unión Europea. (2018) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2018/236/oj">https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2018/236/oj</a>
Reglamento Delegado (UE) 2018/987 de la Comisión, de 27 de abril de 2018, que modifica y corrige el Reglamento Delegado (UE) 2017/655 que complementa el Reglamento (UE)	2018	Seguimiento de las emisiones contaminantes gaseosas de MMNC.	Unión Europea. (2018) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de

<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Tema</b>	<b>Fuente</b>
2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al seguimiento de las emisiones contaminantes gaseosas de -motores de combustión interna de servicio instalados en maquinaria móvil no de carretera			<a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2 018.182.01.0040.0 1.ENG">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2 018.182.01.0040.0 1.ENG</a>
Reglamento de Ejecución (UE) 2018/988 de la Comisión, de 27 de abril de 2018, que modifica y corrige el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/656 por el que se establecen los requisitos administrativos relacionados con los límites de emisión y la homologación de tipo de motores de combustión interna para maquinaria móvil no de carretera de conformidad con Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo	2018	Requisitos administrativos de límites de emisiones y homologación de tipo de motores.	Unión Europea. (2018) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2 018.182.01.0046.0 1.ENG">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2 018.182.01.0046.0 1.ENG</a>
Reglamento Delegado (UE) 2018/989 de la Comisión, de 18 de mayo de 2018, que modifica y corrige el Reglamento Delegado (UE) 2017/654 que complementa el Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo con respecto a los requisitos técnicos y generales relacionados con las emisiones. límites y homologación de	2018	Homologación de motores de combustión interna MMNC y requisitos técnicos y generales relacionados con los límites de emisión.	Unión Europea. (2018) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2</a>

<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Tema</b>	<b>Fuente</b>
<p>tipo para motores de combustión interna para maquinaria móvil no de carretera</p> <p>Rectificación ,, 27 de noviembre de 2018</p> <p>- BG, FR, LT, PT, SV</p>			<p><a href="#">018.182.01.0061.0</a></p> <p><a href="#">1.ENG</a></p>
<p>Rectificatie van Verordening (EU) 2016/1628 van het Europees Parlement en de Raad van 14 september 2016 inzake voorschriften met betrekking tot emissiegrenswaarden voor verontreinigende gassen en deeltjes en typegoedkeuring voor in niet voor de weg bestemde mobiele machines gemonteerde interne verbrandingsmotoren, tot wijziging van Verordeningen (EU) nr. 1024/2012 en (EU) nr. 167/2013, en tot wijziging en intrekking van Richtlijn 97/68/EG (PB L 252 van 16.9.2016)</p>	2017	<p>Corrección del reglamento (UE) 2016/1628 que trata sobre la homologación de motores de combustión interna y límites de contaminantes gaseosos y particulados.</p>	<p>Unión Europea. (2017) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628R%2801%29#">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628R%2801%29#</a></p>
<p>Reglamento de Ejecución (UE) 2017/656 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2016, por el que se establecen los requisitos administrativos relacionados con los límites de emisión y la homologación de tipo de motores de combustión interna para maquinaria móvil no de carretera de conformidad con el Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo.</p>	2017	<p>Requisitos administrativos de límites de emisiones y homologación de tipo de motores.</p>	<p>Unión Europea. (2017) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0656">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0656</a></p>

<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Tema</b>	<b>Fuente</b>
Reglamento Delegado (UE) 2017/655 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2016, que complementa el Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al seguimiento de las emisiones contaminantes gaseosas de los motores de combustión interna en servicio instalados en vehículos móviles no de carretera. maquinaria.	2017	seguimiento de las emisiones contaminantes de MMNC.	Unión Europea. (2017) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628</a>
Reglamento Delegado (UE) 2017/654 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2016, que complementa el Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo con respecto a los requisitos técnicos y generales relacionados con los límites de emisión y la homologación de tipo de los motores de combustión interna -maquinaria móvil de carretera.	2017	Homologación de motores de combustión interna MMNC y requisitos técnicos y generales relacionados con los límites de emisión.	Unión Europea. (2017) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0654">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0654</a>
Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de septiembre de 2016, sobre los requisitos relacionados con los límites de emisión de contaminantes gaseosos y particulados y la homologación de tipo de motores de combustión interna para	2016	Homologación de motores de combustión interna y límites de contaminantes gaseosos y particulados.	Unión Europea. (2016) Acceso a la legislación de la unión europea. Recuperado de <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-">https://eur-lex.europa.eu/legal-</a>

Norma	Año	Tema	Fuente
maquinaria móvil no de carretera, que modifica el Reglamento (UE) n. 1024/2012 y (UE) No 167/2013, y que modifica y deroga la Directiva 97/68 / CE.			<a href="content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628">content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628</a>

**Nota.** Recopilación de las normativas de UE para MMNC. Fuente: autoría propia.

En vista de la legislación actual de la Unión Europea relacionada a las emisiones atmosféricas producidas por la MMNC se puede afirmar que se enfoca en la reducción de la carga contaminante por medio de la exigencia a los fabricantes de dichos equipos de implementar tecnologías menos contaminantes en los mecanismos y funcionamiento de los motores que están instalando y estableciendo límites de emisiones según los rangos de potencia; también se especifica los requisitos y procedimientos para que los fabricantes logren certificar y aprobar sus motores para que puedan comercializarse en la UE; asimismo definen límites de emisiones y monitoreos. Con estas medidas se logra eliminar la MMNC más contaminante y reducir los índices de contaminación.

### ***Estrategias que Antioquia podría adoptar de la Unión Europea para la MMNC***

Teniendo en cuenta el documento Estrategia nacional de la calidad del aire en donde el MinAmbiente (2019) ratifica que “En Colombia no se cuenta con ningún estándar de emisión ni con requerimientos mínimos de tecnologías de control de emisiones para el uso o importación de maquinaria fuera de ruta” (p. 22), y la normativa que rige al departamento de Antioquia en lo que respecta a la contaminación del aire, especialmente a la Resolución 2254 de 2017, en donde se describen los valores permitidos de contaminantes al aire, y también se hace mención de recomendaciones a los departamentos con el fin de elaborar mecanismos para la reducción de la

carga contaminante, se plantea en el presente trabajo la posibilidad de adoptar las estrategias que implementa la Unión Europea en materia de MMNC, asumiendo que Colombia no es productora de dicho tipo de máquinas y la UE sí, por lo que se tendrían en cuenta estrategias tales como el establecimiento de parámetros de selección en las importaciones y comercialización en el país de maquinarias y motores, definiendo límites relacionados con las emisiones que estos generan según los rangos de potencia; el departamento de Antioquia podría crear un plan en el cual se instaure una normativa en los límites de emisiones atmosféricas para la MMNC, abarcando a una respectiva forma de monitoreo y a su vez un sistema de revisión técnico mecánica y renovación o chatarrización de los equipos más viejos, que resultaran tener una tecnología más contaminante.

Es importante señalar que en la creación e implementación de nuevos parámetros en la normativa que regiría a la MMNC para el departamento de Antioquia, es fundamental tener en cuenta a los comercializadores y propietarios de este tipo de equipos, para que de este modo los involucrados no lleguen a estar drásticamente afectados, y que la implementación de una nueva normativa este dirigido a un desarrollo sostenible en Antioquia.

## Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo de los objetivos de esta investigación.

### Conclusiones

- Para el departamento de Antioquia se calcularon 21.996 unidades de MMNC, las cuales están repartidas en 32 tipos de máquinas, la mayoría son los montacargas, las cargadoras frontales, las compactadoras y excavadoras.
- Las cinco máquinas que más emisiones generan en Antioquia son las cargadoras frontales, montacargas, compactadoras, excavadoras y los camiones fuera de carretera.
- En Antioquia la maquinaria móvil no de carretera que tiene un mayor número de equipos es el montacargas con 7.157, y le siguen los cargadores frontales con 6.292 equipos; a pesar de esto los cargadores frontales son las máquinas que más contaminan la atmósfera del departamento.
- La MMNC que menos contamina el aire en Antioquia son los taladros, en gran medida por ser las máquinas con menos unidades en el departamento.
- En cuanto a las emisiones generadas a la atmósfera en el año 2019 por la MMNC se pudo identificar que el contaminante que más se emitió fue el CO<sub>2</sub> con 676.101,7 toneladas, seguido del NO<sub>x</sub> 6602.6t, CO 2413.7t, HC 511.1t, PM<sub>10</sub> 4669t, PM<sub>2.5</sub> 452.9t, BC 336.9t; y por último, el SO<sub>2</sub> fue el que tuvo menores emisiones con 20.7t.
- En cuanto a la diferencia entre las cantidades emitidas de CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Antioquia para el año 2019 por MMNC y las emisiones de estos mismos contaminantes, pero generados por transporte carretable del Valle de Aburrá en el año 2016, se pudo

identificar que esta última maquinaria presenta una carga contaminante mucho mayor en los tres contaminantes comparados.

- Las estrategias que implementa la Unión Europea se pueden adaptar a las normativas de importación de MMNC, y al proceso de modernización de máquinas presentes en el país para los próximos años, contribuyendo a los propósitos de mejoramiento de la calidad del aire y la disminución del impacto de calentamiento global.

### **Recomendaciones**

- Las normativas que se formulen para la MMNC deben hacerse en conjunto con MinAmbiente, MinMinas, MinTransporte, la DIAN, gobierno, corporaciones autónomas regionales, importadores y comercializadores de MMNC.
- La MMNC se podría incluir en el grupo de maquinaria móvil que recibe y a la cual se le exige revisión técnico mecánica. Esto con el fin de evitar el exceso de emisiones por mal funcionamiento de la máquina.
- Renovación de las bases de datos sobre los inventarios de maquinaria móvil no de carretera en las entidades RUNT y DIAN ya que estas presentan diferencias en la cantidad de máquinas presentes en el país.
- Emplear un sistema para medir las emisiones de la MMNC e incluir los datos en las estadísticas que se realizan para el análisis de la calidad del aire.
- En el plan para la renovación de la MMNC en Colombia se puede incluir un proyecto educativo dirigido a propietarios y compradores, centrado en informar la importancia de elegir y cambiar a una tecnología menos contaminante.
- Se necesita disminuir las cantidades de azufre disuelto en el diésel con el propósito de incorporar al país mejores tecnologías en las máquinas y reducir las emisiones al aire.



### Referencias bibliográficas

- Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., ... y Kinne, S. (2013). Limitando el papel del carbono negro en el sistema climático: una evaluación científica. *Revista de investigación geofísica: Atmospheres* , 118 (11), 5380-5552.  
Recuperado de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jgrd.50171>
- Blumberg, K., Walsh, C., & Pera, K. (2003). Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares. Recuperado de [https://theicct.org/sites/default/files/Bajo\\_Azufre\\_ICCT\\_2003.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf)
- DANE. (2020a). Cuentas nacionales departamentales PIB por departamento. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B\\_2015/anexo-2019-preliminar-actividad\\_economica\\_resultado.xlsx](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2015/anexo-2019-preliminar-actividad_economica_resultado.xlsx)
- DANE. (2019b). Censo Nacional Agropecuario 2019. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/anexo\\_ena\\_2019\\_area\\_cosechada\\_produccion\\_rendimiento.xlsx](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/anexo_ena_2019_area_cosechada_produccion_rendimiento.xlsx)
- DANE. (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Medellín, Colombia: Departamento administrativo nacional de estadísticas. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190719-CNPV-presentacion-Antioquia-2.pdf>
- EPA. (2016). Descripción de las emisiones de la contaminación del aire ¿Qué son los inventarios de emisiones?. Estados Unidos de América: United States environmental protection agency. Recuperado de <https://www3.epa.gov/airquality/emissns.html>

- EPA. (2018). Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b. Estados Unidos de América: United States environmental protection agency. <https://bit.ly/3gKljku>
- EPA. (2005). Geographic Allocation of Nonroad Engine Population Data to the State and County Level. Recuperado de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1004LDX.PDF?Dockkey=P1004LDX.PDF>
- EPA. (2010). Median Life , Annual Activity , and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling. Estados Unidos de América: United States environmental protection agency.
- Eurobarómetro. (2014). attitudes of european citizens towards the environment. Recuperado de [https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs\\_416\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_416_en.pdf)
- European Environment Agency. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Europa: Union Eruropea. Recuperadi de <https://bit.ly/3jqZPe9>
- Formación, B. V. (2008). Manual para la formación en medio ambiente. Lex Nova SA. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=J7rMDpW49ZQC&pg=PA159&dq=contaminante+s+atmosfericos+NOx+CO2&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjMiZH2qPHpAhXkTN8KHfZuAVsQ6AEILzAB#v=onepage&q=contaminantes%20atmosfericos%20NOx%20CO2&f=true>
- Gallego, A. (2013). Contaminación atmosférica. Madrid, España: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/48595>

Gobernación de Antioquia (2020). Datos de Antioquia. Medellín, Colombia: gobernacion de antioquia. Recuperado de <https://antioquia.gov.co/antioquia/datos-de-antioquia>

Gobernación de Antioquia (2020). Mapa de Antioquia subregiones. [Mapa]: Recuperado de <https://antioquia.gov.co/antioquia/mapa-de-antioquia>

Gobierno de España (2020). El Programa LIFE de la Unión Europea. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/ayudas-subsvenciones/programa-life/que-es-life/>

SISAIRE. (2020). Cuáles contaminantes se evalúan. Colombia: IDEAM. Recuperado de [http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/informacion.xhtml?de=contaminantes\\_evaluados](http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/informacion.xhtml?de=contaminantes_evaluados)

IDEAM. (2016). Informe del estado de la calidad del aire en Colombia. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado de [http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-del-estado-de-la-calidad-del-aire-en-colombia?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_3uZc3mUViyRu&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1](http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-del-estado-de-la-calidad-del-aire-en-colombia?p_p_id=110_INSTANCE_3uZc3mUViyRu&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1)

IDEAM. (2020). Calidad del aire . Minambiente. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

Méndez, J. F., y Morales, R. (2021). Acción climática y calidad de aire: implementación de la normativa de emisiones en maquinaria móvil no de carretera. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina cods.

Minambiente (2015). Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.5.1.1.2 definiciones. Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Minambiente. (2017). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas.

Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de

[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/documentos\\_relacionados/GUIA\\_PARA\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_INVENTARIOS\\_DE\\_EMISIONES\\_ATMOSFERICAS.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

MinAmbiente. (2008). Resolución número 910 del 5 de junio de 2008. Bogotá, Colombia:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de

<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%20910%20DE%202008.pdf>

MinAmbiente (2019). Estrategia nacional de calidad del aire. Bogotá, Colombia: ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Recuperado de

[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/ESTRATEGIA\\_NACIONAL\\_DE\\_CALIDAD\\_DEL\\_AIRE\\_1.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/ESTRATEGIA_NACIONAL_DE_CALIDAD_DEL_AIRE_1.pdf)

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). Política de prevención y control de la contaminación del aire. Bogotá, Colombia: Ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Recuperado de

<https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/cont>

[aminacion atmosferica/Politica de Prevencion y Control de la Contaminacion del Aire.pdf](#)

OMS. (2018). Calidad del aire y salud. Organización mundial de la salud. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

PNUMA. (2011). Anuario PNUMA: temas emergentes en nuestro medio ambiente global. Recuperado de [https://www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/unep131\\_spn\\_0.pdf](https://www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/unep131_spn_0.pdf)

Unión Europea. (Productor). (2015). Cambio climático: ¿Qué está haciendo la UE? [video] de <https://europa.eu/!Xp98Gk>

Unión Europea. (2020a). ¿Qué es la UE?, De la unión económica a la unión política. Recuperado de [https://europa.eu/european-union/about-eu/eu-in-brief\\_es](https://europa.eu/european-union/about-eu/eu-in-brief_es)

Unión Europea. (2020b). Financiamiento climático internacional, Contribución de la Comisión Europea. Recuperado de [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/finance\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/finance_en)

Unión Europea. (2000) Programa de acción (CECA, Euratom, CEE) en materia de medio ambiente. Recuperado de <https://cordis.europa.eu/programme/id/ENV-ENVAP-1C/es>

Universidad Pontificia Bolivariana. (2018). Actualización inventario de emisiones atmosféricas del valle de aburrá – año 2016. Recuperado de [https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Inventario-de-emisiones/Inventario\\_FuentesM%C3%B3viles2016.pdf](https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Inventario-de-emisiones/Inventario_FuentesM%C3%B3viles2016.pdf)

White, I. D., & Mottershead, D. N. (1998). La estructura vertical de la atmosfera. [imagen]:

Recuperado de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wMJIVecvSgwC&oi=fnd&pg=PP13&dq=environmental+systems+an+introductory+text&ots=t6RZHsmDSL&sig=J7PGPaLgXNITdpJnm\\_AwtfGO\\_iw#v=onepage&q=environmental%20systems%20an%20introductory%20text&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wMJIVecvSgwC&oi=fnd&pg=PP13&dq=environmental+systems+an+introductory+text&ots=t6RZHsmDSL&sig=J7PGPaLgXNITdpJnm_AwtfGO_iw#v=onepage&q=environmental%20systems%20an%20introductory%20text&f=false)

## Anexos

*Anexo A. Maquinaria móvil no de carretera estimada para Antioquia.*

<b>Maquinaria móvil no de carretera</b>	<b>Actividad productiva</b>	<b>Cantidad maquinaria en Colombia</b>	<b>Cantidad maquinaria en Antioquia</b>
Jumbo de perforación	Industrial	23	4
Taladro	Industrial	28	5
Cambiadora de riel	Industrial	34	7
Dumper	Construcción	44	7
Cargador	Construcción	50	8
Taladro petrolero	Industrial	58	11
Draga	Industrial	60	12
Grúa	Industrial	122	24
Mini excavadora	Industria	129	25
Camión fuera de carretera	Construcción	168	28
Mototrailla	industrial	178	34
Tractor	Industrial	184	36
Camión carga extensa	Construcción	218	36
Carretilla apiladora	Construcción	284	47
Minicargador	Industrial	306	58
Piloteadora	Construcción	353	59
Volqueta sobre oruga	Construcción	558	92
Manipulador telescópico	Industrial	846	143
Cosechadora	Agrícola	1566	164
Camión grúa	Construcción	1626	200
Motoniveladora	Industria	1669	267
Carretilla elevadora	Industria	2076	323
Gator	Agrícola	2202	402
Perforadora	Industrial	2391	463

Autohormigonera	Construcción	3233	532
Bulldozer	Construcción	3797	625
Retroexcavadora	Industrial	6138	727
Excavadora	Construcción	7689	1190
Cortadora	Agrícola	7987	1265
Compactador	Construcción	10656	1753
Cargadora frontal	Industrial	32466	6292
Montacargas	Industrial	36929	7157
<b>Total general</b>		<b>124071</b>	<b>21996</b>

---

**Nota.** Inventarios de MMNC de Colombia y el departamento de Antioquia.



Anexo B. Emisiones de la maquinaria móvil no de carretera en Antioquia.

Maquinaria móvil no de carretera	Emisiones toneladas/año							
	HC	CO	NOx	PM10	CO2	SO2	PM2.5	BC
Taladro	0.031	0.076	0.545	0.018	53.164	0.002	0.018	0.013
Dumper	0.115	0.573	0.710	0.069	73.079	0.002	0.067	0.048
Cambiadora de riel	0.151	0.723	0.729	0.129	79.429	0.002	0.125	0.082
Jumbo de perforación	0.187	0.810	1.496	0.136	170.061	0.005	0.132	0.092
Cargador	0.197	0.860	2.160	0.143	219.565	0.007	0.139	0.095
Mini excavadora	0.236	0.908	2.703	0.182	267.357	0.008	0.177	0.141
Draga	0.427	1.066	4.695	0.272	462.000	0.014	0.264	0.190
Cosechadora	0.494	1.784	5.562	0.272	572.751	0.018	0.264	0.209
Piloteadora	0.670	1.931	5.720	0.527	687.089	0.021	0.511	0.369
Taladro petrolero	0.678	4.413	7.031	0.533	720.505	0.022	0.517	0.417
Camión carga extensa	0.938	4.552	8.991	0.686	993.299	0.030	0.665	0.420
Gator	0.976	5.233	10.294	0.791	998.029	0.031	0.767	0.536
Tractor	1.002	5.446	13.967	0.856	1642.933	0.050	0.830	0.553
Grua	1.229	6.860	19.291	1.043	1703.562	0.052	1.012	0.774
Minicargador	1.248	8.240	19.575	1.182	1989.191	0.061	1.147	0.828
Carretilla apiladora	1.403	10.702	23.439	1.512	2425.819	0.074	1.466	1.200
Mototrailla	1.947	12.721	36.904	1.903	3659.952	0.112	1.846	1.332
Volqueta sobre oruga	3.346	15.687	47.056	2.566	4842.113	0.148	2.489	2.053

Maquinaria móvil no de carretera	Emisiones toneladas/año							
	HC	CO	NOx	PM10	CO2	SO2	PM2.5	BC
Manipulador telescópico	4.010	17.466	48.561	3.150	4963.586	0.152	3.056	2.319
Carretilla elevadora	4.907	17.484	51.107	3.529	5920.053	0.181	3.423	2.524
Perforadora	5.271	21.762	76.313	4.654	6918.604	0.212	4.515	3.396
Autohormigonera	7.771	30.366	80.339	5.498	8757.510	0.268	5.333	4.104
Cortadora	7.775	37.846	105.322	6.233	10958.889	0.336	6.046	4.892
Camión grúa	10.272	41.223	136.571	9.450	14607.984	0.448	9.167	6.879
Motoniveladora	10.417	77.875	141.691	9.827	15129.667	0.464	9.532	7.436
Retroexcavadora	15.368	89.963	252.002	14.460	24696.224	0.757	14.026	10.684
Bulldozer	18.524	102.067	253.499	17.885	26781.519	0.821	17.348	13.753
Camión fuera de carretera	35.838	174.629	407.163	29.703	28107.091	0.861	28.812	15.255
Excavadora	44.371	223.081	421.622	39.470	46957.400	1.439	38.285	31.136
Compactador	45.716	315.396	590.077	49.761	62507.019	1.915	48.269	38.168
Montacargas	112.838	549.133	1150.618	95.851	122825.522	3.764	92.975	71.834
Cargadora frontal	172.781	632.775	2676.767	164.563	275404.553	8.439	159.626	115.194
<b>Total general</b>	<b>511.143</b>	<b>2413.696</b>	<b>6602.577</b>	<b>466.858</b>	<b>676101.703</b>	<b>20.717</b>	<b>452.852</b>	<b>336.933</b>

Nota. Inventario de emisiones atmosféricas producidas por la MMNC