

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

Ana Milena Zamudio Suarez

Lady Viviana Saganome Gallego

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias – ECAPMA

Bogotá

2020

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

Ana Milena Zamudio Suarez

Lady Viviana Saganome Gallego

Proyecto de investigación presentado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Dirigido por:

Juan Felipe Méndez Espinosa

Ing. Ambiental y Sanitario, MSc.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias – ECAPMA

2020

Agradecimientos

Ana Milena Zamudio Suarez

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios por darme la salud, el tiempo y la fortaleza para cumplir esta meta. Agradezco a mi asesor de tesis Ing. Juan Felipe Méndez Espinosa por brindarme sus conocimientos, guiarme en este proceso y especialmente por toda su paciencia y esmero para poder culminar, de igual manera a mi compañera Viviana quien con su carisma y dedicación me animo a continuar.

A mi amado esposo, gracias por creer en mí, por el apoyo incondicional y por siempre estar en los momentos difíciles, mis hijos y él son la inspiración para seguir adelante.

Lady Viviana Saganome Gallego

Primero que todo quiero darle gracias a dios por el aire que respiramos soy consciente que podemos mejorar su calidad, pero cada proceso es una obra que ilumina nuestro camino. Agradezco inmensamente al profesor Ing. Juan Felipe Méndez Espinosa quien por su paciencia y dedicación logra darle un respiro a cualquier proyecto, sobre todo por su gran vocación. “Anita sabes que sin ti ninguna idea podría ser mejor plasmada a la letra gracias por cruzarte en mi camino profesional”.

A la UNAD que brinda las herramientas perfectas para que cualquier persona que quiera estudiar logre hacerlo uniendo barreras de distancia que son brechas difíciles para muchas personas.

A mi mamá, mi esposo y mis hijas que indirectamente me brindan el tiempo y apoyo para poder continuar con mi proyecto como Ingeniera Ambiental.

Resumen

La maquinaria móvil no de carretera (MMNC) en Estados Unidos y Europa ha sido centro de atención debido a su alto consumo de diésel (sustancia cancerígena) y a su contribución en las emisiones de contaminantes climáticos y atmosféricos a nivel nacional. Debido a esto, se ha avanzado en la reglamentación de sus emisiones desde los 90. En países de Latinoamérica como Colombia aún no se cuenta con la estimación de estos contaminantes a nivel departamental a pesar de los impactos en salud pública, económicos y ambientales. Así las cosas, con la presente investigación se buscó estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la MMNC en el departamento de Cundinamarca al año 2019. Para ello, se construyó el inventario de MMNC activa al año 2019 a partir de información aduanera (2009-2019) y el modelo de chatarrización de la agencia ambiental de los estados Unidos (EPA). Se estimaron las emisiones asociadas teniendo en cuenta guías metodológicas de la EPA y de la agencia europea de medio ambiente (EEA).

Con información recuperada de aduanas y la base de datos de LegisComex se procede a realizar el inventario de MMNC para el departamento de Cundinamarca, encontrando una gran participación de esta maquinaria en sectores como la industria y la construcción principalmente y seguido por la agricultura. A partir de este inventario se analiza el comportamiento de contaminantes atmosféricos y climáticos como HC, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, CO₂, SO₂, NO_x, y BC, encontrando que los montacargas y las cargadoras frontales son quienes más aportan contaminantes, especialmente CO₂ del cual se emitieron 349126,2 toneladas del total de maquinaria y 231697,5 toneladas de PM_{2.5}.

Se concluye que los casos exitosos de política pública en Chile y Brasil son de vital importancia, ya que sirven como soporte y guía para dar paso a la regulación de los contaminantes asociados a la MMNC en Colombia.

Palabras clave: Fuentes móviles no de carretera, contaminación atmosférica, cambio climático, inventario de emisiones, Cundinamarca

Abstract

Non-road mobile machinery (NRMM) in the United States and Europe has been the center of attention due to its high consumption of diesel (a carcinogenic substance) and its contribution to the emissions of climate and atmospheric pollutants nationwide. Because of this, progress has been made in regulating its emissions since the 1990s. In Latin American countries such as Colombia there is still no estimate of these pollutants at the departmental level despite the public health, economic and environmental impacts. Thus, the present research aims to estimate the emissions of atmospheric and climatic pollutants associated with the NRMM in the department of Cundinamarca in 2019. For this, the inventory of activated NRMM at 2019 was constructed from customs information (2009-2019) and the scrapping model of the United States environmental agency (EPA). Associated emissions were estimated considering methodological guidelines from the EPA and the European Environment Agency (EEA).

With information retrieved from customs and the LegisComex database, an inventory of MMNC is carried out for the department of Cundinamarca, finding a large share of this machinery in sectors such as industry and construction mainly and followed by agriculture. From this inventory, the behavior of atmospheric and climatic pollutants such as HC, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, CO₂, SO₂, NO_x, and BC is analyzed, finding that forklifts and front loaders are the ones that contribute the most pollutants, especially CO₂. of which 349,126.2 tons of total machinery and 231,697.5 tons of PM_{2.5} were emitted.

It is concluded that the successful cases of public policy in Chile and Brazil are of vital importance since they serve as support and guide to give way to the regulation of pollutants associated with the MMNC in Colombia.

Keywords: non-road mobile sources, atmospheric pollution, Climate change, emission inventory, Cundinamarca

TABLA DE CONTEBNIDO

Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Justificación.....	5
Objetivo General.....	7
Objetivos específicos.....	7
Marco conceptual.....	8
Marco teórico.....	13
Metodología.....	16
Área de estudio.....	17
Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca.....	18
Proporción de asignación geográfica para Cundinamarca:.....	19
Indicador para maquinaria de construcción.....	20
Indicadores maquinaria agrícola.....	20
Indicadores maquinaria industrial.....	20
Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos.....	21
Casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.....	23
Discusión de resultados.....	24
Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca.....	24
Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a MMNC.....	26
Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x).....	27
Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂).....	29
Emisiones de dióxido de Azufre (SO ₂).....	30
Casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.....	34
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	39
Bibliografía.....	40

Introducción.

Según estudios realizados en Estados Unidos y Europa, la MMNC debido a su consumo de Diésel está dando un aporte a los problemas de salud pública, de igual manera están aportando a las emisiones de contaminantes climáticos y atmosféricos. El departamento de Cundinamarca cuenta con rubros muy importantes para su económica como lo son, la construcción, la industria, la agricultura los cuales dependen sosteniblemente de la MMNC impulsados de manera general por productos derivados de combustibles fósiles. De igual manera se encontró que en Colombia no se cuenta con estudios que identifiquen las emisiones contaminantes de esta maquinaria y tampoco tiene reglamentación para la misma.

Con este proyecto queremos dar un aporte a los estudios relacionados con MMNC y la estimación de sus contaminantes en el departamento de Cundinamarca, dando así un paso para el estudio de los demás departamentos y a nivel nacional, esto siguiendo casos exitosos como lo son Chile quien publico estudios sobre la estimación de contaminantes atmosféricos de MMNC y Brasil quien mediante políticas públicas ha regulado las emisiones relacionadas con esta maquinaria.

Según menciona la organización mundial de la salud (OMS, 2018)“Se estima que la contaminación ambiental del aire en ciudades y áreas rurales causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año”. En el caso de Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MinAmbiente (2017) menciona que “anualmente la contaminación del aire ocasiona alrededor de 8609 muertes prematuras en el país, generando costos por morbilidad y mortalidad que ascienden a \$15,4 billones de pesos”.

De acuerdo a todo esto se evidenció la necesidad de estimar emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociadas a MMNC en el departamento de Cundinamarca al año 2019, esto con el fin de dar un soporte técnico para la autoridad ambiental y de igual manera contribuir a la reglamentación de estas emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos que causan un efecto negativo a la salud pública y al medio ambiente.

Planteamiento del problema.

En Colombia la mala calidad del aire es el factor de riesgo ambiental más preocupante, las enfermedades adquiridas por la exposición a la polución y al material particulado fueron asociadas a 15.681 muertes en 2016 (Instituto Nacional de Salud, 2018). La mala calidad se ha asociado a enfermedades como bronquitis, neumonía y asma (Instituto Nacional de Salud, 2018). Así mismo, se asocia la contaminación atmosférica con efectos negativos durante la gestación y la primera infancia, pues se evidencia el bajo peso al nacer y el retraso en el crecimiento intrauterino (Ballester, 2005). El problema es aún mayor cuando se evidencia la ausencia de reglamentación de fuentes emisoras como la MMNC (Resolución 0910 de 2008, 2008), las cuales utilizan diésel, material cancerígeno de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (Gallagher, 2012).

Como se menciona anteriormente, estudios realizados a nivel mundial han demostrado que el humo que producen los motores que funcionan con diésel causan cáncer (Gallagher, 2012). La constante exposición de las personas a contaminantes atmosféricos puede generar la aparición de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, es por esto por lo que debe reducirse su emisión. Adicionalmente, deben existir políticas públicas que controlen estas emisiones, en este caso las personas expuestas son aquellas que constantemente laboran con la MMNC o que habitan en las zonas donde se realizan actividades con esta maquinaria y que para la investigación propuesta se tiene en cuenta que corresponde a maquinaria que funciona con diésel.

Esta ausencia de reglamentación puede en parte ser consecuencia de la ausencia de estudios que sustenten la necesidad reglamentarlo, debido a la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos (HC, CO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂) y climáticos (CO₂, BC) que

emiten a la atmosfera en todo el territorio colombiano y que como ya se ha mencionado generan daños a la salud y al medio ambiente.

El presente estudio se centra en el departamento de Cundinamarca-Bogotá toda vez que es una de las zonas donde se concentra la **mayor cantidad de MMNC** según la Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL) (CAMACOL, 2015).

Así las cosas, se buscó contribuir en la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a MMNC en el departamento de Cundinamarca-Bogotá, teniendo en cuenta que esta maquinaria funciona con combustible diésel (un causante del cáncer), y emite contaminantes atmosféricos que requieren de una reglamentación. Por lo tanto, teniendo en cuenta la ausencia de investigaciones relacionadas con emisiones de contaminantes atmosféricos asociados a MMNC se plantea como pregunta objeto de análisis: ¿Cuál es la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la maquinaria móvil no de carretera en Cundinamarca?

Justificación.

¿Por qué la propuesta del proyecto de investigación se centra en el departamento de Cundinamarca?

Hasta la fecha, para el departamento de Cundinamarca no se ha presentado ningún estudio que estime el inventario de MMNC, ni tampoco que estime las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a esta. Por otro lado, entre los 32 departamentos de Colombia, Cundinamarca es uno de los departamentos con mayor participación en: (1.) producto Interno Bruto (PIB) asociado a construcción (edificaciones y obras civiles) con 6,58% (DANE, 2019b) (2.) área agrícola cosechada a nivel nacional de 6705677 millones de hectáreas con 3,6% (DANE, 2014) (3.) PIB asociado a industria manufacturera con 11,10% a 2018 (DANE, 2019b)

Así mismo, el presente proyecto busca realizar la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la MMNC teniendo en cuenta que:

- El humo diésel, asociado a fuentes de combustión como la MMNC, está relacionado con efectos tóxicos y cancerígenos en la salud humana (OMS, 2012).
- Las emisiones de contaminantes atmosféricos siempre terminan en el ambiente, generando impactos negativos económicos ambientales (Minambiente, 2020) y sociales (Minambiente, 2020), en especial en aquellos que diariamente están expuestos: operarios de maquinaria y la población que habita los sectores donde el uso de MMNC es constante.
- Este proyecto evidenciaría que hay una gran brecha por falta de conocimiento relacionado con este tipo de fuentes móviles en Colombia. Por tanto, se pretende

brindar un sustento técnico que permita apoyar la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental competente.

Por último, es importante mencionar que el sustento técnico será acompañado por una discusión de los pocos casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a MMNC. Esto, con el fin de brindar un mejor escenario de posibilidades de solución en torno a esta problemática en Colombia.

Objetivos

Objetivo General.

Estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a la maquinaria móvil no de carretera en el departamento de Cundinamarca para el año base 2019, aplicando la metodología de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos.

Objetivos específicos.

El objetivo general es abordado técnicamente desde los dos primeros objetivos específicos, y acompañado por un objetivo específico propositivo que busca brindar escenarios de solución a los retos asociados a las emisiones de MMNC. A continuación, se mencionan:

- Crear el inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca a partir de información de aduanas proveniente de LegisComex.
- Calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos aplicando la metodología establecida en “Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b” de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos en 2018.
- Describir casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones atmosféricas asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.

Marco conceptual.

Este proyecto aplicado intenta socializar la existencia de contaminación asociada a MMNC sin reglamentación en estándares de emisión (Rios et al., 2013). A continuación, se presentan los contaminantes atmosféricos (asociados a impactos negativos en salud pública) y climáticos (asociados a desbalances en el sistema climático):

Material particulado (PST, PM₁₀, PM_{2.5})

Es un contaminante atmosférico que en función de su composición puede influir en el sistema climático. El Material Particulado son partículas sólidas o líquidas presentes en el aire con la facultad de penetrar las vías respiratorias, creando enfermedades respiratorias y cardíacas (OMS, 2020). Los más afectados son la población sensible o vulnerable (niños menores de 5 años y personas de la tercera edad). Su peligrosidad depende del tamaño (menores tamaños tienen mayor posibilidad de penetrar en el sistema respiratorio) y las sustancias que se adhieren a su superficie afectando los pulmones. Se clasifican en partículas suspendidas totales con diámetros menores a 70 µm (PST), partículas con diámetro menor a 10 µm (PM₁₀) y partículas con diámetro menor a 2.5 µm (PM_{2.5}). Estas pequeñas partículas son las causantes del asma y bronquitis crónica (OMS, 2020). Otros impactos negativos en salud incluyen muerte prematura en las personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma, aumento en problemas respiratorios como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultad para respirar (EPA, 2013). Este proyecto se enfoca en PM₁₀ y PM_{2.5}.

NO_x

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes atmosféricos y precursores de gas efecto invernadero (GEI). Los NO_x (NO, NO₂) están asociados a contaminación por smog y generación de lluvia ácida. Los NO_x provienen principalmente del sector transporte y en la generación energética (Rios et al., 2013). La presencia del NO₂ en la tropósfera en conjunto con radicales libres HC, hace que se forme O₃ troposférico, mientras que, en la atmósfera, reacciona con el monóxido de cloro formando nitrato de cloro y liberando átomos de cloro que destruyen la capa de ozono al reaccionar con el ácido clorhídrico (Rios et al., 2013). El tiempo de exposición determina el posible impacto en salud en las personas. Un determinado tiempo de exposición corto (1 hora a 24 horas) tendrá un efecto inmediato en el aumento de problemas respiratorios como la inflamación de las vías respiratorias y el aumento de síntomas para las personas que tienen asma. Incidiendo activamente en la formación de partículas que se ubican en todo el tracto respiratorio, aumentando los problemas cardiovasculares, bronquitis, asma y muerte prematura para la población más vulnerable.

SO₂

El dióxido de azufre es un contaminante atmosférico y precursor de gas efecto invernadero (GEI). El SO₂ es un gas estable producido por la quema de combustibles (González Estrada & Valencia, 2015) . En Cundinamarca, el 67% de las emisiones vienen de las generadoras de energía y el 18% del sector industrial. La contribución del sector transporte a las emisiones mundiales de SO₂ se estiman entre 2% y 6% (Rios et al., 2013) . Es un gas que afecta a las partes superiores de las vías respiratorias y está asociado con la disminución en el funcionamiento pulmonar. La OMS determinó que los efectos mortales

están entre $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por un tiempo de exposición de 24 horas y una morbilidad respiratoria en ambientes con exposiciones superiores a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2020).

CO

Es un contaminante atmosférico y precursor de gas efecto invernadero (GEI). **El monóxido de carbono** es un gas inoloro, incoloro que en pequeñas dosis es uno de los contaminantes más siniestros y peligrosos para la salud. En Cundinamarca el 56% de las emisiones provienen del transporte (González Estrada & Valencia, 2015). Está asociado a la formación de carboxi-hemoglobina (COHb), una reacción en la que la hemoglobina se une con el CO en vez del oxígeno. Al estar presente el CO en la sangre, la hemoglobina no puede transportar oxígeno para las condiciones vitales y por lo tanto creará un déficit de este en la sangre. En niveles por debajo de 10% de COHb se producen mareos, dolor de cabeza y vómito (OMS, 2020). Para niveles con más del 40% de COHb, el monóxido empieza a causar coma neurológico y colapso en el sistema nervioso y a más del 60% causando la muerte por inhalación (OMS, 2020).

CO₂

El dióxido de carbono es un gas efecto invernadero (GEI). El dióxido de carbono es un gas incoloro, se denomina GEI porque, como parte de la atmósfera de la Tierra, atrapa la energía del sol y mantiene al mundo a una temperatura habitable (González Estrada & Valencia, 2015). Pero los aumentos en el CO₂ atmosféricos asociados con las actividades humanas pueden plantear problemas para la salud humana (Instituto Nacional de Salud, 2018), debido a los cambios que este produce en el sistema climático.

HC

Es considerado principalmente un contaminante atmosférico y precursor de gas efecto invernadero (GEI). Las emisiones de **hidrocarburos** resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor. Existe una gran variedad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera y de ellos los de mayor interés, por sus impactos en la salud y el ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son precursores del ozono y algunos de ellos, como el benceno, formaldehído y acetaldehído, tienen una alta toxicidad para el ser humano demostrando que este tipo de compuestos pueden interactuar con las cadenas de ADN provocando errores en la mitosis e incluso muerte celular. Numerosos estudios han indicado que el incremento a la exposición a partículas atmosféricas puede provocar un aumento en la morbilidad y la mortalidad del hombre (OMS, 2018)

BC

El Black Carbon (BC) o carbono negro es considerado un contaminante atmosférico y climático de vida corta, gracias a que se considera responsable del 16% del calentamiento global, ya que tiene la capacidad de absorber la radiación solar e irradiarla de nuevo en la atmósfera en forma de calor, interfiriendo en la formación de nubes y el comportamiento de lluvias, al posar sobre la capa superficial de la tierra favorece que el hielo y la nieve se derritan (OMS, 2018). El carbono negro es un remanente de la combustión incompleta generada por los motores que interfieren en el funcionamiento de MMNC, formando partículas de diferentes tamaños permaneciendo poco tiempo en la atmósfera pero uno de los responsables de la mala calidad del aire que respiramos generando impactos sobre la

salud, solo en Europa –según datos de la Comisión Europea– provoca unas 600.000 muertes al año, muchas más que las que causan los accidentes de tráfico (OMS, 2018).

Resolución 910 de 2008, artículo 2:

Para el estudio en comento se tendrá en cuenta el artículo segundo de la Resolución 910 de 2008 expedida por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial que a letra dice:

[...]Se exceptúa del cumplimiento de las disposiciones de la presente resolución las locomotoras, equipos fuera de carretera para combate o defensa, equipos o maquinaria para obras civiles (vibradores, grúas) o viales (retroexcavadoras, mezcladoras, cortadoras, compactadores, vibrocompactadores, terminadoras o finishers), equipos internos para manejo de carga en la industria y terminales, equipos para minería (retroexcavadoras, cargadores, palas, camiones con capacidad superior a 50 toneladas), equipos agrícolas (trilladoras, cosechadoras, tractores, sembradoras, empacadoras, podadoras) ya sean movidas por llantas, rodillos, cadenas u orugas y en general los equipos establecidos como maquinaria o vehículos NONROAD, los vehículos dedicados a gas natural o GLP y las declaradas por la autoridad de tránsito como vehículos antiguos o clásicos [...]

El presente proyecto buscará darle visibilidad a la importancia en el estudio de las emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a MMNC, con el fin de ser una herramienta en la toma de decisiones a nivel departamental y nacional.

Marco teórico.

La **MMNC** corresponde a toda aquella flota cuyo tránsito en vías públicas está prohibido, es cualquier máquina móvil, equipo industrial portátil, vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera (Gobierno de España, 2014). Esta maquinaria es utilizada en actividades, agrícolas, de construcción industrial y comercial. Los contaminantes que se asocian a este tipo de fuentes móviles son HC, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, CO₂, SO₂, NO_x, y BC. Este tipo de maquinaria generalmente funciona con diésel, el cual científicamente se ha comprobado que es cancerígeno para humanos según la Organización mundial de la salud (OMS, 2020).

A nivel latinoamericano se evidencia que los estudios asociados a MMNC están principalmente en países como Brasil (Ortúzar & Tornel, 2016), Chile (Ortúzar & Tornel, 2016), y parte de México (Ortúzar & Tornel, 2016). En julio de 2011 en Brasil, el consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) adoptó la Resolución 433/2011 que limita las emisiones de contaminantes climáticos y atmosféricos asociados a MMNC (Ortúzar & Tornel, 2016). Conocido como PROCONVE MAR-I, es la primera legislación que regula las emisiones de maquinaria móvil fuera de carretera en Brasil (Ortúzar & Tornel, 2016).

En Chile se planteó un inventario de emisiones que relaciono la reducción de contaminantes atmosféricos debido al retiro de maquinarias por envejecimiento y el aumento de emisiones por el uso de motores en deterioro con datos obtenidos de la EPA en toneladas por año (Pardo Ortiz, 2018). En México la realización de una base de datos permitió evaluar los impactos del uso de tecnologías (MMNC) en cuanto al control de emisiones que interfieren en este tipo de vehículos aplicando para condiciones reales de la operación. En este caso la base de datos fue de gran impacto para socializar en medidas de

campo disminuyendo notoriamente los contaminantes atmosféricos de cada vehículo (MMNC) (Gobierno, 2016).

A nivel nacional, Colombia en la resolución 910 de 2008 exime del cumplimiento de estándares de emisión a la MMNC. Desconociendo el impacto que tiene en salud pública y la lucha contra el cambio climático. En Colombia se cuenta con dos principales estudios realizados para Bogotá:

1. Inventario de emisiones de contaminantes año 2014 realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente. En este inventario se determinó que la MMNC durante el año 2014 tuvo una contribución en la contaminación atmosférica de 11% en PM_{10} y $PM_{2.5}$, 5% en NO_x , 1% en SO_2 y CO , 6% en CO_2 . El inventario muestra que la MMNC aportó 2698 ton/año al material particulado en Bogotá. Cabe mencionar que este inventario no contempló el contaminante BC a pesar de tener repercusiones en el clima y en salud pública.
2. Inventario de emisiones fuera de ruta por construcción de edificaciones en el área urbana de la ciudad de Bogotá (Ubaque Orjuela, 2019). Este proyecto desglosó las características de las emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles fuera de ruta asociados a la actividad de la construcción de edificaciones en Bogotá para el año 2017, haciendo uso de la metodología (EPA, 2010) y la herramienta Emisiones Fuera de Ruta por Construcción (EFRC), lo que permitió obtener factores de emisión específicos para cada tipo de maquinaria de construcción (Ubaque Orjuela, 2019). Los resultados obtenidos mostraron que la maquinaria más usada y que más emite es de tipo excavadora/retroexcavadora, mini cargadores y

grúas con una participación de 70% del total de la flota y una emisión superior al 79% (Ubaque Orjuela, 2019). Simultáneamente se realizaron comparaciones entre las emisiones de los diferentes proyectos y se evaluaron estrategias de mitigación que influyen en la calidad del aire y salud (Ubaque Orjuela, 2019).

Metodología.

La metodología para la ejecución del proyecto de investigación plantea cuatro ítems importantes.

- Área de estudio, donde se describe la importancia del estudio de la MMNC en el departamento de Cundinamarca.
- Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca a partir de la base de datos aduanera más robusta en Colombia, LegisComex y la proporción de participación del Departamento de Cundinamarca según el Producto Interno Bruto y el Censo Nacional Agropecuario.
- Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos aplicando la metodología establecida en “Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b” de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos en 2018.
- Contextualización de Brasil y Chile como casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica

De esta manera, se busca construir un inventario de MMNC activa al año 2019 (año base) a partir de información aduanera (2009-2019), en el cual se estimarán las emisiones asociadas a la contaminación atmosférica teniendo en cuenta guías metodológicas de la agencia ambiental de los estados Unidos (EPA) y la agencia europea de medio ambiente (EEA). Así mismo, intento dar contexto general a los pocos casos exitosos de política pública relativos

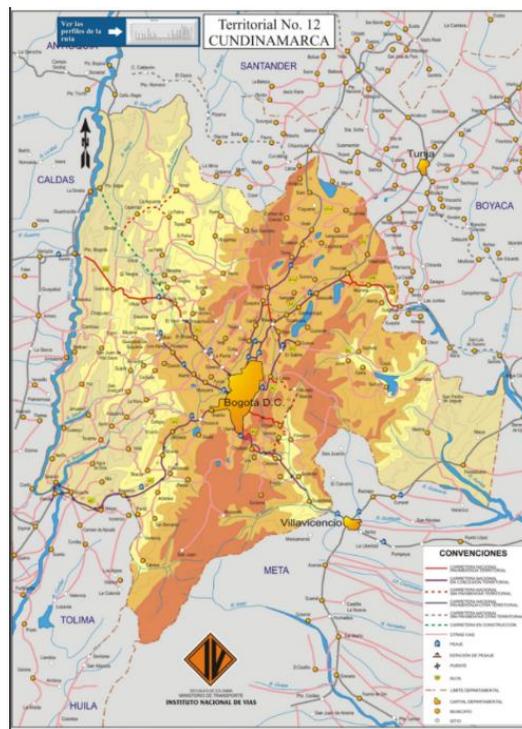
a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.

Área de estudio

El Departamento de Cundinamarca está situado en la parte central del país, localizado entre los 03°40'14'' y 05°50'11'' de latitud norte y los 73°03'08'' y 74°53'35'' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 24.210 km² lo que representa el 2.12 % del territorio nacional (Departamento de Cundinamarca, 2020).

Figura 1

Mapa del Departamento de Cundinamarca



Fuente: Instituto Nacional de Vías (2015)

El departamento de Cundinamarca presenta una gran dinámica económica, según (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) siendo proveedor de productos de la canasta familiar para Bogotá. Así mismo, es uno de los departamentos con mayor participación en

el PIB asociado a construcción e industria manufacturera (DIAN, 2018). La MMNC es de gran importancia y uso en diferentes sectores. El sector de la construcción es de gran importancia para el departamento, pues los municipios cercanos a la ciudad de Bogotá especialmente lo que se conoce como la sabana, han ampliado los terrenos para la creación de edificios habitacionales. El sector industrial tiene una gran acogida en estas zonas, pues muchas empresas de la ciudad de Bogotá han decidido crecer en municipios como Cajicá, Sopó, Cota y Tocancipá, lo que ha beneficiado a estos municipios por su aumento en la economía (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). Respecto al sector agrícola se evidencia que municipios cercanos a la capital han abandonado sus actividades agrícolas y ganaderas para pasar a ser municipios comerciales basados en la ampliación de la construcción(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), sin embargo, los municipios más alejados han mantenido la tradición agrícola, de manufactura y de turismo. En cuanto al sector minero diferentes municipios cuentan con labores de explotación minera especialmente a cielo abierto.

Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca.

Se buscó información de MMNC importada entre los años 2009 y 2019 a partir de información aduanera proveniente de la base de datos más robusta y completa con la que cuenta hasta el momento la UNAD, LegisComex (Legiscomex, 2020). En el marco de este proyecto se contó con información de la MMNC a nivel nacional a partir de un ejercicio previo(Mendez Espinosa & Morales Betancourt, 2021) . Se obtuvieron aquellas unidades de MMNC asociadas al departamento de Cundinamarca teniendo en cuenta su participación en el PIB y el censo agropecuario Nacional. Es de mencionar que se aplicó el modelo de

chatarización expuesto por la EPA, relacionando la edad de la maquinaria a 2019 según LegisComex y su vida útil (EPA, 2005). Por consiguiente, el modelo de chatarrización asumió que a 2019 el 50% de las unidades de MMNC contempladas (entre 2009 y 2019) se retiran al momento de cumplir su vida útil.

Proporción de asignación geográfica para Cundinamarca:

Teniendo en cuenta que la información aduanera brinda información a nivel nacional de MMNC, se han considerado indicadores que permiten realizar una asignación geográfica por departamento. Para equipos asociados principalmente a construcción se consideró el PIB-construcción, para equipos asociados principalmente a industria se consideró el PIB-industria manufacturera, y para equipos asociados principalmente a agricultura se consideró el área agrícola cosechada según el censo nacional agrícola de 2019. De forma indicativa se menciona el procedimiento matemático general:

$$\text{Número de equipos}_{C,x} = \text{Número de equipos}_{N,x} * \text{Indicador}_r$$

Donde,

*Número de equipos*_{C,x} = número adimensional de equipos de Cundinamarca asociado a una tipología específica (por ejemplo: excavadoras)

*Número de equipos*_{N,x} = número adimensional de equipos a nivel nacional asociado a una tipología específica (por ejemplo: excavadoras)

*Indicador*_r = valor porcentual de participación del departamento de Cundinamarca. Para equipos asociados principalmente a construcción se consideró el PIB-construcción; para equipos asociados principalmente a industria se consideró el PIB-industria manufacturera; y

para equipos asociados principalmente a agricultura se consideró el área agrícola cosechada según el censo nacional agrícola de 2019

Indicador para maquinaria de construcción

Este indicador refiere a la maquinaria que se encuentra activa (EPA, 2005) y está relacionada a todos aquellos equipos que por su capacidad y diseño realizan actividades de construcción, edificios residenciales y obras de ingeniería civil. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015)

Según lo antes mencionado se logra establecer que para el rubro construcción en el departamento de Cundinamarca la participación de MMNC corresponde al **6,62%** (DANE, 2019a)

Indicadores maquinaria agrícola

Este indicador refiere la actividad del equipo agrícola siendo partícipes de esta actividad, en Cundinamarca el suelo agrícola en gran parte ha pasado a tener otros fines como lo es la parte urbana e industrial, sin embargo se ha recuperado esta actividad por medio de convenios agrarios lo que ha permitido tecnificar el campo (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), es así como se establece para este rubro un **4%** de participación de MMNC para el departamento de Cundinamarca (DANE, 2019a).

Indicadores maquinaria industrial

Es un indicador de vital importancia, ya que muestra el comportamiento económico de la actividad industrial realizada por la MMNC activa. Generalmente las empresas manufactureras no cambian de lugar geográfico como es caso de la construcción (EPA, 2005), por tanto, se consideró usar el Producto Interno Bruto (PIB a precios corrientes) por

departamento a 2018 asociado a industria manufacturera publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

En el análisis realizado se encuentra que en el Departamento de Cundinamarca la participación de MMNC es de **10,72%** (DANE, 2019a).

Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos.

Una vez se construya el inventario de MMNC, se estimarán las emisiones de contaminantes climáticos-atmosféricos asociados a este. Para ello, las emisiones de contaminantes se calcularán a partir de la ecuación 1. Esta ecuación hace parte del documento “Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b” de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2018).

$$E_c = \sum N_g * HU_g * PN_g * FC_g * FE_{c,g} \quad (\text{Ecuación 1.})$$

Donde,

E_c (g/año): corresponderá al total de emisiones por contaminante (HC, PM₁₀, CO, CO₂, SO₂) para un tipo de maquinaria g (v.g., asociadas a todos los tractores).

N_g (maquinaria): representa la cantidad de maquinaria que previamente estará agrupada por características similares g (v.g., asociadas a todos los tractores). Este parámetro se obtendrá del inventario de MMNC previamente creado.

HU_g (horas/año): representará el uso promedio anual de la maquinaria en mención. Para ello se tendrá en cuenta la información de la (EPA, 2018) dada su amplia aceptación científica y la ausencia de datos centralizados gratuitos en Colombia.

PN_g (Kw): representará la potencia nominal promedio de la maquinaria seleccionada. Se tendrá en cuenta información de catálogos de fabricante (<https://www.ritchiespecs.com/>) e información proveniente de LegisComex (<https://www.legiscomex.com/?SSO-LC-71>).

FC_g (adimensional): representará el factor de carga asociado a la maquinaria y la fracción de potencia nominal del motor. Para ello se tendrá en cuenta la información de la (EPA, 2018) dada su amplia aceptación científica y la ausencia de datos centralizados gratuitos en Colombia.

FE_c (g/kW* hora): representará el factor de emisión para el contaminante y la maquinaria agrupada g. Para ello se tendrá en cuenta la información de la (EPA, 2018) dada su amplia aceptación científica y la ausencia de datos centralizados gratuitos en Colombia.

Con la aplicación de la fórmula planteada se espera obtener los resultados de las emisiones contaminantes (HC, PM_{10} , CO, CO_2 , SO_2). El $PM_{2.5}$ se estima como el 97% del PM_{10} (EPA, 2018). El BC se estimará a partir del documento “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook” de la EEA. (European Environment Agency, 2019). El BC se estima como una fracción del PM_{10} en función de la potencia, y el estándar de emisiones que se asuma. Para Colombia no es posterior a 1991-Tier 1 y anterior al Tier4I (Ver Tabla 1). En este orden de ideas, se analizarán las emisiones totales por contaminante.

Tabla 1.

Estimación de BC como fracción del PM_{10}

Nivel	Diesel < 130 kW	Diesel ≥ 130 kW
tecnológico		

	f-BC	+/- (%)	f-BC	+/- (%)
<1981	0,55	10	0,50	20
1981-1990	0,55	10	0,50	20
1991-Tier 1	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	0,80	50	0,70	20

Fuente: (European Environment Agency, 2019)

Casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.

Por último, una vez se aborden los aspectos técnicos, este proyecto incluirá una descripción de los pocos casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a MMNC. Esto, con el fin de brindar un mejor escenario de posibilidades de solución en torno a esta problemática en Cundinamarca, y en esencia en Colombia.

En Latinoamérica la promoción de los estándares de emisión asociados a MMNC no ha sido un tema fundamental en la política. Se busca tener un avance para lograr una reglamentación progresiva. Para obtener esta información se realizará la consulta de bases de datos científicas, fuentes de información confiable que se encuentra asociada a los gobiernos de Latinoamérica que puedan brindar información importante sobre la estimación de emisiones contaminantes y su proceso para convertirse en casos de política pública con su debida reglamentación. Se hará un enfoque a los países latinoamericanos que sobresalen

en el tema (Brasil y Chile) y se recopilará información de los aspectos que llevaron a estos países a considerarse como exitosos en el tema de política pública relacionada con la reglamentación de emisiones asociadas a la MMNC.

Discusión de resultados

Inventario de maquinaria móvil no de carretera para el departamento de Cundinamarca.

De acuerdo con la información recuperada de aduanas (proveniente de LegisComex) se estima que el inventario de MMNC para el departamento de Cundinamarca cuenta con 11.594 unidades.

Se incluye además 15 tipologías de MMNC que más aportan al total del inventario. Según el estudio realizado y las actividades del departamento se encuentra que la maquinaria con mayor participación es aquella relacionada con el sector industrial, seguido

por el sector de la construcción, actividades que son cotidianas y que destacan al departamento, siendo así las principales actividades económicas.

Tabla 2.

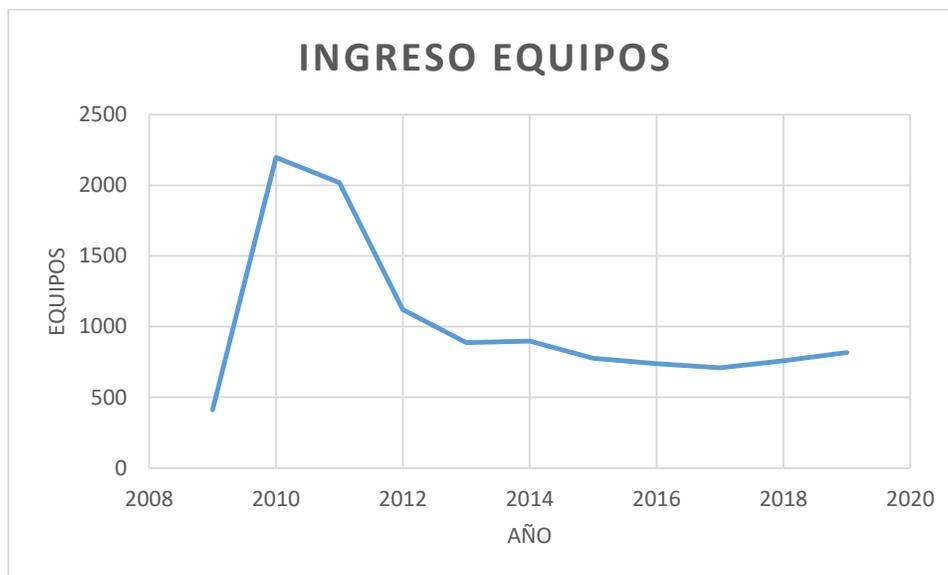
Porcentaje de participación de cada una de las tipologías de MMNC para el departamento de Cundinamarca.

TIPOLOGIA	PORCENTAJE
MONTACARGAS	35
CARGADORA FRONTAL	31
COMPACTADOR	6
RETROEXCAVADORA	6
EXCAVADORA	4
CORTADORA	2
PERFORADORA	2
BULLDOZER	2
CARRETILLA ELEVADORA	2
AUTOHORMIGONERA	2
MOTONIVELADORA	2
CAMION GRUA	1
MANIPULADOR TELESCOPICO	1
GATOR	1
COSECHADORA	0

Fuente: Autoría propia

Figura 2

Ingreso de equipos de MMNC por año



Fuente: Autoría propia

Es durante este análisis de resultados que podemos deducir que respecto al inventario de equipos MMNC, durante el año 2010 y 2011 ingresaron a Cundinamarca las cantidades más altas de MMNC.

Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos y climáticos asociados a MMNC.

De acuerdo con el inventario de MMNC recuperado de la base de datos de Legis Comex se pudo registrar el comportamiento de contaminantes atmosféricos (HC, CO, CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, BC y SO₂) en el departamento de Cundinamarca evidenciando que el dióxido de carbono producido por el uso de MMNC en el departamento de Cundinamarca adquirió el mayor nivel de emisión aportando 349126,2 toneladas al departamento.

Figura 3

Comportamiento de contaminantes correspondientes al departamento de Cundinamarca.



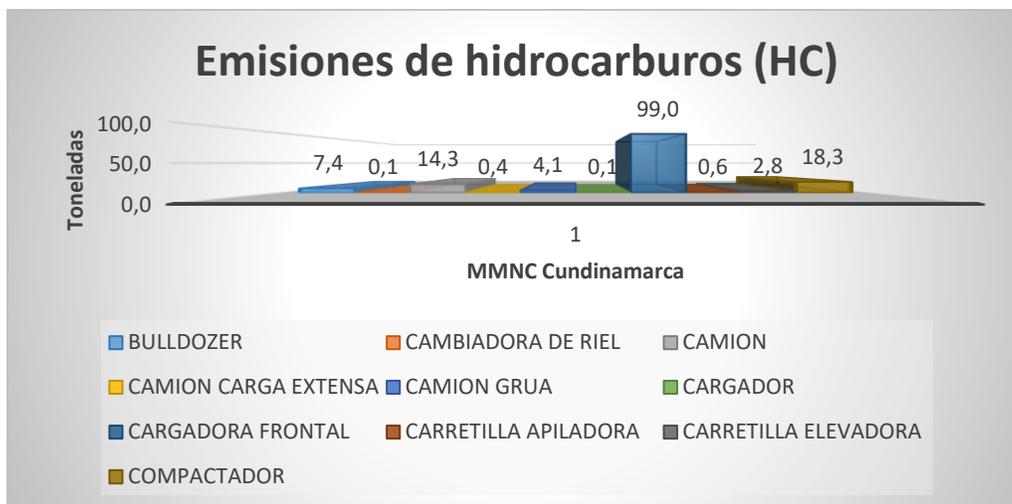
Fuente: Autoría propia

Emisiones de hidrocarburos (HC)

En relación con los 10 equipos discriminados por su mayor comportamiento en emisiones la cargadora frontal es la encargada de producir para el municipio de Cundinamarca 99 toneladas de emisiones hidrocarburos.

figura 4

Emisiones hidrocarburos para el departamento de Cundinamarca 2019



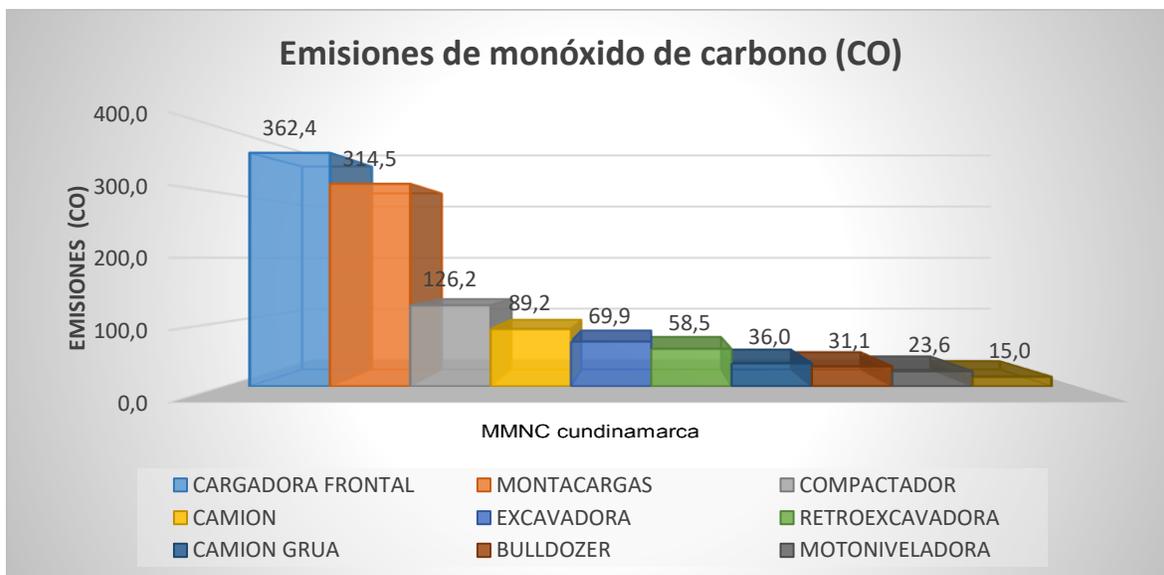
Fuente: Autoría propia

Emisiones de monóxido de carbono (CO)

En la siguiente figura se puede observar maquinaria como la cargadora frontal y montacargas, las cuales son las que emitieron la mayor cantidad de Monóxido de Carbono en el departamento de Cundinamarca con 362,4 y 314,5 toneladas respectivamente, seguido por las compactadoras. Esto con relación a las 10 tipologías de MMNC con mayor participación en el departamento.

Figura 5

Emisiones de monóxido de carbono asociadas a MMNC en Cundinamarca 2019



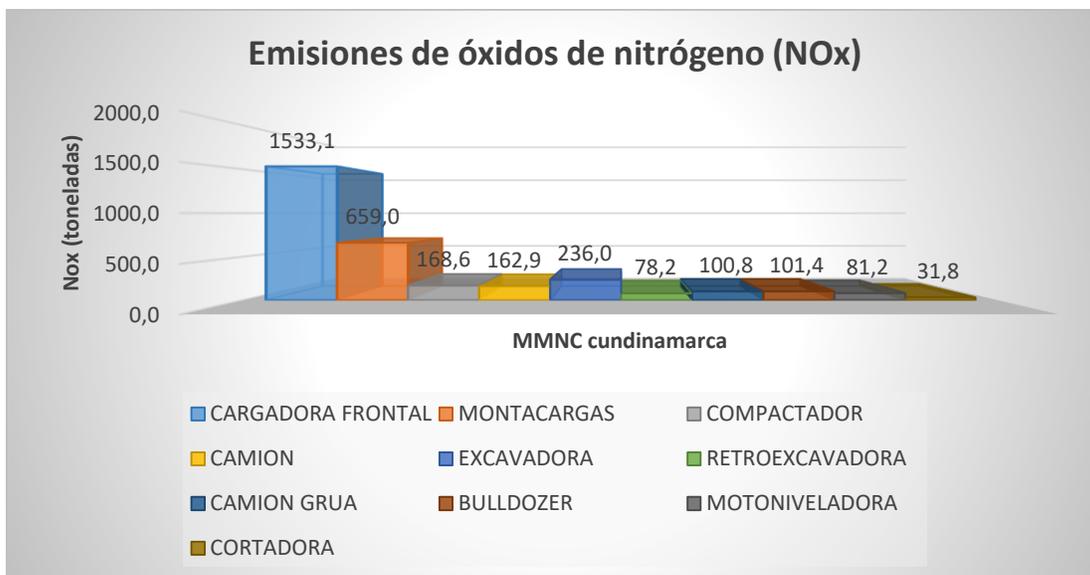
Fuente: Autoría propia

Emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)

Teniendo en cuenta las 10 tipologías de MMNC con mayor participación en el departamento de Cundinamarca se encuentra que la cargadora frontal aportó 1533,3 toneladas de Óxidos de Nitrógeno al Departamento mientras que el aporte de las demás tipologías para este contaminante fue menor.

Figura 6

Emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)



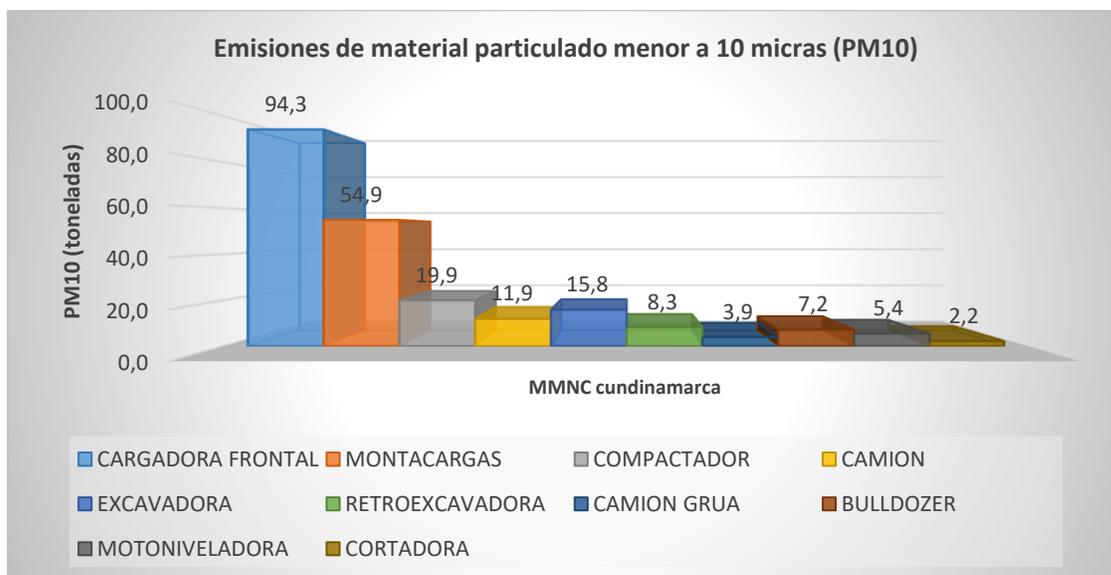
Fuente: Autoría propia

Emisión de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀)

De acuerdo con el análisis de datos recopilados se encuentra que las cargadoras frontales aportaron la mayor cantidad de material particulado menor a 10 micras, seguido por los montacargas y las excavadoras, tipologías implementadas especialmente en las áreas de la construcción y la industria en el departamento.

Figura 7

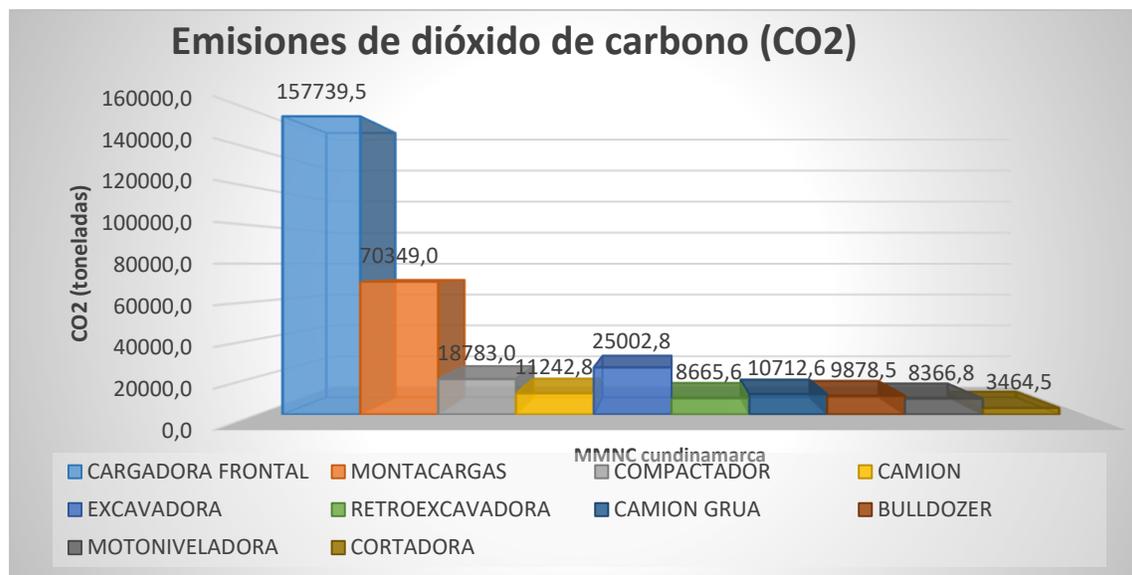
Emisión material particulado menor a 10 micras (PM10)



Fuente: Autoría propia

Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

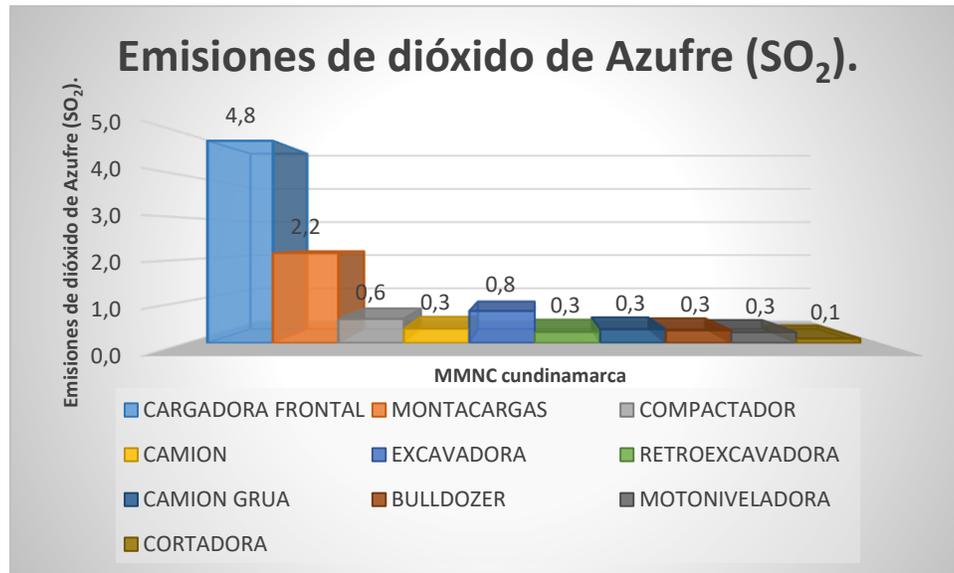
Para la emisión de este contaminante se evidenció que 157739,5 toneladas corresponden a las cargadoras frontales y 70349,0 toneladas a los montacargas, esto permitió identificar que la construcción y la industria son quienes más hacen uso de estas tipologías y permitió evidenciar que su constante uso está emitiendo la mayor cantidad de dióxido de carbono en el departamento.

Figura 8Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

Fuente: Autoría propia

Emisiones de dióxido de Azufre (SO₂).

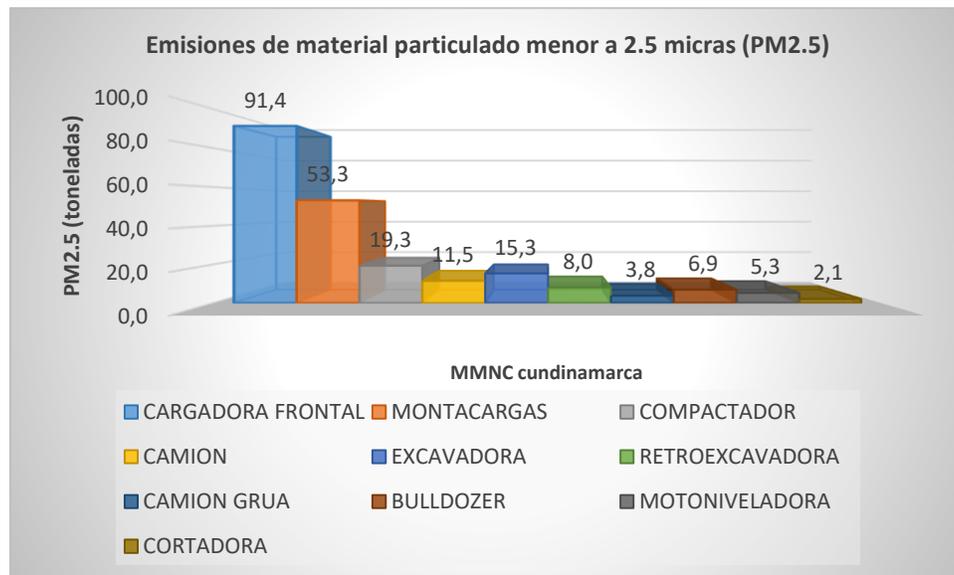
De las 10 tipologías analizadas se puede identificar el aporte de Dióxido de Azufre por parte de las cargadoras frontales y los montacargas es notorio en comparación con las demás tipologías seleccionadas por su mayor participación en el departamento de Cundinamarca.

Figura 9Emisiones de dióxido de Azufre (SO₂).

Fuente: Autoría propia

Emisiones de material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5})

Las tipologías como cargadora frontal, montacargas y compactadoras son las que emitieron la mayor cantidad de este contaminante al departamento.

Figura 10Emisiones de material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2,5})

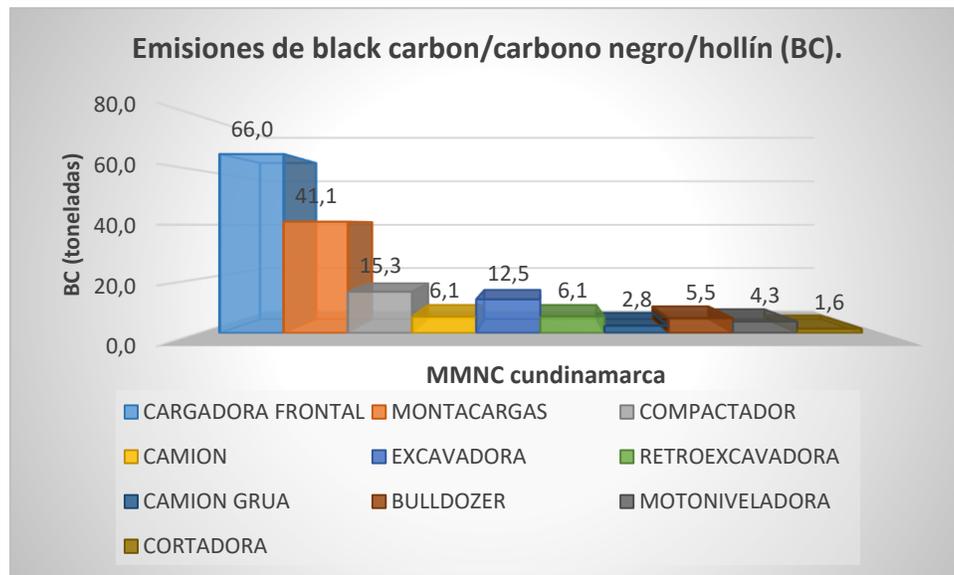
Fuente: Autoría propia

Emisiones de Black Carbon/carbono negro/hollín (BC).

Para emisiones de Black Carbon/carbono negro/hollín se encontró que la cargadora frontal fue la tipología que más emisiones aportó en el departamento, un total de 66 toneladas, seguido por los montacargas que emitieron 41,1 toneladas y los compactadores que emitieron 15,3 toneladas.

Figura 2

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



Fuente: Autoría propia

Casos exitosos de política pública relativos a la reglamentación de emisiones asociadas a la maquinaria móvil no de carretera en Latinoamérica.

Contaminantes atmosféricos como Material particulado, NO_x, SO₂, CO, CO₂, HC y BC están asociados a la MMNC, estos contaminantes ocasionan daños a la salud y al ambiente. El departamento de Cundinamarca a la fecha no cuenta con estudios que estimen un inventario de MMNC ni sus emisiones contaminantes, por tanto, su estudio es de vital importancia porque permite dar un soporte técnico a la autoridad ambiental, dando paso así a su reglamentación.

En Latinoamérica los estudios sobre emisiones contaminantes atmosféricas enfocados a la reglamentación mediante políticas públicas no ha sido un tema primordial, son escasos los países que han logrado encaminar estos estudios a la regulación de dichos contaminantes asociados a la MMNC, estos países han sido Chile y Brasil.

El primero ha publicado estudios de la estimación de contaminantes atmosféricos relacionados con la MMNC y el segundo ha logrado regular mediante políticas públicas las emisiones ya mencionadas, convirtiéndose así en el primer país en Latinoamérica en lograrlo.

- **Chile.**

Este país ha desarrollado estudios relacionados con la MMNC que están enfocados en el diseño de proyectos que permitan reglamentar las emisiones atmosféricas provenientes de esta maquinaria. Hasta el momento se han desarrollado tres estudios, uno sobre Inventario de Emisiones en el año 2005 (Reinoso Durán, 2013) y el otro presentado en 2010,

(Reinoso Durán, 2013) el cual se denomina Registro, Caracterización y Evaluación de Medidas de Control de Emisiones para la Maquinaria Fuera de Ruta en la RM.

El ministerio de Medio Ambiente de Santiago de Chile publica el último estudio sobre la elaboración de diagnóstico e inventario de emisión el 18 de noviembre de 2013 dando a conocer el análisis del estado de la maquinaria fuera de ruta en el país. (Reinoso Durán, 2013)

El estudio publicado en 2013 muestra que las emisiones contaminantes fueron estimadas de acuerdo con la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA).

Para la construcción del inventario de maquinaria este estudio tomo información de aduanas a partir de las importaciones entre 2000 y 2012 de esta manera (Reinoso Durán, 2013) en su publicación resalta que mediante el decreto supremo N.º 295 de 2013 se está dando un primer paso a la norma de Emisión teniendo en cuenta las medidas del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA) el cual entro en vigor el 04 de noviembre de 2017. Con esto el Ministerio de Medio Ambiente da inicio al pronunciamiento de la norma.

En el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA) incluye una sección para regular la MMNC, en su artículo 18 se especifica que a partir del 2020 al ejecutarse obras de construcción en la región metropolitana los ministerios de Obras Públicas, Vivienda y Urbanismo, Ministerio de salud, deberán usar filtros de partículas cerrados para el total de la maquinaria móvil fuera de ruta de construcción que tenga una potencia superior a 56 kW e inferior o igual a 560

kW (Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2019).

En 2016 por resolución exenta N.º 1.134 de 26 de octubre de 2016 el Ministerio de Medio Ambiente aprobó el anteproyecto de Norma de Emisión Para Maquinaria Móvil Fuera de Ruta y lo somete a consulta pública. Este anteproyecto presenta las tablas con los límites máximos de emisión que deberá cumplir la maquinaria a partir de 2019 y 2022 respectivamente (Resolución 1134, 2016).

De esta manera Chile se destaca por realizar el inventario de emisiones de Maquinaria Móvil Fuera de Ruta al igual que la implementación de filtros de partículas diésel en maquinaria de construcción.

- **Brasil.**

En Brasil en el mes de julio de 2011, CONAMA (Congreso Nacional de Medio Ambiente), adoptó la resolución 433 de 2011 la cual limita las emisiones de escape y ruido de la maquinaria de construcción y agrícola (Operation, 2020).

Mediante esta resolución Brasil se convierte en el primer país de América Latina en tener control de emisiones contaminantes en MMNC, allí se conoce como Proconve MAR-I (Máquinas agrícolas y viales I), todo esto siguiendo el estándar de control adoptado en Estados Unidos (EPA Tier III) y Europa (Euro Stage IIIA) (Operation, 2020).

En el país los límites de emisión MAR-I fueron introducidos desde 2015 hasta 2019. Esta aplicación se dio de acuerdo con la categoría de potencia y el tipo de máquina como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 3

Estándar de emisiones Brasil

Potencia nominal	Fecha		CO	NO _x + HC	PM
	Kw	Construcción			
130 ≤ P ≤ 560	2015.01	2017.01	3.5	4.0	0.2
75 ≤ P < 130	2015.01	2017.01	5.0	4.0	0.3
37 ≤ P	2015.01	2019.01	5.0	4.7	0.4
19 ≤ P	2017.01	2019.01	5.5	7.5	0.6

Fuente: (DieselNet, 2020)

Este estándar de emisiones para Brasil se establece de acuerdo con la norma ISO 8178 de ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas), la cual tiene definidos todos los procedimientos para la medición de emisiones de gases de MMNC (Operation, 2020).

Después de emitida la norma y la asignación de estas fechas del estándar de emisiones, Brasil somete a todos los equipos vendidos en el país a pruebas de laboratorio (pruebas estáticas). En estas pruebas están equipados con elementos como analizadores de gases y partículas, micrófonos y otros elementos que permiten evaluar el nivel de ruido y contaminación asociado a esta maquinaria.

Conclusiones

- Se calcularon 11.594 unidades de MMNC en el departamento de Cundinamarca que de acuerdo con la información aduanera se establecieron indicadores que permitieron dar su respectiva asignación geográfica.
- Se estima que durante el año 2010 y 2011 ingresaron al departamento de Cundinamarca la mayor cantidad de MMNC.
- En la comparación de la emisión de contaminantes climáticos y atmosféricos asociados a MMNC del departamento de Cundinamarca, se logró evidenciar que el contaminante que más emite esta maquinaria es el Dióxido de Carbono, el cual produce cambios en el clima y afecta a la salud humana.
- De las 11.594 unidades de MMNC con las que cuenta el departamento se logró evidenciar las tipologías que más emiten contaminantes atmosféricos y climáticos en el departamento. Cargadoras frontales, montacargas son las que más aporte de emisiones refleja y las cuales son usadas en las áreas de la construcción y la industria, actividades que se destacan en el departamento.
- Chile y Brasil son de los pocos países que en Latinoamérica han adelantado estudios e investigaciones relacionados con las emisiones de MMNC. Brasil ha logrado regular las emisiones de esta maquinaria, esto lo convierte en el primer país en Latinoamérica que mediante políticas públicas ha dado un seguimiento a esta problemática. Chile por su parte ha llevado a cabo investigaciones sobre la estimación de contaminantes de este tipo de maquinaria, lo cual permite dar un enfoque o apoyo a los estudios que se adelanten en Colombia.

Recomendaciones

- Las autoridades competentes deben tener en cuenta este tipo de estudios con el fin de que a futuro se formulen políticas públicas relacionadas con la MMNC.
- Es importante que el gobierno nacional apoye las investigaciones relacionadas con esta maquinaria, ya que no existe reglamentación respecto a las mismas y día a día se hace necesario que las emisiones contaminantes disminuyan.
- La resolución 910 de 2008 habla sobre los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, sin embargo, en el capítulo I, artículo 2 se exceptúa del cumplimiento a los equipos fuera de carretera. Esto debe ser analizado y modificado, ya que con este estudio para el departamento de Cundinamarca se evidenció que las emisiones son altas aportando así a la contaminación ambiental.
- Se debe dar importancia y dar a conocer en el país y cada uno de los departamentos todo lo relacionado con este tipo de fuentes móviles.

Bibliografía

- CAMACOL. (2015). Proyecto de Investigación del sector de la construcción de edificaciones en Colombia. *Cámara de Comercio de La Construcción, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 0*, 77–94.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Caracterización económica y empresarial de diecinueve municipios de Cundinamarca. *Informe Final Cualitativo, 0(0)*, 11–82.
[https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14584/caracterizacion economica y empresarial de 19 municipios.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14584/caracterizacion_economica_y_empresarial_de_19_municipios.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>
- DANE. (2019a). *Encuesta nacional agropecuaria (ENA)*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- DANE. (2019b). *PIB por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- DieselNet. (2020). *Brazil: Nonoad Diesel Engines*.
<https://dieselnet.com/standards/br/nonroad.php>
- EPA. (2005). *Calculation of Age Distributions in the Nonroad Model: Growth and Scrappage*.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1004L8U.txt?ZyActionD=ZyDocument&Clie>

nt=EPA&Index=2016 Thru 2020%7C1991 Thru 1994%7C2011 Thru 2015%7C1986
 Thru 1990%7C2006 Thru 2010%7C1981 Thru 1985%7C2000 Thru 2005%7C1976
 Thru 1980%7C1995 Thru 1999%7CPrior to 1976%7CHardcopy
 Publications&Docs=&Query=Calculation Age Distributions Nonroad Model Growth
 Scrappage&Time=&EndTime=&SearchMethod=2&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry
 =&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldO
 p=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX
 DATA%5C00THRU05%5CTXT%5C00000021%5CP1004L8U.txt&User=ANONY
 MOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-
 &MaximumDocuments=15&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r85g16/r85g16/x150y15
 0g16/i500&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActio
 nS&BackDesc=Results page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x

EPA. (2010). *Median Life , Annual Activity , and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling*. Median Life , Annual Activity , and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling

EPA. (2018). *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b*.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100UXEN.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2016+Thru+2020&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex>

Data%5C16thru20%5CTxt%5C00000008%5CP100UXEN.txt&User=ANONYMOUS

&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-
 &MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g1
 6/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS
 &BackDesc=Results page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL#

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

Gallagher, J. (2012). El humo del diésel produce cáncer, según la OMS. *BBC NEWS*, 0, 1. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/06/120612_humo_diesel_cancer_jgc

Gobierno de España. (2014). *Transporte - Otros modos*. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transporte_otros_modos.aspx

González Estrada, T., & Valencia, J. A. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. In *UPME*. http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

Instituto Nacional de Salud. (2018). Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. *Instituto Nacional de Salud Observatorio Nacional de Salud*, 0(0), 95–98. [https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10 Carga de enfermedad ambiental en Colombia.pdf](https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf)

Mendez Espinosa, J. F., & Morales Betancourt, R. (2021). Estrategia de Lucha Contra el Cambio Climático y la Contaminación Atmosférica: Implementación de la normativa de Emisiones en Maquinaria Móvil no de Carretera. *Universidad de Los Andes*, 0(0),

1–24.

Minambiente. (2020). *Colombia asumió el liderazgo en medidas económicas ambientales*.

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3296-colombia-asumio-el-liderazgo-en-medidas-economicas-ambientales>

Resolución 0910 de 2008, 1 (2008). [https://www.habitatbogota.gov.co/resolucion-0910-de-](https://www.habitatbogota.gov.co/resolucion-0910-de-2008#:~:text=Descripción%3A,y se adoptan otras disposiciones)

[2008#:~:text=Descripción%3A,y se adoptan otras disposiciones](https://www.habitatbogota.gov.co/resolucion-0910-de-2008#:~:text=Descripción%3A,y se adoptan otras disposiciones).

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2019). MMA realizó el “Seminario Internacional:

Maquinaria de Construcción Libre de Hollín, Reducir la contaminación y mitigar el cambio climático”, en el marco del Programa CALAC+. *24 DE MAYO*, 1.

<https://mma.gob.cl/mma-realizo-el-seminario-internacional-maquinaria-de-construccion-libre-de-hollin-reducir-la-contaminacion-y-mitigar-el-cambio-climatico-en-el-marco-del-programa-calac/>

OMS. (2012). *IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic*. [https://www.iarc.who.int/news-](https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/)

[events/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/](https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/)

OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

[sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

OMS. (2020). *Contaminación del aire*. https://www.who.int/topics/air_pollution/es/

Operation. (2020). *PROCONVE MAR-1*. <https://operation.com.br/proconve-mar-i/>

Ortúzar, F., & Tornel, C. (2016). Contaminantes Climáticos de Vida Corta. *AIDA*, 1, 30–

57. https://aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/reporte_ccvc_0.pdf

Pardo Ortiz, F. J. (2018). *Determinación del nivel de actividad y emisiones contaminantes*

producidas por maquinaria fuera de ruta en Chile.

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42452/3560902038715UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reinoso Durán, A. (2013). ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICO E INVENTARIO DE EMISIÓN INFORME FINAL CORREGIDO. *GEASUR TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE*, 0(0), 5–16.

https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/7._Antecedentes_Diagnostico.pdf

Resolución 1134, (2016).

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1096428&idParte=>

Rios, R. A., Arango, F., Vicentini, V. L., & Acevedo, R. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector transporte.*

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estrategias-de-mitigación-y-métodos-para-la-estimación-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-transporte.pdf>

Ubaque Orjuela, J. A. (2019). Inventario de emisiones fuera de ruta por construcción de edificaciones en el área urbana de la ciudad de Bogotá. In *Universidad Nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69742>

Anexos

Anexo A.

Guía metodológica para la construcción del inventario de maquinaria móvil en Colombia

Clase de Equipo	HC (toneladas)	CO (toneladas)	Nox (toneladas)	PM10 (toneladas)	CO2 (toneladas)	SO 2	PM2.5	BC
AUTOHORMIGONERA	3,1	12,1	42,1	2,5	4383,6	0,1	2,4	2,0
BULLDOZER	7,4	31,1	101,4	7,2	9878,5	0,3	6,9	5,5
CAMBIADORA DE RIEL	0,1	0,3	1,2	0,1	125,8	0,0	0,1	0,1
CAMION	14,3	89,2	162,9	11,9	11242,8	0,3	11,5	6,1
CAMION CARGA EXTENSA	0,4	3,3	9,4	0,3	970,3	0,0	0,3	0,2
CAMION GRUA	4,1	36,0	100,8	3,9	10712,6	0,3	3,8	2,8
CARGADOR	0,1	0,3	1,1	0,1	106,9	0,0	0,1	0,1
CARGADORA FRONTAL	99,0	362,4	1533,1	94,3	157739,5	4,8	91,4	66,0
CARRETILLA APILADORA	0,6	4,3	5,6	0,6	657,2	0,0	0,6	0,5
CARRETILLA ELEVADORA	2,8	12,5	29,3	2,7	3390,7	0,1	2,6	1,9
COMPACTADOR	18,3	126,2	168,6	19,9	18783,0	0,6	19,3	15,3

CORTADORA	3,1	15,0	31,8	2,2	3464,5	0,1	2,1	1,6
COSECHADORA	0,2	0,8	2,3	0,1	271,8	0,0	0,1	0,1
DRAGA	0,2	0,6	4,0	0,2	412,7	0,0	0,2	0,1
DUMPER	0,0	0,3	0,6	0,0	68,0	0,0	0,0	0,0
EXCAVADORA	17,7	69,9	236,0	15,8	25002,8	0,8	15,3	12,5
GATOR	0,4	2,1	2,2	0,3	226,6	0,0	0,3	0,2
GRUA	0,7	2,6	11,0	0,7	1139,3	0,0	0,7	0,5
JUMBO DE PERFORACION	0,1	0,5	0,4	0,1	41,9	0,0	0,1	0,1
MANIPULADOR TELESCOPICO	2,3	10,0	21,1	2,0	2096,3	0,1	2,0	1,4
MINI EXCAVADORA	0,1	0,5	0,4	0,1	45,5	0,0	0,1	0,0
MINICARGADOR	0,7	3,1	2,7	0,5	264,6	0,0	0,5	0,3
MONTACARGAS	64,6	314,5	659,0	54,9	70349,0	2,2	53,3	41,1
MOTONIVELADO RA	6,0	23,6	81,2	5,4	8366,8	0,3	5,3	4,3
MOTOTRAILLA	1,1	10,0	27,8	1,1	2842,9	0,1	1,1	0,8
PERFORADORA	3,0	9,0	43,7	1,8	3962,7	0,1	1,8	1,3
PILOTEADORA	0,3	0,7	4,1	0,2	397,3	0,0	0,2	0,2
RETROEXCAVAD ORA	8,8	58,5	78,2	8,3	8665,6	0,3	8,0	6,1
TALADRO	0,0	0,0	0,3	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0

TALADRO	0,4	2,5	11,2	0,3	975,7	0,0	0,3	0,2
PETROLERO								
TRACTOR	0,6	3,9	5,1	0,6	571,6	0,0	0,6	0,4
VOLQUETA	1,3	5,1	18,8	1,0	1936,8	0,1	1,0	0,8
ZANJADORA	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
Total general	261,9	1211,0	3397,7	238,9	349126,	10,	231,	172,
					2	7	7	4