

**ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES
PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN EL MUNICIPIO DE FUNZA
Y MOSQUERA**

Acero Guerreros Yosef Andrey

Director:

Chacón Rivera Lina María

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Grado

Bogotá, Colombia

2024

Tabla de contenido

1.	RESUMEN.....	4
2.	INTRODUCCIÓN.....	5
3.	OBJETIVO GENERAL	8
3.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
4.	DEFINICION DEL PROBLEMA	8
5.	JUSTIFICACIÓN	10
6.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	12
7.	MARCO DE REFERENCIA	17
8.	ANÁLISIS DE LAS RESTRICCIONES	22
8.1	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	26
8.1.1	JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN:	29
8.2	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	29
9.	ANÁLISIS DE COSTOS DE LA SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.....	33
10.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
11.	IMPACTOS Y ASPECTOS AMBIENTALES.....	60
12.	VIABILIDAD	62
13.	CONCLUSIONES	63
14.	RECOMENDACIONES	64
15.	REFERENCIAS.....	66

Lista de figuras

Figura 1. <i>Vía principal Funza - Bogotá</i>	12
Figura 2. <i>Vía carrera 9</i>	13
Figura 3. <i>Calle 15</i>	14
Figura 4. <i>Vía Carrera 3</i>	15
Figura 5. <i>Caracterización Flota vehicular auto 2023</i>	37
Figura 6. <i>Caracterización Localidad auto 2023</i>	39
Figura 7. <i>Calculo emisiones auto 2023</i>	41
Figura 8. <i>Calculo emisiones auto 2023</i>	42
Figura 9. <i>Resultados 2w Arterial Moto Fleet</i>	43
Figura 10. <i>Resultados 2w Arterial Moto Fleet GEI</i>	44
Figura 11. <i>Comparación 2w Highway Moto Fleet</i>	45
Figura 12. <i>Comparación 2w Highway Moto Fleet GEI</i>	46
Figura 13. <i>Comparación 2w Residencial Moto Fleet</i>	47
Figura 14. <i>Comparación 2w Residencial Moto Fleet GEI</i>	47
Figura 15. <i>Comparación Bus Fleet</i>	48
Figura 16. <i>Comparación Bus Fleet GEI</i>	49
Figura 17. <i>Comparación Dtruck trucks fleet</i>	50
Figura 18. <i>Comparación Dtruck trucks fleet</i>	50
Figura 19. <i>Comparación LH Dtruck trucks fleet</i>	52
Figura 20. <i>Comparación LH Dtruck trucks fleet</i>	53
Figura 21. <i>Comparación PC Arterial Auto Fleet</i>	54
Figura 22. <i>Comparación PC Arterial Auto Fleet GEI</i>	55
Figura 23. <i>Comparación PC Highway Auto Fleet</i>	56
Figura 24. <i>Comparación PC Highway Auto Fleet GEI</i>	56
Figura 25. <i>Resultados PC Residencial Auto Fleet</i>	58
Figura 26. <i>Comparación PC Residencial Auto Fleet GEI</i>	58

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Análisis de costos Modelo IVE</i>	34
Tabla 2. <i>Tabla de resultados 2w Arterial Moto Fleet</i>	43
Tabla 3. <i>Resultados 2w Highway Moto Fleet</i>	45
Tabla 4. <i>Resultados 2w Residencial Moto Fleet</i>	46
Tabla 5. <i>Resultados Bus Fleet</i>	48
Tabla 6. <i>Resultados Dtruck trucks fleet</i>	50
Tabla 7. <i>Resultados LH Dtruck trucks fleet</i>	52
Tabla 8. <i>PC Arterial Auto Fleet</i>	54
Tabla 9. <i>Resultados PC Highway Auto Fleet</i>	56
Tabla 10. <i>Resultados PC Residencial Auto Fleet</i>	58
Tabla 11. <i>Comparación PC Residencial Auto Fleet GEI</i>	60

1. RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo estimar el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos (CO, NO_x, COV, SO_x y PM) provenientes de fuentes móviles en los municipios de Funza y Mosquera para los periodos 2018 y 2023, como línea base para estimar el impacto sobre la contaminación atmosférica causada por el transporte sostenible, utilizando la

metodología del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). Esta metodología se basa en la recopilación de datos representativos de la población vehicular, el parque automotor, el consumo de combustible, el ciclo de conducción y las condiciones ambientales.

El Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), diseñado para estimar las emisiones de los vehículos de motor, predice la contaminación del aire local, los gases de efecto invernadero y las sustancias tóxicas (Rojas, 2015). En esta investigación se consideraron las categorías vehiculares de flotas de vehículos particulares, buses, camiones, taxis, motocicletas y vehículos sostenibles (a gas, híbridos y eléctricos).

El análisis de los datos se identifica un significativo crecimiento en la flota vehicular y gracias al aumento en el crecimiento en la flota de vehículos eléctricos he híbridos en estos municipios, se evidencia una disminución en los contaminantes estudiados.

Este estudio proporciona información valiosa para el diseño, presentación e implementación de políticas nacionales orientadas a reducir las emisiones de fuentes móviles y mejorar la calidad del aire en los municipios de Funza y Mosquera.

Palabras clave: Fuentes móviles, Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), incertidumbre, contaminantes criterio.

2. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema significativo en Bogotá y sus alrededores, debido a los altos índices de polución del aire que afectan estas áreas. La Secretaría Distrital de Ambiente evalúa los niveles de contaminantes en la atmosfera diario,

mediante la estación de calidad del aire de cada localidad, con los cuales se realiza el cálculo del Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud (IBOCA). Actualmente, la concentración de PM_{2.5} en Bogotá es 8.7 veces superior al valor de referencia anual de la calidad del aire establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En consecuencia, es evidente que la calidad del aire en Bogotá y sus alrededores es una cuestión de importancia que requiere atención y acciones adecuadas (IBOCA, 2023).

Las emisiones atmosféricas provienen de diversas fuentes, incluyendo fuentes fijas y móviles, siendo estas últimas las que generan el mayor porcentaje de contaminación debido al parque automotor. Conocer la calidad del aire es crucial para diseñar estrategias de mitigación, control y prevención, basadas en la normativa vigente (SDA, 2017).

Las fuentes móviles de emisión corresponden a los vehículos con motores de combustión interna, como automóviles, camiones, autobuses y motocicletas. Estos vehículos emiten diversos contaminantes al aire, tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre (SO_x) y partículas (PM). La estimación de estas emisiones requiere la recolección y análisis de datos sobre la cantidad y tipo de vehículos en circulación, sus patrones de uso y conducción, la zona de operación, la antigüedad de los vehículos, kilometrajes y mediciones de emisiones, utilizando modelos de estimación.

En los municipios de Funza y Mosquera, se han realizado varios estudios para estimar las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes móviles. Estos estudios han empleado diversas metodologías, incluyendo el Modelo Internacional de Emisiones

Vehiculares (IVE), una herramienta desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y utilizada globalmente para este propósito.

La aplicación del modelo IVE permite evaluar las emisiones de contaminantes emitidas al aire por los de vehículos, facilitando a las autoridades de control, la toma de decisiones informadas sobre políticas de transporte y medio ambiente. El modelo IVE estima las emisiones de diversos contaminantes del aire local, incluidos los contaminantes criterio, los gases de efecto invernadero y los contaminantes tóxicos. Esta herramienta es especialmente valiosa en áreas en desarrollo, ya que permite el cálculo de emisiones vehiculares a partir del parque automotor no se comprenden con precisión y la capacidad de realizar estimaciones precisas de emisiones es crucial para la planificación y de la gestión de la calidad del aire, para toma de decisiones con el fin de promocionar mejores políticas públicas.

Es importante destacar que las estimaciones de emisiones son ejercicios complejos que conllevan niveles de incertidumbre. Por tanto, es fundamental que las metodologías empleadas sean robustas y que los datos utilizados sean precisos. Asimismo, estas estimaciones deben actualizarse regularmente para reflejar los cambios en las condiciones y características físicas y geográficas de las áreas en estudio.

3. OBJETIVO GENERAL

Estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos (CO, NO_x, COV, SO_x y PM) mediante el uso del modelo IVE, para establecer una línea base que permita identificar distintos escenarios con la introducción de las tecnologías sostenibles en los municipios de Funza y Mosquera.

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar la composición de la flota vehicular en los municipios de Funza y Mosquera, mediante fuentes secundarias.
- Presentar los patrones de actividad vehicular en los municipios de Funza y Mosquera, detallando el uso y comportamiento de diferentes tipos de vehículos.
- Identificar los factores de emisión aplicables al cálculo de las emisiones producidas por los vehículos de los municipios de Funza y Mosquera, mediante la metodología IVE.
- Calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos (CO, NO_x, COV, SO_x y PM), a través de la metodología IVE.

4. DEFINICION DEL PROBLEMA

La tendencia del parque automotor es de crecimiento para el año 2022 en un 71% , ya que este sector es uno de los principales responsables de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial. De acuerdo con el estudio realizado por la UPME (2019), el 22% del consumo de gasolina de motor y el 19% de diésel, se le atribuye al sector del transporte para un total de 42% de consumo final de energía del país para el año 2019. Para el año 2022 el ministerio de transporte reporto 6 millones de vehículos livianos que equivale alrededor del 35% del parque automotor, sin

embargo, se estima que para el 2030 tenga un aumento del 30% y de 55 % para el año 2050 (UPME, 2019)

El transporte sostenible es un concepto que busca promover el uso de modos de transporte que sean amigables con el medio ambiente. De acuerdo con el International Association of Public Transport (2017) define el transporte sostenible como "el transporte que satisface las necesidades de las personas y las empresas de manera eficiente, equitativa y respetuosa con el medio ambiente" (p.11).

En los municipios de Funza y Mosquera el transporte sostenible es una posible respuesta de los problemas de contaminación atmosférica debido al sector transporte. También es una zona caracterizada por un rápido crecimiento poblacional y económico. Según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 2018 DANE (2018) "la población de Funza tuvo un crecimiento poblacional en un 139.1% y Mosquera 137.6%(p.11). Para el año 2022 crecimiento de vehículos eléctricos nuevos en Colombia es de 245% y de vehículos híbridos nuevos es de 82%, de acuerdo con el boletín publicado por FENALCO Y ANDI (2023).

En este sentido procurando cumplir el objetivo de la Ley 1964 de 2019 el cual establece, "Generar esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, con el fin de contribuir a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero" (2019), y teniendo como meta velar que un porcentaje de los vehículos utilizados para la operación de las flotas, sean eléctricos o cero emisiones contaminantes, de manera paulatina para el 2025, mínimo el diez (10) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2027, como mínimo el veinte (20) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2029, mínimo el cuarenta (40) por ciento de los vehículos adquiridos, a partir de 2031, mínimo el sesenta (60) por ciento de los vehículos

adquiridos, a partir de 2033, mínimo el ochenta (80) por ciento de los vehículos adquiridos y a partir de 2035, mínimo el cien (100) por ciento de los vehículos adquiridos Ley 1964 (2019).

5. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la creciente influencia del transporte sostenible y el desarrollo urbano en los municipios de Funza y Mosquera, es de extrema importancia este análisis y estimación de emisiones contaminantes atmosféricas generadas por las fuentes móviles. Así, analizar el impacto sobre la calidad del aire que tendría la implementación del transporte sostenible en estos municipios.

De acuerdo con el estudio realizado por el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (2016), es necesario establecer las medidas de transporte sostenible para mejorar las emisiones contaminantes de los municipios y con ello la calidad del aire.

Uno de los grandes responsables de tener un impacto negativo en la salud humana son los vehículos que utilizan combustibles fósiles por su alta emisión de contaminantes al aire, para mejorar la calidad del aire, reducir los riesgos para la salud y reducir la cantidad de emisiones de gases contaminantes, se propone la movilidad sostenible, incluyendo opciones como el transporte público, la bicicleta y caminar (BES, 2023).

La presencia de niveles elevados de contaminación atmosférica puede ocasionar una variedad de efectos adversos para la salud, incluyendo infecciones respiratorias, patologías cardíacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón. Los agentes contaminantes pueden ocasionar problemas respiratorios, patologías cardiovasculares y cáncer (INS, 2023)

De acuerdo con el BES (Boletín Epidemiológico Semanal) del instituto nacional de salud y el ministerio de protección social establece que en el municipio de Mosquera el Comportamiento inusual de consultas externas y urgencias por infección respiratoria aguda va en aumento teniendo un

total de casos acumulados de 639, en espera 206 y observados sin atención 371. En el municipio de Funza se identificó incremento inusual de mielomeningocele, anomalías del cuerpo calloso, ventriculomegalia y quistes cerebrales congénitos teniendo 34 casos por 10.000 nacidos vivos que podrían estar asociados a la calidad del aire (BES, 2023).

Implementar medidas de transporte sostenible no solo mejora la calidad del aire y la salud pública con respecto a la notable disminución de enfermedades respiratoria, sino que también aporta numerosos beneficios ambientales y sociales, como la reducción del tráfico y el aumento de la calidad de vida en general (CAR,2020)

Autores como Litman (2019) señalan que:

La movilidad sostenible no sólo tiene beneficios ambientales, sino también sociales y económicos, pero su impacto no es uniforme en todos los ámbitos de la sociedad. Es importante garantizar que los beneficios de la movilidad sostenible se compartan equitativamente y que no se exacerbén las desigualdades existentes. (p.144).

El modelo IVE para estimación de emisiones atmosférica es muy importante para Latinoamérica ya que es un software diseñado especialmente para países de Latinoamérica, con el fin de tener una estimación de emisiones atmosféricas a partir del parque automotor.

Es de suma importancia analizar, estudiar y entender y comprender las necesidades puntuales que solicita el software IVE para la estimación de emisiones contaminantes en los municipios de Funza y de Mosquera, tenido como línea base para el estudio y análisis comparativo en los distintos escenarios en los que se modifique el % de vehículos híbridos y eléctricos que transitan en los municipios, así a predecir hay una disminución de la emisión de los contaminantes atmosféricos por fuentes móviles, debido al remplazo paulatino de la flota y poder tomar decisiones desde ahora con

miras al cumplimiento de la legislación y las políticas de descontaminación el aire en la jurisdicción de la CAR y la SDA.

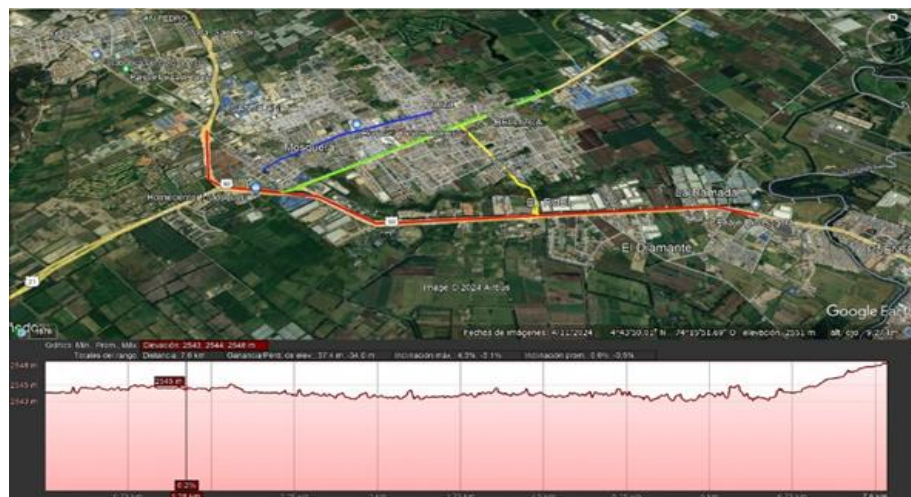
6. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

El alcance geográfico de este estudio se basa en los conteos realizados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), cuyo objetivo principal es entender el flujo vehicular y las características de estas vías, así como su impacto en la movilidad. La metodología empleada incluye análisis de conteos vehiculares y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para mapear y analizar la cobertura de las vías (INVIAS, 2008), Las vías estudiadas son:

- **Vía Principal Funza-Bogotá:** Con una extensión de 7.6 km, esta vía es crucial para la conexión entre Funza y la capital del país, Bogotá. Se caracteriza por un alto flujo de vehículos, especialmente durante las horas pico.

Figura 1.

Vía principal Funza - Bogotá



Nota. Tomado de Google Earth

- **Carrera 9:** Esta vía tiene una longitud de 3.92 km y es una arteria importante dentro de Funza. Facilita el tránsito local y conecta con otras vías secundarias y terciarias.

Figura 2.

Vía carrera 9



Nota. Tomado de Google Earth

- **Calle 15:** Con 1.98 km de longitud, esta calle es una vía principal que atraviesa zonas residenciales y comerciales, siendo vital para el desplazamiento interno en Funza.

Figura 3.

Calle 15

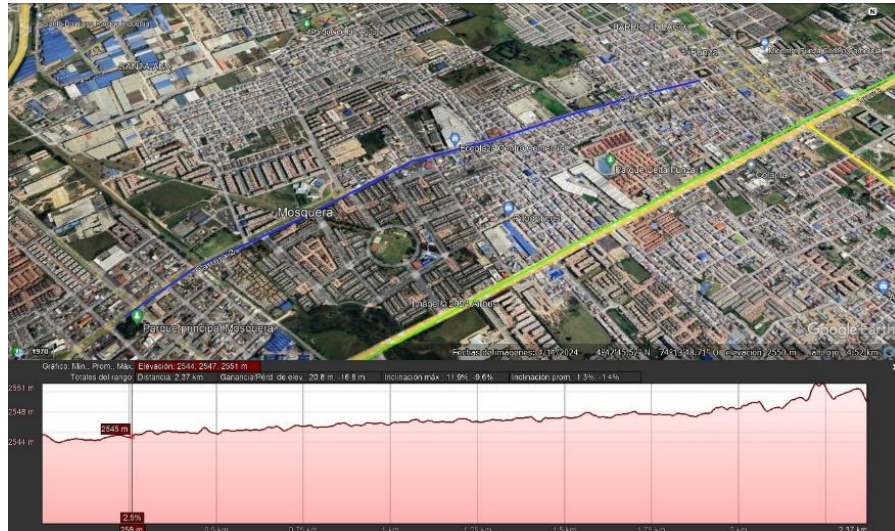


Nota. Tomado de Google Earth

- **Carrera 3:** Esta vía tiene una extensión de 2.37 km y es esencial para la movilidad en Mosquera, conectando con Funza y diversos puntos de interés, facilitando el acceso a servicios y áreas residenciales.

Figura 4.

Vía Carrera 3



Nota. Tomado de Google Earth

El análisis de las cuatro vías principales de Funza y Mosquera revela que estas son esenciales para la conectividad y movilidad en la región. Los datos obtenidos de los conteos vehiculares realizados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) proporcionan una base sólida para entender los patrones de tráfico y proporciona información valiosa para la aplicación del modelo IVE (ROJAS,2015).

Para comprender el impacto ambiental del transporte, es fundamental analizar las emisiones de los vehículos. En este contexto, el Modelo IVE (International Vehicle Emissions) se presenta como una herramienta clave para cuantificar y gestionar las emisiones generadas por fuentes móviles. Este proyecto de grado pretende evaluar las emisiones vehiculares de Funza y Mosquera con el modelo IVE, proporcionando una base sólida de datos, como línea base con el fin de analizar el impacto social

y ambiental de la inclusión de flotas vehiculares híbridas en el municipio de Funza y Mosquera (ROJAS,2015).

El Modelo IVE es una herramienta desarrollada para estimar las emisiones de contaminantes de los vehículos en diferentes contextos y condiciones. Este modelo considera factores como el tipo de vehículo, la tecnología de control de emisiones, las características del combustible, y los patrones de conducción (Figueroa, Tzirakis, & Samaras, 2004).

El modelo IVE se ha implementado en múltiples países y ciudades, especialmente en América Latina, proporcionando datos precisos y relevantes para la gestión y control ambiental. Su uso permite la evaluación de políticas de control de emisiones y la planificación de estrategias para mitigar el impacto ambiental del transporte. El modelo proporciona estimaciones detalladas de las emisiones de los vehículos, lo que permite a las autoridades locales y a los investigadores tener una comprensión clara sobre la influencia de las fuentes móviles y la calidad del aire. Además el modelo es adaptable a diferentes contextos y puede ser personalizado para reflejar las condiciones específicas de Funza y Mosquera, incluyendo la variación en la flota vehicular, las condiciones de tráfico y los patrones de conducción locales (ROJAS,2015).

El uso del IVE en Funza y Mosquera es esencial para determinar las principales fuentes de emisiones vehiculares. Los resultados del modelo permiten determinar qué tipos de vehículos y tecnologías contribuyen más significativamente a la contaminación del aire y a los problemas de salud pública, permitiendo un enfoque más específico en las políticas de mitigación y prevención (ROJAS,2015).

Los datos generados por el Modelo IVE son cruciales para la planificación urbana y el desarrollo de políticas públicas en Funza y Mosquera. Por ejemplo, la implementación de zonas de bajas emisiones, la promoción del transporte público y el fomento de modos de transporte no

motorizados pueden ser estrategias informadas por los resultados del modelo. Estas medidas se alinean con las leyes y resoluciones del gobierno de Colombia para la inclusión de vehículos híbridos, como la Ley 1964 de 2018 y la Resolución 40444 de 2023 (Congreso de Colombia, 2018; Ministerio de Transporte de Colombia, 2023).

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se espera realizar un análisis detallado de los datos por parte de los estudiantes de la maestría en Inteligencia de Negocios. En donde su objetivo será generar conclusiones y recomendaciones sustentadas, los hallazgos se plasmarán en un artículo destinado a su publicación para evaluar la efectividad de la transición hacia tecnologías vehiculares más limpias y su impacto en la calidad de vida de los habitantes de la región (ESPEJO, BOLIVAR, 2024)

7. MARCO DE REFERENCIA

A partir de los vehículos de pasajeros, tanto particulares como públicos, que incluyen motocicletas, buses y camiones, y sus emisiones de gases de efecto invernadero y otras sustancias tóxicas (NH₃, benceno, plomo, 1.3 butadieno y acetaldehídos), se llevará a cabo la estimación de emisiones de contaminantes, a partir de modelo IVE. Este modelo requiere información detallada acerca de los componentes de los vehículos, las tasas de emisión de contaminantes (factores de emisión), el nivel de actividad de los vehículos y la distribución tecnológica de la flota vehicular, factor de emisión propio del municipio, el cual define directamente el modelo IVE y lo asigna de acuerdo con las características de los vehículos, la meteorología y calidad de los combustibles de cada ciudad (IVE MODEL, 2008)

El modelo IVE es una metodología indirecta que emplea correlación entre varios parámetros que afecta y la emisión, como lo es la flota vehicular que circula en los municipios de Funza y Mosquera (ROMERO, 2017). Este modelo se desarrolló en el Centro para la Investigación y

Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales. (ISSRC, 2008).

El modelo IVE proporciona una lista de la fracción de la flota por tecnología vehicular, que contiene un total de 1372 tecnologías predefinidas y 45 tecnologías adicionales no definidas, este listado se agrupa a partir de los siguientes parámetros, sistema de control emisiones evaporativas, control de emisiones de escape, edad del vehículo, sistema de entrega de combustible, uso de vehículo, tipo de combustible, tamaño de vehículo, entre otras (ROJAS, 2015).

La estimación de emisiones del modelo IVE, radica en multiplicar la base de factor de emisión por cada uno de los factores de corrección, como se observa en la ecuación descrita a continuación (ROJAS, 2015).

Ecuación 1. Proceso de cálculo general IVE.

$$Q[t] = B[t] * K\{1\}[t] * K\{2\}[t] \dots \dots K\{x\}[t]$$

Además del modelo IVE, en la actualidad existen diversos modelos o software ampliamente reconocidos que facilitan la estimación de emisiones por fuentes móviles. Entre los más destacados se encuentran: el COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport), EMFAC (Emission Factors), MOBILE (Highway Vehicle Emission Factor Model), MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) (ROJAS, 2015). Estos modelos, al igual que el IVE, son utilizados para evaluar y pronosticar las emisiones vehiculares en diferentes contextos y condiciones. A continuación se brinda una breve especificación de cada uno de estos:

El modelo COPERT, es la metodología de estimación de emisiones generadas por los gases de escape, evaporación de combustible y emisiones de material particulado diferentes a gases de

escape; su objetivo es calcular las emisiones de contaminantes regulados y no regulados como lo son, (CO, NO_x, COV, PM) y (N₂O, CH₄, SO₂, COVNM, etc.), además de estimar el consumo de combustible (ROJAS, 2015).

El modelo EMFAC, tiene como objetivo estimar la tasa de emisiones globales provenientes de California y estimar los gases efecto invernadero; fue desarrollado por la Junta de Recursos del Aire de California (ARB), y define las categorías vehiculares como vehículos ligeros y vehículos de servicio pesado (ARB, 2011).

El modelo MOBILE, realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), y como objetivo tiene estimar las emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono provenientes de vehículos en carretera, MOBILE a lo largo del tiempo ha desarrollado diferentes versiones del modelo siendo su primera versión MOBILE1 en el año 1978, en el año 2004 desarrollaron su última versión siendo MOBILE6.2, cada nueva versión refleja la recopilación y el análisis de nuevos datos de prueba. (ROJAS, 2015).

La calidad del aire es un factor crucial para la salud pública y el bienestar de las comunidades. En los municipios de Funza y Mosquera, la preocupación por la calidad del aire ha aumentado significativamente debido al incremento de actividades industriales y al creciente volumen de tráfico vehicular. Este deterioro en la calidad del aire representa un desafío importante que requiere la implementación de medidas efectivas para proteger la salud de la población y mejorar el entorno ambiental (IDEAM, 2012).

Según los boletines epidemiológicos y estudios, la calidad del aire en Funza y Mosquera ha mostrado niveles preocupantes de contaminación, especialmente de Material Particulado (PM), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃). Estas sustancias provienen principalmente de las emisiones industriales, el tráfico vehicular, y actividades agrícolas (INS, BES, 2023)

La exposición a los contaminantes mencionados puede conllevar a graves consecuencias para la salud pública en los municipios objeto de estudio. Los datos epidemiológicos indican un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente entre los grupos más vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas. Estos hallazgos subrayan claramente la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas para mitigar la contaminación del aire y proteger la salud de la población (INS, BES, 2023).

Algunos de los problemas de salud pública más representativos en Funza y Mosquera se pueden identificar en:

- **Sistema Respiratorio:** Ha habido un aumento en los casos de asma en un 23 %, bronquitis crónica y otras enfermedades pulmonares obstructivas. Las habitaciones debido a problemas respiratorios han aumentado durante los períodos de alta contaminación (INS, BES, 2023).
- **Efectos en la Población Infantil:** Debido a que su sistema respiratorio está en desarrollo, los niños son más susceptibles a la contaminación del aire. Las investigaciones han demostrado que las zonas con altos niveles de contaminación tienen más probabilidades de sufrir asma infantil y problemas respiratorios agudos, asma y problemas respiratorios agudos (INS, BES, 2023).

El uso de vehículos sostenibles, como los eléctricos e híbridos, ha surgido como una solución viable para reducir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire. Los vehículos sostenibles se caracterizan por su baja o nula emisión de contaminantes atmosféricos, lo cual es crucial para mejorar la calidad del aire. Algunos ejemplos se listan a continuación:

- **Vehículos Eléctricos (EVs):** Cero Emisiones Directas: Los vehículos eléctricos no emiten contaminantes como dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono troposférico (O₃) y Material

Particulado (PM), principales causantes de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (ANDI, FENALCO, 2023).

Menor Impacto en el Ciclo de Vida: Incluso considerando la generación de electricidad, los EVs tienen una huella de carbono significativamente menor en comparación con los vehículos convencionales a gasolina o diésel (ANDI, FENALCO, 2023).

- **Vehículos Híbridos:** Reducción de Emisiones: Los vehículos híbridos combinan motores eléctricos con motores de combustión interna, lo que resulta en una menor emisión de contaminantes al aprovechar la energía eléctrica en situaciones de baja carga y tráfico urbano. Eficiencia de Combustible: Los híbridos son más eficientes en el uso del combustible, reduciendo el consumo y, por ende, las emisiones de CO₂ y otros contaminantes (ANDI, FENALCO, 2023).

La adopción masiva de vehículos sostenibles es crucial para mejorar la calidad del aire en los municipios de Funza y Mosquera. La transición hacia tecnologías vehiculares más limpias, como los vehículos eléctricos e híbridos, puede tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos (ANDI, FENALCO, 2023)., todo esto con un enfoque en:

- Disminución de Partículas Finas (PM10 y PM2.5): La reducción de vehículos a diésel, que son grandes emisores de partículas finas, puede llevar a una disminución notable de estos contaminantes en el aire, mejorando la salud respiratoria de los residentes (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2018).
- Reducción de NO₂ y Ozono Troposférico: Al disminuir las emisiones de NO₂ de los vehículos convencionales, se reduce también la formación de ozono troposférico, beneficiando la salud pública al reducir la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2018).

- Impacto en la Salud Pública: La reducción de contaminantes atmosféricos tiene una correlación directa con la disminución de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otras afecciones relacionadas con la contaminación del aire. Esto se traduce en menos visitas a emergencias, menos hospitalizaciones y una mejor calidad de vida para los habitantes (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2018).

8. ANÁLISIS DE LAS RESTRICCIONES

El desarrollo del presente estudio enfrenta varias restricciones que pueden influir en la precisión y eficacia de las estimaciones de emisiones contaminantes atmosféricas en los municipios de Funza y Mosquera. Estas restricciones se dividen en diferentes categorías, incluyendo limitaciones de datos, metodológicas, tecnológicas y contextuales (GIRALDO, 2005).

A continuación, se describen en detalle las principales restricciones identificadas:

1. *Limitaciones de Datos:*

- *Disponibilidad y Calidad de los Datos:* La precisión del modelo IVE depende en gran medida de la calidad y disponibilidad de los datos de la flota vehicular, patrones de uso, y condiciones ambientales. Durante el desarrollo de este estudio, se realizaron múltiples intentos para obtener estos datos a través de diversas fuentes oficiales y no oficiales. Las solicitudes de información a las secretarías locales de movilidad y medio ambiente no fueron satisfactorias debido a la falta de disponibilidad de los datos. Además, se exploraron bases de datos nacionales como el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), pero estos también presentaron limitaciones significativas en términos de especificidad y actualidad de la información proporcionada (RUNT 2023).

Según (Martínez & Rodríguez, 2021) la falta de datos precisos y actualizados proporcionados por los entes de control es una barrera común en estudios de calidad del aire en regiones urbanas, lo cual limita la capacidad de realizar estimaciones precisas y eficaces. Esta problemática se ve reflejada en la necesidad de utilizar datos secundarios o hacer suposiciones basadas en promedios nacionales o regionales, que pueden no reflejar con exactitud las condiciones locales de Funza y Mosquera.

Según (Benjumea, Rojas, & Pérez, 2018) la falta de datos precisos puede conducir a errores significativos en las estimaciones de emisiones.

- *Fuentes de Datos Secundarias:* Para estimar la composición de la flota vehicular en Funza y Mosquera, se utilizaron datos secundarios de Bogotá, basándose en la suposición de que los vehículos tienen características similares. Sin embargo, esta suposición puede no siempre ser válida, lo que introduce un margen de error (Benjumea, Rojas, & Pérez, 2018).

2. **Restricciones Metodológicas:**

- *Aplicación del Modelo IVE:* Aunque el modelo IVE es una herramienta robusta, su aplicación en contextos específicos como en los municipios de Funza y Mosquera puede requerir adaptaciones. Dada la complejidad del modelo y la falta de experiencia y conocimiento especializado en Colombia sobre su uso, el manejo adecuado de la herramienta puede ser limitado. Las características únicas de estas áreas podrían no estar completamente capturadas por los factores de corrección estándar del modelo (Huo et al., 2012).
- *Incertidumbre en los Factores de Emisión:* Los factores de emisión utilizados en el modelo IVE están basados en estudios y promedios que pueden no reflejar completamente las condiciones locales. La variabilidad en las características de los vehículos y la calidad de los combustibles puede introducir incertidumbre en las estimaciones.

3. **Restricciones Tecnológicas**

- *Tecnología y Mantenimiento de Vehículos:* La tecnología vehicular y el mantenimiento influyen significativamente en las emisiones. La variabilidad en la tecnología de control de emisiones y el estado de mantenimiento de los vehículos en Funza y Mosquera puede no estar completamente reflejada en el modelo IVE (Tessum et al., 2014).
- *Disponibilidad de Vehículos Sostenibles:* La penetración de vehículos eléctricos e híbridos en el mercado local es aún limitada debido a la falta de infraestructura adecuada para su inclusión en la zona. En muchas regiones, incluyendo Funza y Mosquera, la disponibilidad de estaciones de carga y otros servicios relacionados con vehículos eléctricos e híbridos es insuficiente para satisfacer la demanda creciente (Rojas J. , 2015). Esta limitación en la infraestructura es un obstáculo significativo para la adopción masiva de este tipo de vehículos, ya que los consumidores pueden tener preocupaciones sobre la conveniencia y la accesibilidad de la carga. Además, las proyecciones futuras de crecimiento en la penetración de estos vehículos dependen en gran medida de políticas de promoción y desarrollo de infraestructura que pueden no materializarse según lo planeado debido a limitaciones financieras, políticas o técnicas.

4. Restricciones Contextuales:

- *Condiciones Ambientales y Geográficas:* Las condiciones meteorológicas y geográficas específicas de Funza y Mosquera pueden afectar las emisiones y su dispersión en el aire. Factores como la altitud, temperatura y patrones de viento son variables críticas que deben ser consideradas cuidadosamente (Kumar & Singh, 2020).
- *Normativa y Políticas Locales:* Las políticas y normativas locales relacionadas con el transporte y las emisiones pueden cambiar, afectando la composición del parque vehicular y los patrones de uso. La efectividad de las políticas de promoción de vehículos sostenibles y

las regulaciones de calidad del aire también juegan un papel importante (Colombia, Ministerio de Transporte de Colombia, 2023).

5. ***Restricciones Económicas y Sociales:***

- *Costos y Accesibilidad:* La viabilidad de implementar el Modelo IVE en Colombia plantea importantes consideraciones en términos de costos y accesibilidad. Aunque no se dispone de cifras específicas sobre el costo exacto de esta implementación en el contexto colombiano, se presume que la adquisición de equipos y software especializado, así como la capacitación del personal y el mantenimiento continuo del sistema, representarán una inversión significativa. Además, la infraestructura necesaria para respaldar la implementación del modelo, como estaciones de carga para vehículos eléctricos, podría añadir a estos costos totales. Esta falta de datos precisos subraya la necesidad de investigaciones adicionales y evaluaciones económicas detalladas para comprender plenamente el impacto financiero de adoptar el Modelo IVE en el país. La experiencia de otros contextos similares, como señalan (Goh, Fleischer, Steininger, & Hertwich, 2017), sugiere que los costos asociados con la implementación de tecnologías sostenibles pueden representar una barrera significativa para su adopción generalizada.
- *Conciencia y Comportamiento del Usuario:* La efectividad de las políticas de promoción del transporte sostenible también depende de la conciencia y el comportamiento de los usuarios. La resistencia al cambio y la falta de información pueden limitar la adopción de prácticas más sostenibles (Lebeau, 2016).

6. ***Complejidad técnica y logística en la implementación del Modelo IVE:***

Restricciones relacionadas con el tiempo y el desplazamiento necesario para obtener los datos requeridos. Esta limitación se evidencia en la necesidad de llevar a cabo un extenso trabajo de campo para recopilar información sobre la flota vehicular, los patrones de uso y las

condiciones ambientales en los municipios de Funza y Mosquera. Dado que la disponibilidad de datos es escasa, es fundamental realizar múltiples visitas a terreno para recopilar información directa, lo cual puede implicar un uso significativo de recursos temporales y logísticos. Además, la complejidad técnica asociada con la instalación y operación de equipos de monitoreo de emisiones también puede requerir un tiempo considerable para garantizar mediciones precisas y confiables. Estas restricciones en tiempo y desplazamiento representan desafíos adicionales en la implementación efectiva del Modelo IVE, lo cual puede afectar la planificación y ejecución del estudio en cuestión (Smith & Johnson, 2019).

8.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La selección de modelos como AERMOD, COPERT, EMFAC, MOBILE, MOVES y el Modelo IVE bajo conteo vehicular directo y Modelo IVE bajo uso de información secundaria, para el cálculo de estimaciones de emisiones contaminantes se fundamenta en su reconocimiento y amplio respaldo dentro de la comunidad científica y regulatoria. Estos modelos han sido objeto de numerosos estudios de validación y verificación, que han demostrado su capacidad para proporcionar estimaciones precisas y confiables de las emisiones de fuentes móviles en diversos entornos (EPA & European Environment Agency).

El modelo AERMOD es ampliamente reconocido por su capacidad para modelar la dispersión de contaminantes atmosféricos con un alto grado de precisión y se ha convertido en un estándar en la evaluación del impacto ambiental de diversas actividades industriales y de transporte (HBEFA, 2019). Por otro lado, el modelo COPERT ha sido desarrollado y validado específicamente para calcular las emisiones de vehículos en carreteras y ha sido ampliamente adoptado en Europa

debido a su capacidad para reflejar con precisión las condiciones de conducción y los tipos de vehículos presentes en la región (Gkatzoflias, Samaras, & Ntziachristos, 2016).

EMFAC y MOBILE también son modelos reconocidos internacionalmente y han sido utilizados en numerosos estudios para evaluar el impacto de las emisiones de vehículos en la calidad del aire y la salud humana (California Air Resources Board & HBEFA). Estos modelos han sido objeto de extensas pruebas y validaciones que respaldan su capacidad para proporcionar estimaciones confiables de las emisiones de vehículos en una variedad de condiciones.

El Modelo IVE, aunque menos conocido que algunos de los otros modelos mencionados, se ha demostrado efectivo en entornos urbanos y ha sido utilizado en investigaciones previas para estimar las emisiones de vehículos con un enfoque en la calidad del aire urbano (Zhang et al., 2018). En el contexto de esta investigación, la elección del Modelo IVE bajo el uso de datos secundarios se justifica por su capacidad para adaptarse a las condiciones locales de los municipios de Funza y Mosquera, así como por la disponibilidad de los datos requeridos para su aplicación. Si bien los modelos mencionados son altamente confiables y validados, el Modelo IVE se consideró más apropiado debido a su capacidad para proporcionar estimaciones precisas y localizadas de las emisiones de vehículos en el contexto específico de este estudio (Huo, y otros, 2012).

Funcionamiento del Modelado con IVE bajo Conteo Vehicular Directo:

El uso del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) combinado con un conteo vehicular directo implica la recopilación de datos primarios sobre el número y tipo de vehículos de Funza y Mosquera. Estos datos se emplean directamente en el modelo IVE para estimar las emisiones.

Entre las ventajas de este modelo está la posibilidad de tener más precisión en las estimaciones mediante datos primarios recolectados directamente de la fuente, la adaptabilidad a cambios recientes en la flota vehicular y sus patrones de uso.

También existen algunos desafíos importantes como la necesidad de tener recursos significativos en términos de tiempo, personal y costos para la realización del conteo vehicular, la compleja logística que implica la implementación de dicho conteo en tiempo real y en diferentes periodos del año y la dependencia de la exactitud y cobertura que se espera del mismo.

Aunque esta alternativa ofrece una alta precisión debido a la recopilación de datos primarios, la complejidad logística y los recursos necesarios para implementar un conteo vehicular directo hacen que esta opción no sea viable dentro de las restricciones y recursos disponibles para este estudio.

Funcionamiento del Modelado con IVE bajo Uso de Información Secundaria:

El uso del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) utilizando información secundaria implica la utilización de datos existentes y disponibles de fuentes confiables, como estudios previos, bases de datos gubernamentales y reportes de instituciones relevantes.

Algunas de las ventajas de esta alternativa son la reducción de costos y tiempo de implementación al utilizar datos ya disponibles, la facilidad en la utilización de datos históricos y comparativos y el aprovechamiento de estudios previos y datos oficiales, lo que asegura una base de datos amplia y robusta.

Esta alternativa también presenta algunos desafíos relacionados con la variabilidad en la calidad y actualización de los datos secundarios, la dependencia de la disponibilidad y accesibilidad de datos relevantes y precisos, así como las posibles discrepancias entre las condiciones locales actuales y los datos secundarios utilizados.

8.1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN:

La alternativa seleccionada para este estudio es el Modelado con IVE bajo Uso de Información Secundaria. Esta decisión se justifica por las siguientes razones:

Viabilidad y Recursos: El uso de información secundaria permite realizar el estudio dentro de los límites de tiempo y recursos disponibles, sin necesidad de desplegar conteos vehiculares potencialmente costosos y logísticamente complejos.

Acceso a Datos: Los municipios de Funza y Mosquera, aunque no poseen datos primarios exhaustivos, tienen acceso a datos relevantes de Bogotá y otras fuentes secundarias confiables, que pueden ser adaptados y utilizados en el modelo IVE.

Calidad y Comparabilidad: Utilizar datos secundarios permite basar las estimaciones en estudios previos y datos oficiales, lo que garantiza una base de datos amplia y comparativa, útil para el análisis y la toma de decisiones.

Flexibilidad y Actualización: El modelo IVE permite ajustar y calibrar los datos secundarios utilizados, facilitando la actualización de las estimaciones a medida que se disponga de nueva información.

Cabe destacar que la selección de este modelo está alineado con las restricciones identificadas en el desarrollo de este estudio y proporciona un camino viable, eficiente y confiable para la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos en los municipios de Funza y Mosquera.

8.2 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para llevar a cabo la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos en los municipios de Funza y Mosquera mediante el modelo IVE y se utilizó información secundaria como base, se desarrolló una metodología estructurada que consta de varias etapas fundamentales. Estas etapas incluyen la obtención de datos necesarios, la realización de conteos vehiculares, la recopilación de información relevante sobre la flota vehicular y las condiciones locales, el modelado de emisiones y, finalmente, el análisis de los resultados obtenidos.

1. Obtención de datos en Bogotá:

El objetivo de esta fase es la recopilación de datos secundarios de fuentes confiables y actualizadas para el modelado de las emisiones vehiculares.

Algunas de las fuentes de datos a consultar son:

Informes y estudios sobre calidad del aire y emisiones vehiculares de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.

Estadísticas sobre el parque automotor y la distribución de tipos de vehículos y patrones de uso del Ministerio de Transporte.

Datos meteorológicos para el modelado de emisiones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Investigaciones previas sobre emisiones vehiculares en Bogotá y Cundinamarca, así como estudios académicos y publicaciones científicas.

Boletines y reportes de entidades privadas proporcionados por organizaciones como FENALCO y ANDI sobre los datos de introducción de vehículos eléctricos e híbridos en el país (INFORME DEL SECTOR AUTOMOTOR, n.d.)

El proceso de esta fase de la metodología se iniciará a partir de la identificación y selección de las fuentes de datos más relevantes y confiables para el estudio. Una vez realizado, se recopilarán los datos e informes para validarlos con base en su calidad, precisión y actualización.

2. Conteos Vehiculares

El objetivo de esta fase es la recopilación de datos secundarios de fuentes confiables y actualizadas para el modelado de las emisiones vehiculares.

Algunas de las fuentes de datos a consultar son:

Datos de conteos vehiculares realizados en Bogotá y ajustados a las características locales de los municipios de Funza y Mosquera (TPD CUNDINAMARCA, 2018).

Utilización de estudios previos que proporcionen estimaciones sobre el parque automotor y los patrones de uso vehicular en los municipios objeto del estudio.

Incorporación de datos de tránsito y movilidad disponibles a nivel municipal.

Esta fase de la metodología se iniciará con la identificación de conteos vehiculares en Bogotá y aplicables a los municipios de Funza y Mosquera, luego se ajustarán los datos seleccionados a las condiciones específicas de dichos municipios y se verificará y confirmará que los datos ajustados reflejen adecuadamente la realidad vehicular local.

3. Fuente de Información:

El objetivo de esta fase es la recopilación de información complementaria necesaria para el modelado de emisiones utilizando el modelo IVE.

Algunas de las fuentes de datos a consultar son:

Registros vehiculares priorizando datos relacionados con el tipo de vehículos, años de fabricación y tecnologías de control de emisiones.

Registros de uso de combustibles priorizando datos relacionados con el tipo y calidad los combustibles utilizados en los municipios objeto del estudio.

Registros de las condiciones de conducción priorizando datos sobre los patrones de conducción, velocidad promedio y condiciones del tráfico.

Esta fase de la metodología se iniciará con la revisión de las bases de datos de registros vehiculares y bases de datos de uso de combustibles. Una vez superado este proceso, se revisarán los datos disponibles respecto a las condiciones de conducción en los municipios y las características de la flota vehicular para finalmente hacer la integración de los datos relevantes para el modelado.

4. Modelado

El objetivo de esta fase es la utilización del modelo IVE para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos en Funza y Mosquera.

Los pasos para la realización del modelado son:

Ingreso de datos sobre la flota vehicular, factores de emisión y condiciones locales de los municipios objeto de estudio en el modelo IVE.

Ajuste y calibración del modelo para reflejar las condiciones específicas de los municipios, utilizando datos locales y estudios previos.

Simulación y ejecución del modelo para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Esta fase de la metodología se iniciará con la preparación de los datos, organizando y formateando los datos recopilados para su uso en el modelo IVE. A partir de allí se ingresarán los datos para alimentar el modelo con la información sobre la flota vehicular y las condiciones de operación para finalmente ejecutar el modelo y realizar las simulaciones necesarias para obtener las estimaciones de emisiones.

5. Análisis de resultados

El objetivo de esta fase es la interpretación de los resultados obtenidos del modelo IVE para proporcionar conclusiones y recomendaciones.

Los pasos para la realización del modelado son:

Evaluación de Resultados a partir del análisis de las emisiones estimadas por el modelo y la comparación con los estándares y normativas ambientales vigentes.

Identificación de tendencias y determinación de patrones en las emisiones vehiculares.

Elaboración de recomendaciones y propuesta de medidas para reducir las emisiones con base en los resultados del modelado.

Esta fase de la metodología se iniciará con la revisión detallada de los resultados arrojados por el modelo en IVE, luego se evaluarán los resultados en el contexto de las normativas locales sobre calidad de aire para elaborar propuestas de políticas y medidas de mitigación para reducir emisiones contaminantes en los municipios de Funza y Mosquera.

9. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA SOLUCIÓN DE INGENIERÍA

Dando continuidad al desarrollo del ejercicio académico en referencia, se llevó a cabo un análisis detallado de costos basado en las condiciones actuales del mercado. Este análisis incluyó el cálculo del costo total promedio necesario para realizar un estudio de emisiones y su modelado utilizando el modelo IVE

Tabla 1.

Análisis de costos Modelo IVE

Actividad	Costo (COP)
Medición de Tráfico Vehicular	
Visita inicial de campo (3 días)	\$ 4.650.000
Desarrollo del Inventario de Tráfico	
Uso del software	\$ 1.250.000
Procesamiento de la información (por punto de medición)	\$ 703.000
Instalación de Cámaras	
Costo de instalación por cámara	\$ 760.000
Personal Requerido para la Instalación	
1 persona (5 a 10 cámaras)	\$ 11.290.000
2 personas (11 a 20 cámaras)	\$ 13.105.000
3 personas (21 a 30 cámaras)	\$ 15.917.000
Tiempo de Entrega de la Información	
40 días después de la medición en campo	-
Corrida del modelo	\$ 1.250.000

Nota. Elaboración propia.

A continuación se detalla cada uno de los componentes descritos en la tabla de precios identificados en el desarrollo del proyecto:

Medición de Tráfico Vehicular:

La visita inicial de campo tiene un costo de \$4.650.000 para una duración de 3 días. Esta actividad es esencial para comprender las condiciones locales y planificar adecuadamente la instalación de equipos y mediciones.

Desarrollo del Inventario de Tráfico:

El uso del software necesario para el inventario tiene un costo de \$2.106.000. El procesamiento de la información se cobra a \$703.000 por cada punto de medición, lo cual depende de la cantidad de puntos a ser considerados.

Instalación de Cámaras:

La instalación de cada cámara cuesta \$760.000. Dependiendo del número total de cámaras, el costo varía significativamente. La instalación también requiere personal especializado:

1 persona para 5 a 10 cámaras: \$11.290.000

2 personas para 11 a 20 cámaras: \$13.105.000

3 personas para 21 a 30 cámaras: \$15.917.000

Tiempo de Entrega y Corrida del Modelo:

La información se entrega 40 días después de la medición en campo. La corrida del modelo, que integra toda la información recolectada y procesada, cuesta \$1.250.000.

Se ha detallado el proceso de modelado utilizando el IVE, el cual incluye varias fases críticas. Este proceso abarca tanto la medición y el procesamiento de datos como la instalación y operación de equipos especializados. La inversión inicial en visitas de campo y la instalación de cámaras es significativa, pero esencial para la obtención de datos precisos y fiables. La fase final consiste en la

ejecución del modelo, que permite analizar la información recopilada a fin de realizar predicciones y formular propuestas de mejora en la gestión del tráfico vehicular.

10. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo del modelado de tráfico vehicular, es fundamental estructurar y clasificar adecuadamente los datos obtenidos para asegurar la precisión y relevancia del modelo. En primer lugar, los datos se organizaron en varias categorías clave, optimizando la información disponible y creando una representación precisa de la flota vehicular y sus características.

1. División de Datos:

- **Tipo de Flota:**
 - Automóviles particulares
 - Vehículos comerciales ligeros
 - Autobuses y transporte público
 - Vehículos de carga pesada
- **Características de los Vehículos:**
 - Año de fabricación
 - Marca y modelo
 - Capacidad de carga y número de asientos
 - Tipo de combustible utilizado (gasolina, diésel, gas natural, etc.)
- **Tecnología y Emisiones:**
 - Vehículos con motor de combustión interna
 - Vehículos híbridos
 - Vehículos eléctricos

- Clasificación de emisiones (Euro 3, Euro 4, Euro 5, etc.)
- **Uso y Frecuencia de Circulación:**
 - Vehículos de uso diario
 - Vehículos de uso esporádico
 - Horarios y rutas más frecuentadas
 - Proceso de Carga de Información al Modelador

Todos los datos recopilados fueron cuidadosamente preparados y validados para garantizar su integridad y precisión antes de ser ingresados al modelador.

Figura 5.

Caracterización Flota vehicular auto 2023

The screenshot shows the 'Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares' software interface. The 'Flota' tab is active, displaying a table of vehicle configurations. The table has columns for 'Indice', 'Tecnología', 'Grupo 1', 'Grupo 2', 'Grupo 1 AC', and 'Grupo 2 AC'. The 'Tecnología' column lists various engine and emission configurations. The 'Grupo 1' and 'Grupo 2' columns show numerical values, and the 'Grupo 1 AC' and 'Grupo 2 AC' columns show percentages. The total percentage at the bottom is 100.02%.

Indice	Tecnología	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1 AC	Grupo 2 AC
817	Ds: Auto/SmTk : Hv : FI : EuroIV : None : 80-161K km	6.77		50.0	
813	Ds: Auto/SmTk : Med : FI : EuroIV : None : <79K km	5.28		50.0	
764	Ds: Auto/SmTk : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	5.68		50.0	
760	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	3.49		50.0	
750	Ds: Auto/SmTk : Med : Pre-Inj : Improved : None : <79K km	0.38			
746	Ds: Auto/SmTk : Hv : Pre-Inj : None : None : >161K km	0.1			
742	Ds: Auto/SmTk : Med : Pre-Inj : None : None : 80-161K km	0.1			
319	NG: Auto/SmTk : Med : FI : 3WY/EGR : PCV : 80-161K km	0.7			
317	NG: Auto/SmTk : Lt : FI : 3WY/EGR : PCV : >161K km	0.4			
213	Pt: Auto/SmTk : Hv : MPFI: Hybrid : PCV/Tank : <79K km	0.2		75.0	
210	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: Hybrid : PCV/Tank : <79K km	0.6		75.0	
207	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: Hybrid : PCV/Tank : <79K km	0.3		75.0	
204	Pt: Auto/SmTk : Hv : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : <79K km	1.49		80.0	
203	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : >161K km	2.89		80.0	
202	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : 80-161K km	6.29		80.0	
201	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : <79K km	5.88		80.0	
200	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : >161K km	17.23		60.0	
199	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : 80-161K km	16.34		60.0	
198	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: EuroIV : PCV/Tank : <79K km	22.21		60.0	
		100.02%	0.0%	= 100.02%	Normalización

Nota. Tomado de IVE

2. Creación de la Flota en el Modelador:

La información estructurada se ingresó en el modelador de tráfico, generando perfiles detallados para cada categoría de vehículos. Este paso fue crucial para asegurar que el modelo refleje con precisión la diversidad y características de la flota vehicular. La adecuada división y clasificación de los datos según el tipo de flota, características de los vehículos, tecnología y uso es fundamental para el éxito del modelado de tráfico vehicular. Este enfoque meticuloso permite la creación de un modelo detallado y preciso.

Una vez clasificados los datos de la flota de vehículos, se incorporó información adicional relacionada con la ubicación y las condiciones ambientales. Este paso es esencial para mejorar la precisión del modelado y la toma de decisiones, ya que permite considerar factores externos que pueden afectar el rendimiento y la eficiencia de la flota. Entre las variables consideradas se incluyen:

Humedad: La humedad atmosférica influye en la eficiencia de los vehículos, especialmente en términos de consumo de combustible y desgaste de los componentes mecánicos. Se recopilaron datos de humedad por hora para cada ubicación relevante, lo que permite evaluar su impacto en el rendimiento de la flota.

Temperatura: La temperatura ambiente afecta varios aspectos de la operación de la flota, incluyendo el rendimiento del motor, la duración de la batería (en el caso de vehículos eléctricos) y el confort de los pasajeros. Se registraron datos de temperatura por hora para cada ubicación, proporcionando información valiosa para la planificación y optimización de rutas.

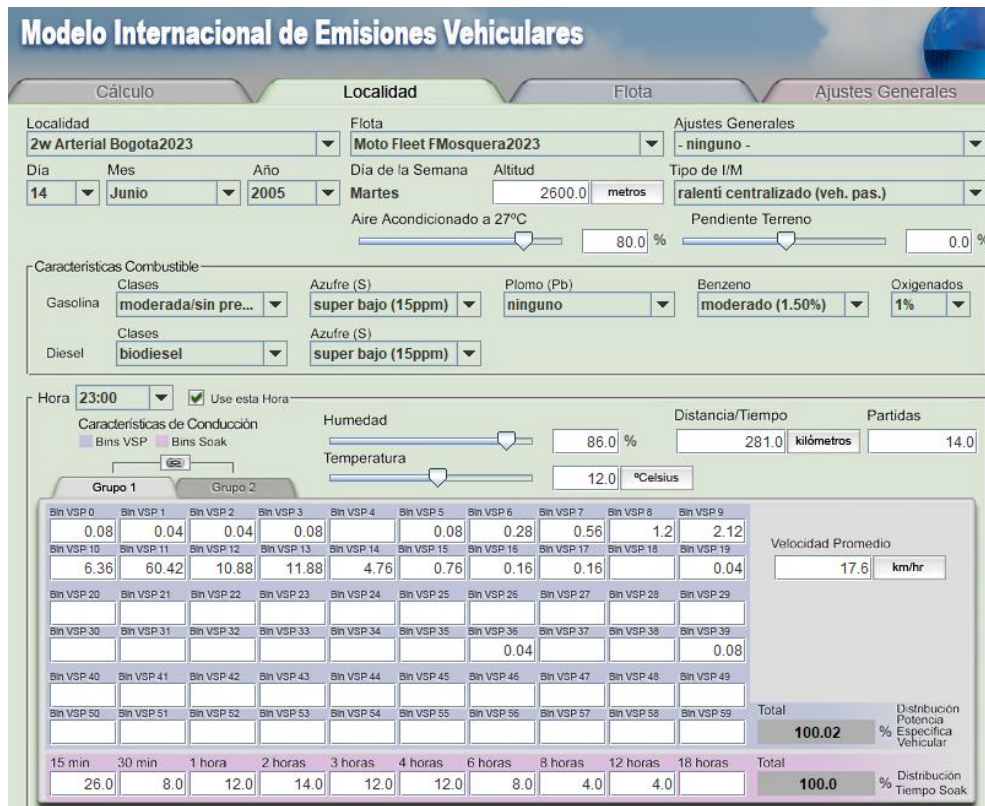
VSP (Vehicle Specific Power): La VSP es una medida que relaciona la potencia del vehículo con su velocidad y masa. Es utilizada en la industria automotriz para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los vehículos en diferentes condiciones de operación. La incorporación de datos de VSP

por hora permite una evaluación más precisa del consumo de energía y el desgaste de los vehículos en función de la velocidad y la carga.

Al integrar variables de ubicación como la humedad, la temperatura y la VSP en el modelado de datos y la optimización de flotas, junto con el tipo de combustible y otros factores, se mejora significativamente la capacidad de predecir y gestionar el rendimiento de los vehículos en diferentes entornos y condiciones operativas.

Figura 6.

Caracterización Localidad auto 2023



Nota. Tomado de IVE

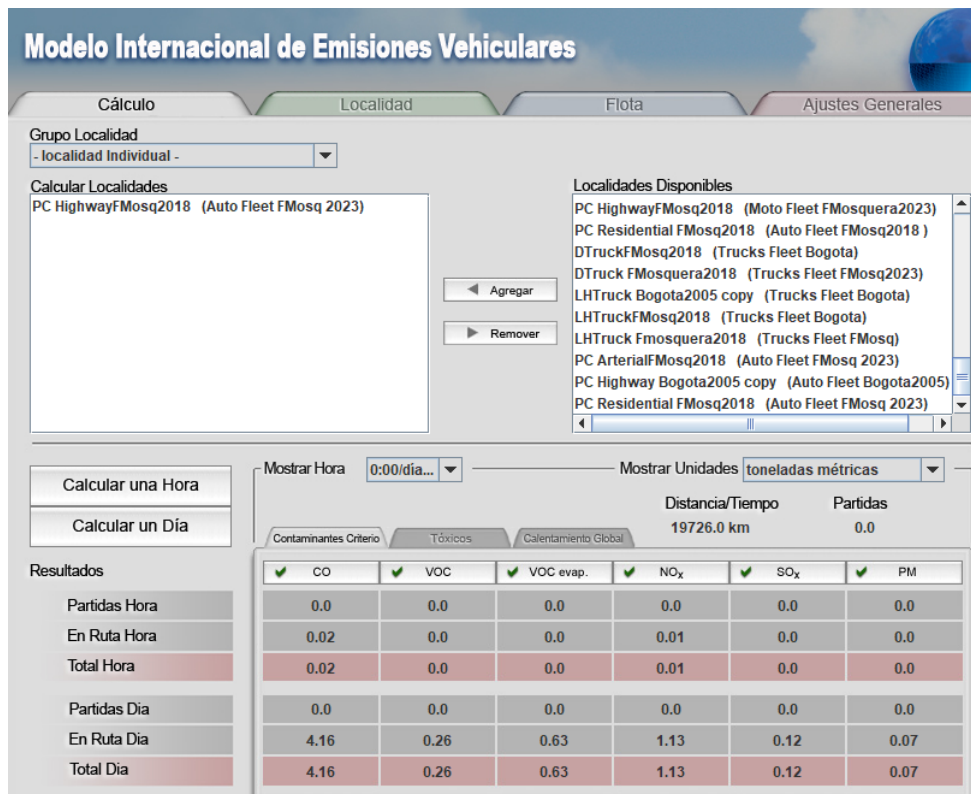
Una vez clasificada la flota vehicular y las condiciones de ubicación, se procedió a revisar los cálculos realizados por el software de modelado. Este software proporciona información detallada sobre diversas emisiones y variables ambientales, incluyendo:

- CO (Monóxido de Carbono): Emisiones de monóxido de carbono, un gas tóxico producido por la combustión incompleta de combustibles fósiles, que puede tener graves efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.
- VOCs (Compuestos Orgánicos Volátiles): Emisiones de compuestos orgánicos volátiles que contribuyen a la formación de ozono troposférico y smog, afectando la calidad del aire y la salud pública.
- VOCs Evaporativos: Emisiones de compuestos orgánicos volátiles que resultan de la evaporación de combustibles, los cuales también contribuyen al ozono troposférico y al smog.
- NO_x (Óxidos de Nitrógeno): Emisiones de óxidos de nitrógeno que contribuyen a la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida, además de tener efectos adversos sobre la salud respiratoria.
- SO_x (Óxidos de Azufre): Emisiones de óxidos de azufre que pueden causar problemas respiratorios y contribuir significativamente a la formación de lluvia ácida, con impactos negativos en el medio ambiente y la salud.
- PM (Material Particulado): Emisiones de partículas en suspensión que pueden penetrar en el sistema respiratorio humano, causando problemas de salud graves y reduciendo la visibilidad atmosférica.
- CO₂ (Dióxido de Carbono): Emisiones de dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático global, afectando los patrones climáticos y los ecosistemas.

- N₂O (Óxido Nitroso): Emisiones de óxido nitroso, un potente gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global considerablemente alto.
- CH₄ (Metano): Emisiones de metano, un gas de efecto invernadero con un impacto significativo en el calentamiento global, con una capacidad de atrapar el calor mucho mayor que el dióxido de carbono.

Figura 7.

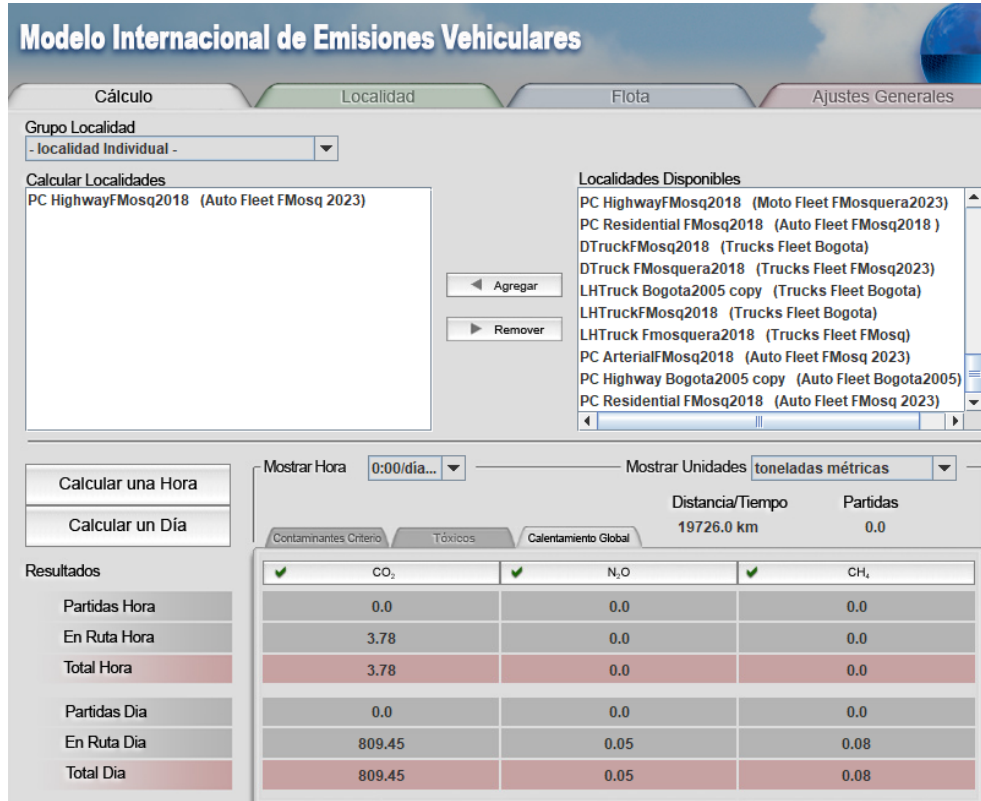
Calculo emisiones auto 2023



Nota. Tomado de IVE

Figura 8.

Calculo emisiones auto 2023



Nota. Tomado de IVE

El análisis realizado a través del software proporcionó información detallada sobre las emisiones de diversos contaminantes, categorizados según los diferentes tipos de vehículos y las condiciones operativas específicas. Estos datos son fundamentales para evaluar el impacto ambiental de la flota vehicular y desarrollar estrategias de mitigación adecuadas. A continuación, se presentan los resultados y su relevancia para la formulación de políticas ambientales:

Tabla 2.

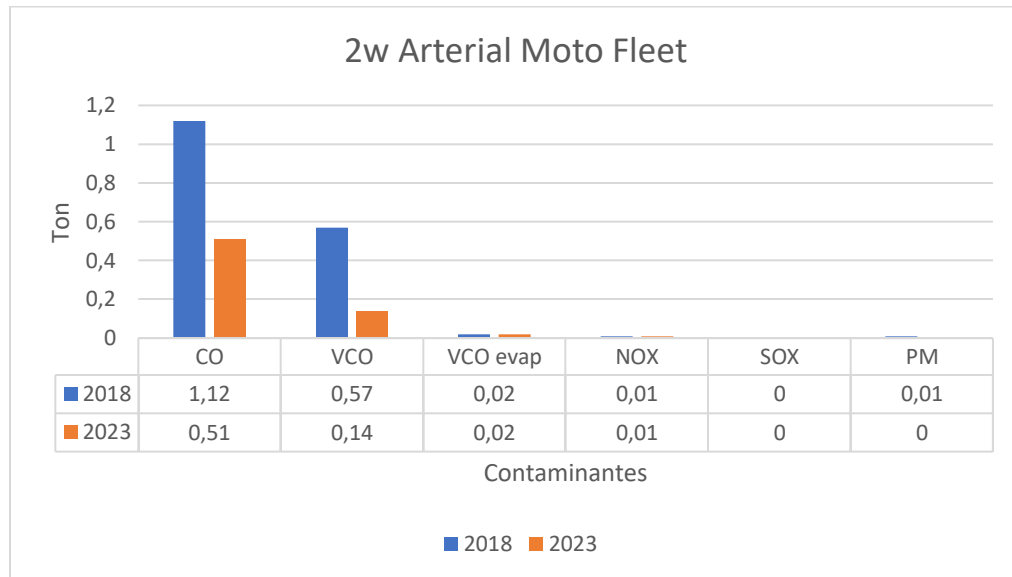
Tabla de resultados 2w Arterial Moto Fleet

2w Arterial Moto Fleet (Ton/día)										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	1,12	0,57	0,02	0,01	0	0,01	2018	0,79	0	0,12
2023	0,51	0,14	0,02	0,01	0	0	2023	1,56	0	0,03

Nota. Elaboración propia

Figura 9.

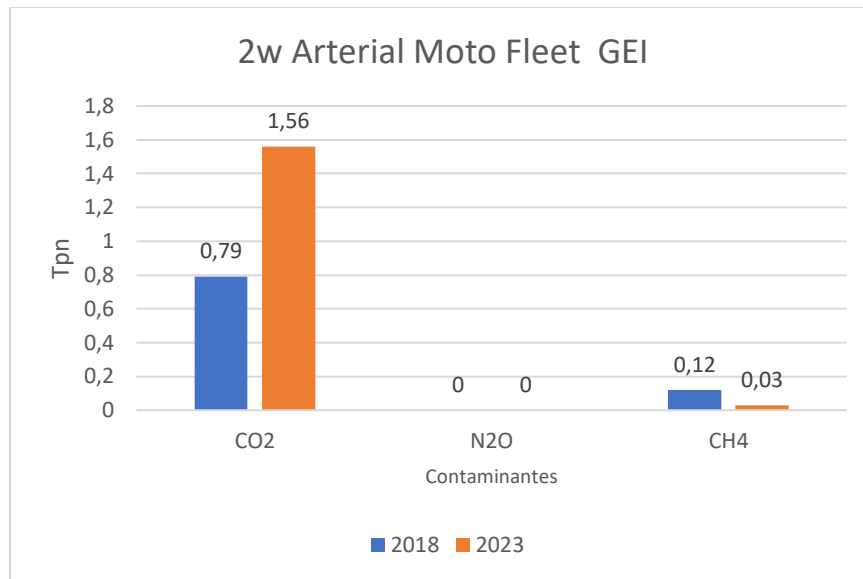
Resultados 2w Arterial Moto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 10.

Resultados 2w Arterial Moto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

Al comparar los datos de emisiones de la flota 2w Arterial entre los años 2018 y 2023, se observa una reducción en la mayoría de los contaminantes, con la excepción de CO₂ y CH₄. Para comprender mejor estos cambios, es crucial analizar la proporción de motocicletas dentro de la flota vehicular en ambas fechas. De acuerdo con los boletines informados por el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), en 2018, las motocicletas representaban el 57% del total de la flota vehicular, mientras que para 2023, esta proporción aumentó al 61%.

El incremento en la proporción de motocicletas dentro de la flota vehicular 2w Arterial puede explicar las variaciones observadas en las emisiones. A medida que el número de motocicletas ha aumentado, se han implementado mejoras tecnológicas y regulaciones más estrictas sobre las emisiones. Estas mejoras podrían haber contribuido a la reducción general de la mayoría de los

contaminantes, aunque las emisiones de CO₂ y CH₄ no hayan disminuido, posiblemente debido a factores específicos relacionados con la combustión y el uso de combustibles fósiles en motocicletas.

Tabla 3.

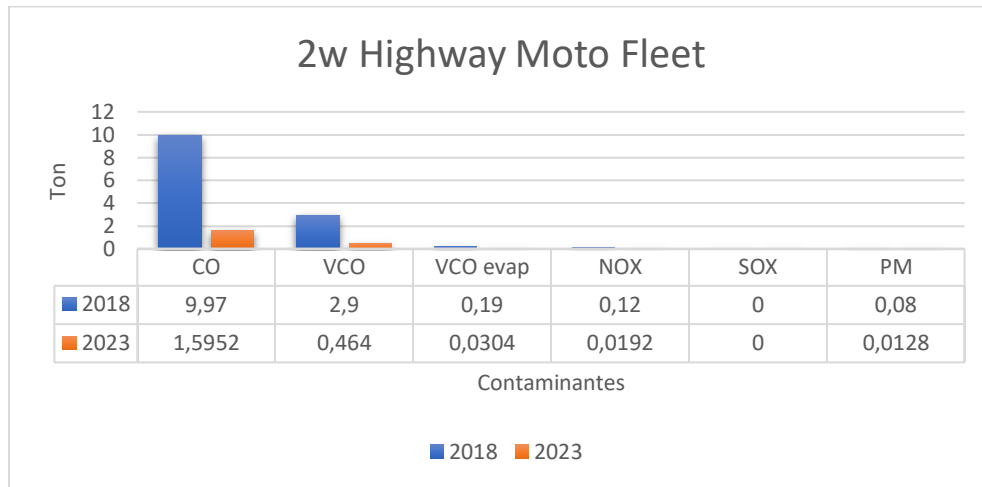
Resultados 2w Highway Moto Fleet

2w Highway Moto Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	9,97	2,9	0,19	0,12	0	0,08	2018	21,63	0	0,61
2023	1,5952	0,464	0,0304	0,0192	0	0,0128	2023	3,4608	0	0,0976

Nota. Elaboración propia

Figura 11.

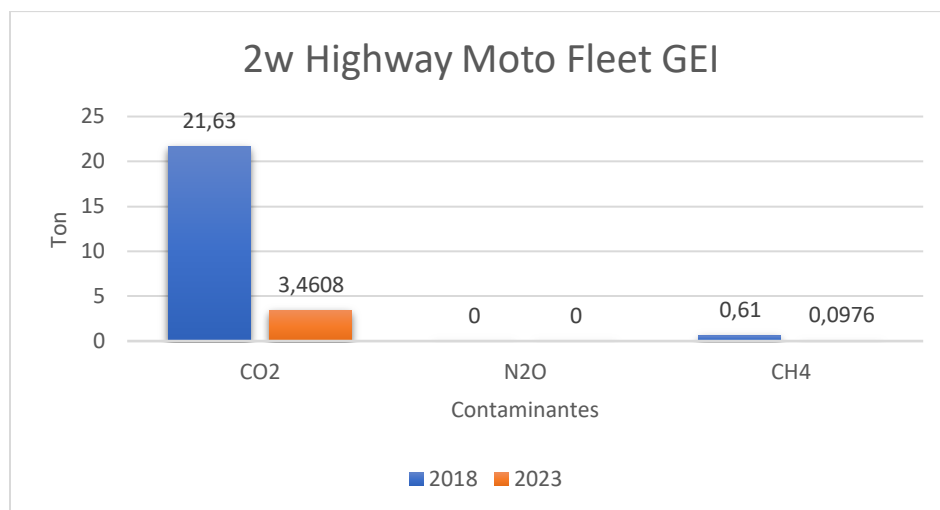
Comparación 2w Highway Moto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 12.

Comparación 2w Highway Moto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La notable reducción en las emisiones contaminantes puede atribuirse a la renovación del parque de motocicletas, la adopción de motores más eficientes, y la implementación de normativas ambientales más estrictas.

Tabla 4.

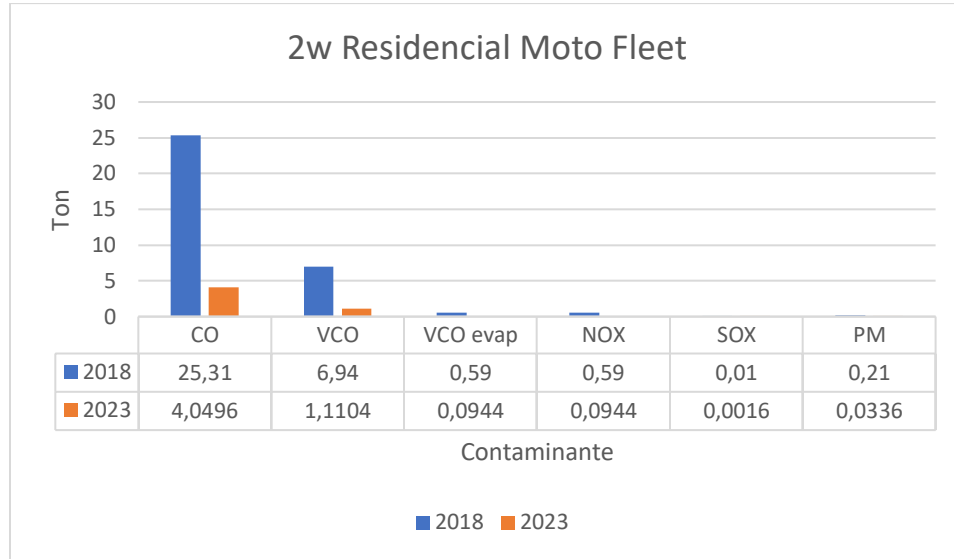
Resultados 2w Residencial Moto Fleet

2w Residencial Moto Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	25,31	6,94	0,59	0,59	0,01	0,21	2018	46,36	0	1,46
2023	4,0496	1,1104	0,0944	0,0944	0,0016	0,0336	2023	7,4176	0	0,2336

Nota. Elaboración propia

Figura 13.

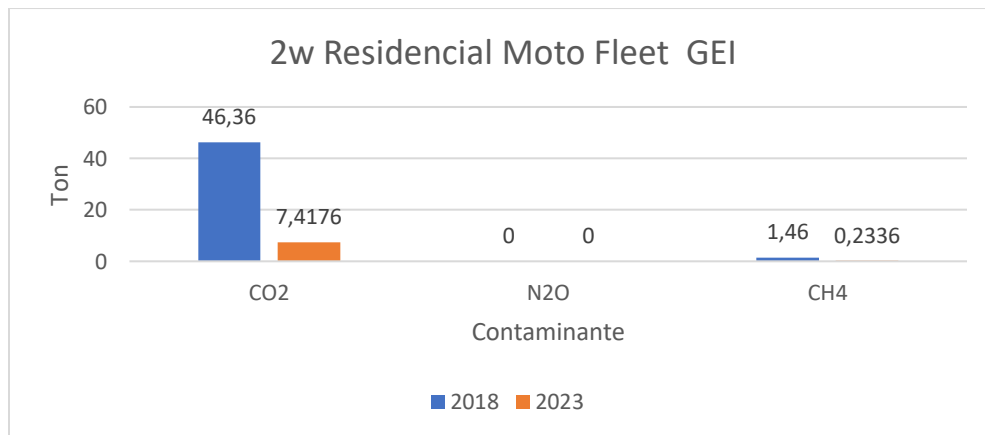
Comparación 2w Residencial Moto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 14.

Comparación 2w Residencial Moto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La adopción de tecnologías más limpias y la implementación de normativas ambientales más estrictas han resultado en una disminución significativa de las emisiones contaminantes, especialmente en la flota de motocicletas.

Tabla 5.

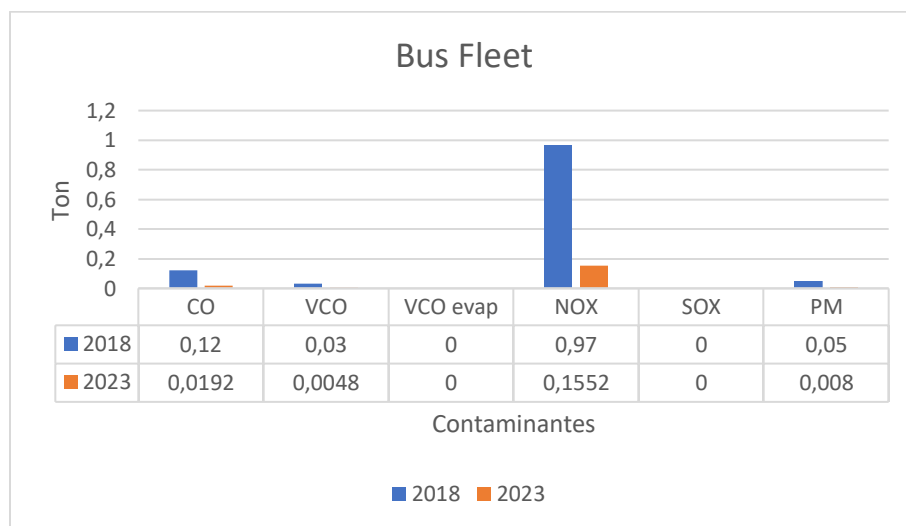
Resultados Bus Fleet

Bus Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	0,12	0,03	0	0,97	0	0,05	2018	69,68	0	0
2023	0,0192	0,0048	0	0,1552	0	0,008	2023	11,1488	0	0

Nota. Elaboración propia

Figura 15.

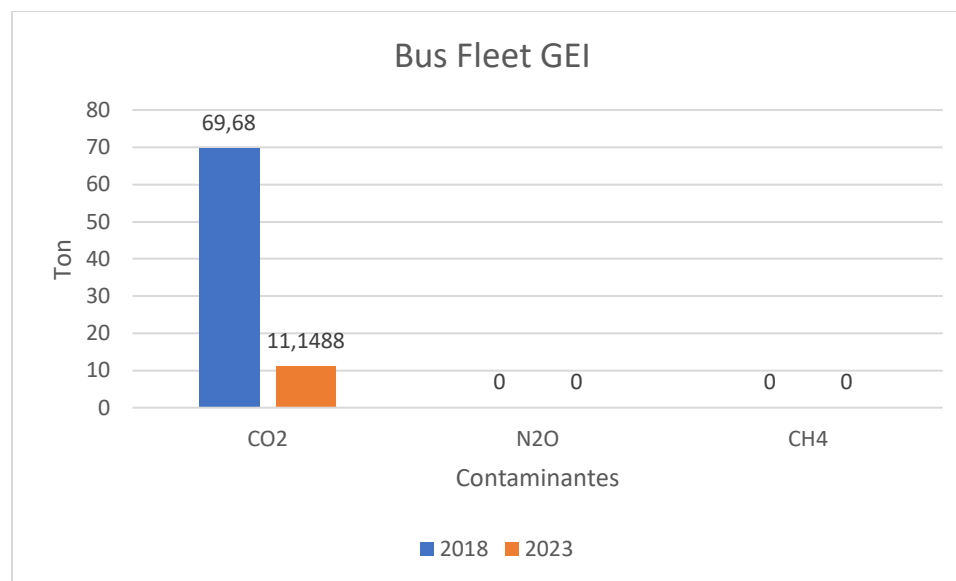
Comparación Bus Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 16.

Comparación Bus Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La modernización de la flota de autobuses ha generado una notable disminución en las emisiones de CO, VCO y CH₄. Además, se ha observado una reducción significativa en las emisiones de CO₂, lo que sugiere una mejora en la eficiencia de estos vehículos. Estos resultados positivos son atribuibles a la implementación de políticas de renovación y tecnologías de control de emisiones en esta categoría de transporte público.

Tabla 6.

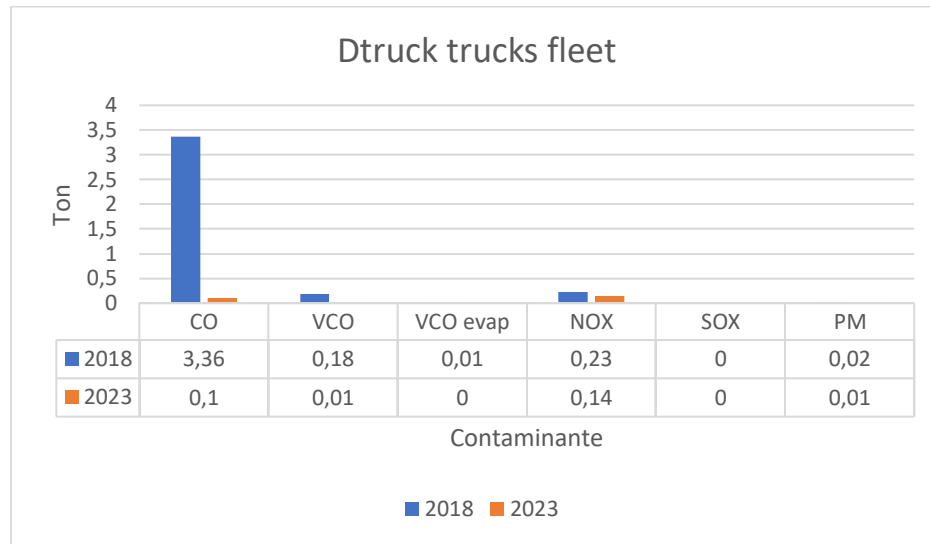
Resultados Dtruck trucks fleet

Dtruck trucks fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	3,36	0,18	0,01	0,23	0	0,02	2018	359,14	0	1,03
2023	0,1	0,01	0	0,14	0	0,01	2023	11,86	0	0

Nota. Elaboración propia

Figura 17.

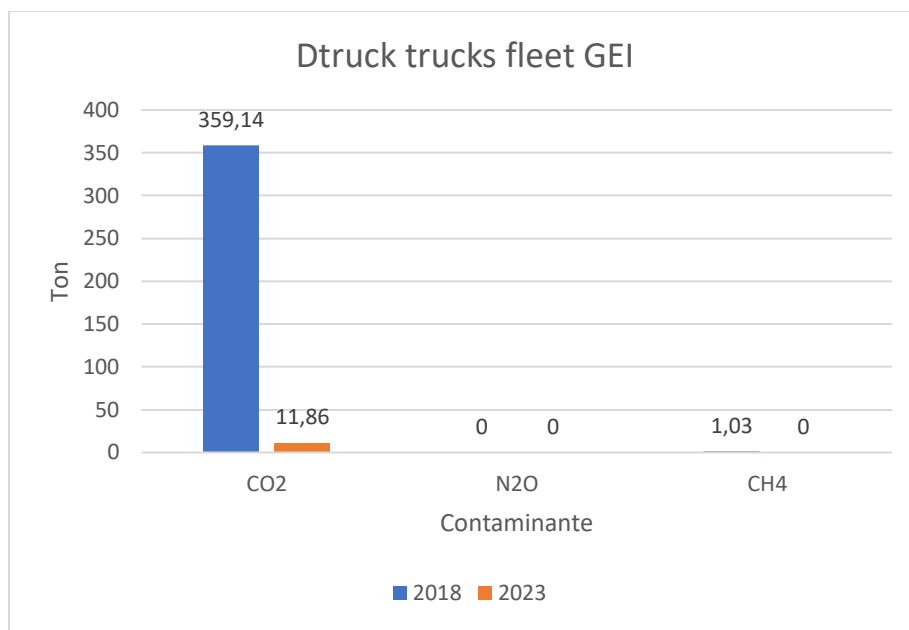
Comparación Dtruck trucks fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 18.

Comparación Dtruck trucks fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La implementación de tecnologías más limpias en la flota de camiones ha resultado en una notable reducción de las emisiones de CO, VCO y CH₄. Específicamente, se destaca una marcada disminución en las emisiones de CO₂, lo que sugiere una notable mejora en la eficiencia de estos vehículos de carga. Estos resultados positivos son indicativos del éxito de las políticas ambientales y los avances tecnológicos implementados en el sector del transporte de carga.

Tabla 7.

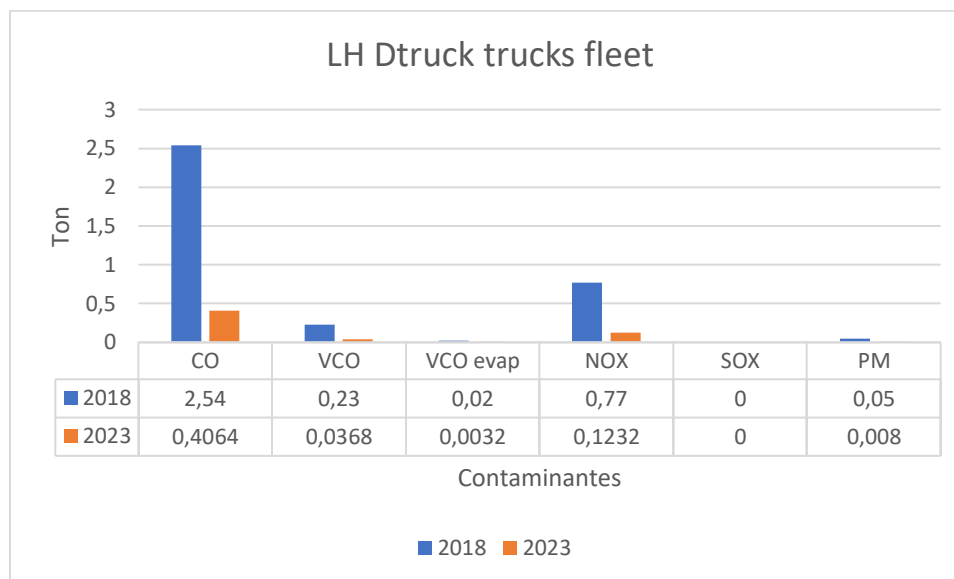
Resultados LH Dtruck trucks fleet

LH Dtruck trucks fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	2,54	0,23	0,02	0,77	0	0,05	2018	41,76	0	0,03
2023	0,4064	0,0368	0,0032	0,1232	0	0,008	2023	6,6816	0	0,0048

Nota. Elaboración propia

Figura 19.

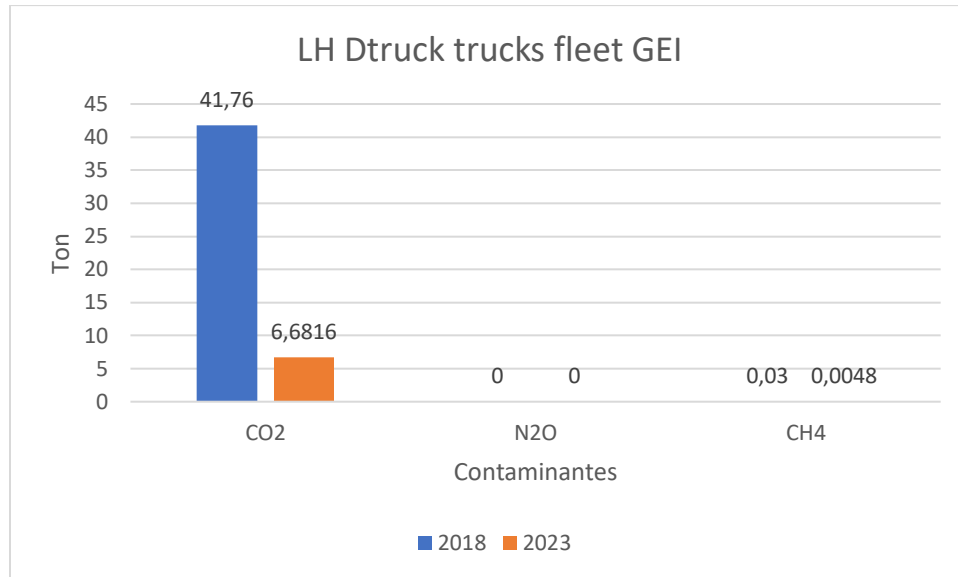
Comparación LH Dtruck trucks fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 20.

Comparación LH Dtruck trucks fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La implementación de tecnologías más eficientes y la modernización de los camiones han contribuido significativamente a la notable reducción de las emisiones de CO, VCO y CH₄. Es importante destacar que la disminución en las emisiones de CO₂ también ha sido considerable, lo que indica una mejora sustancial en la eficiencia operativa de estos vehículos. Estos resultados positivos subrayan la efectividad de las políticas de control de emisiones y de renovación vehicular aplicadas en esta categoría específica.

Tabla 8.

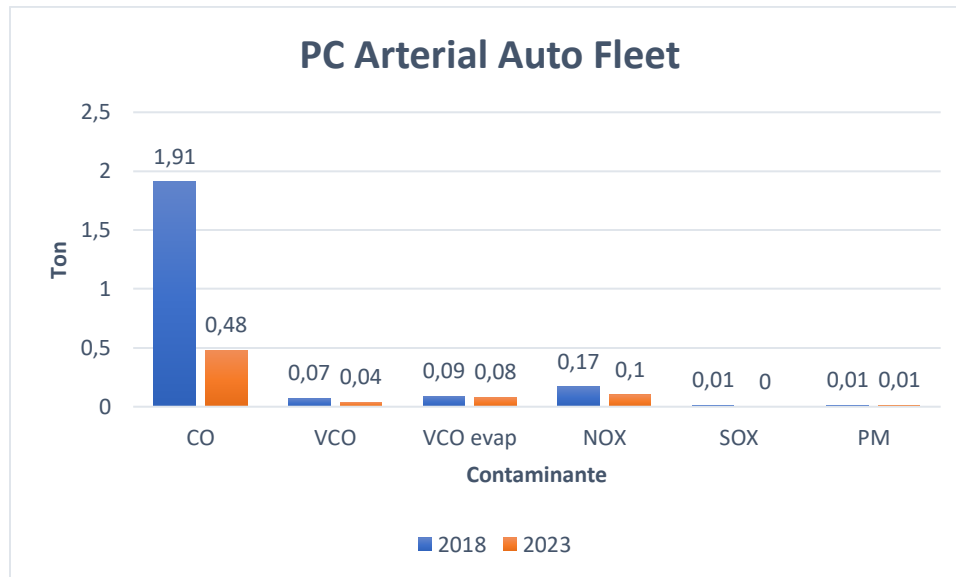
PC Arterial Auto Fleet

PC Arterial Auto Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	1,91	0,07	0,09	0,17	0,01	0,01	2018	69,46	0	0,48
2023	0,48	0,04	0,08	0,1	0	0,01	2023	69,07	0	0,01

Nota. Elaboración propia

Figura 21.

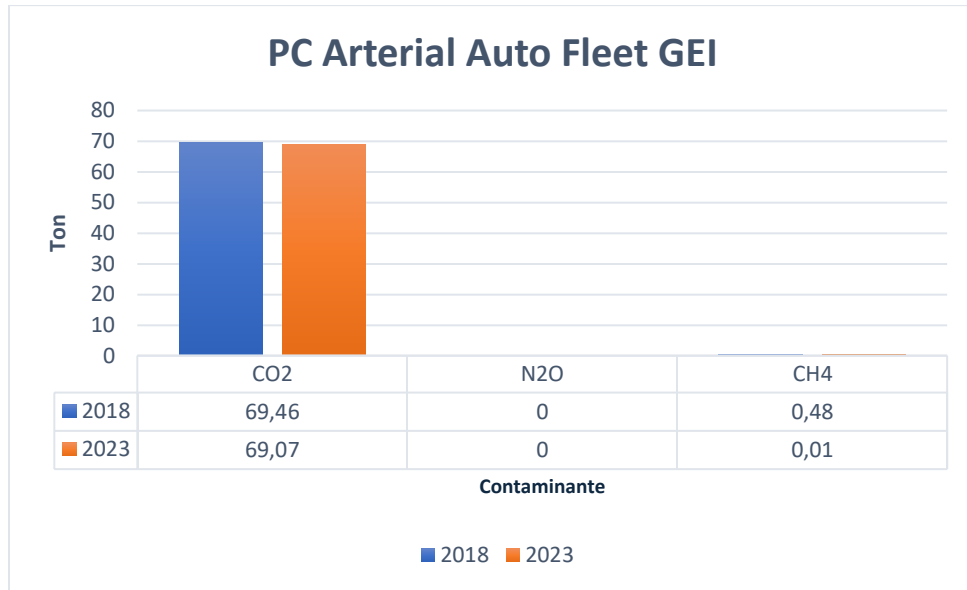
Comparación PC Arterial Auto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 22.

Comparación PC Arterial Auto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La disminución en las emisiones de CO y CH₄ refleja avances significativos en la tecnología de combustión y en la implementación de sistemas de control de emisiones más efectivos. No obstante, la estabilidad en las emisiones de CO₂ sugiere que el aumento en el número de vehículos ha contrarrestado en parte las mejoras en eficiencia. Esto subraya la necesidad de continuar con políticas de renovación vehicular y medidas de eficiencia para lograr reducciones adicionales en las emisiones de CO₂.

Tabla 9.

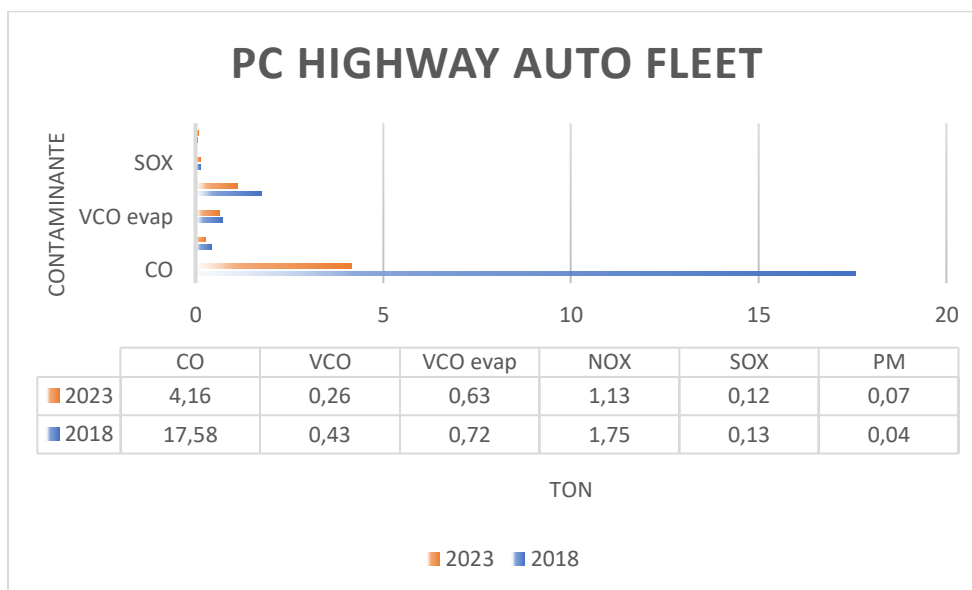
Resultados PC Highway Auto Fleet

PC Highway Auto Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	17,58	0,43	0,72	1,75	0,13	0,04	2018	822,08	0,06	4,46
2023	4,16	0,26	0,63	1,13	0,12	0,07	2023	809,45	0,05	0,08

Nota. Elaboración propia

Figura 23.

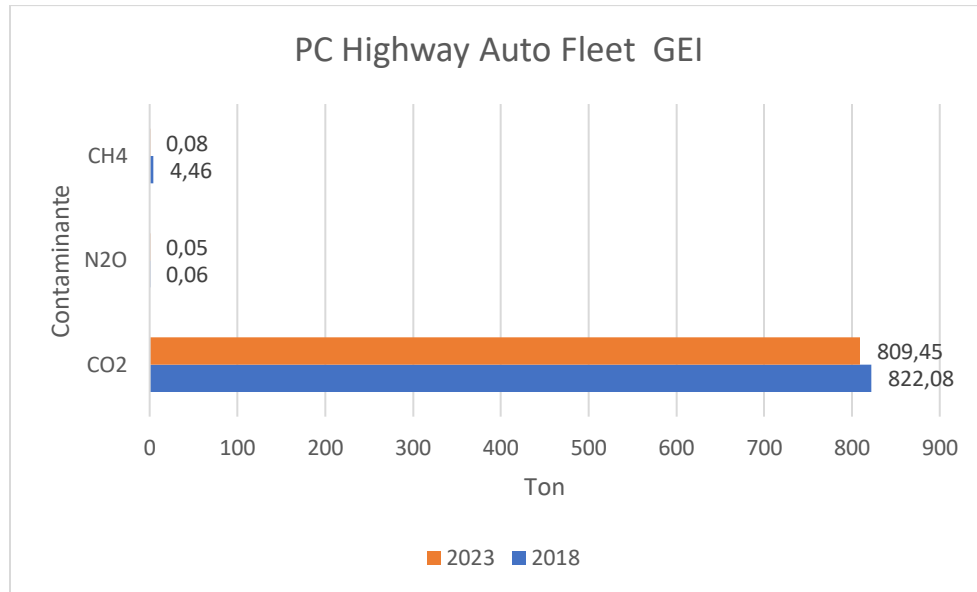
Comparación PC Highway Auto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 24.

Comparación PC Highway Auto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La reducción en las emisiones de CO y VCO se atribuye a las mejoras tecnológicas y a la transición hacia combustibles más limpios. Aunque se observa una leve disminución en las emisiones de CO₂, el aumento en el número de vehículos sigue representando un desafío significativo. Por otro lado, la disminución en las emisiones de CH₄ indica el éxito en la implementación de tecnologías de control de emisiones. Es crucial mantener un enfoque continuo en la eficiencia y en la reducción de la flota total para seguir mejorando en este aspecto.

Tabla 10.

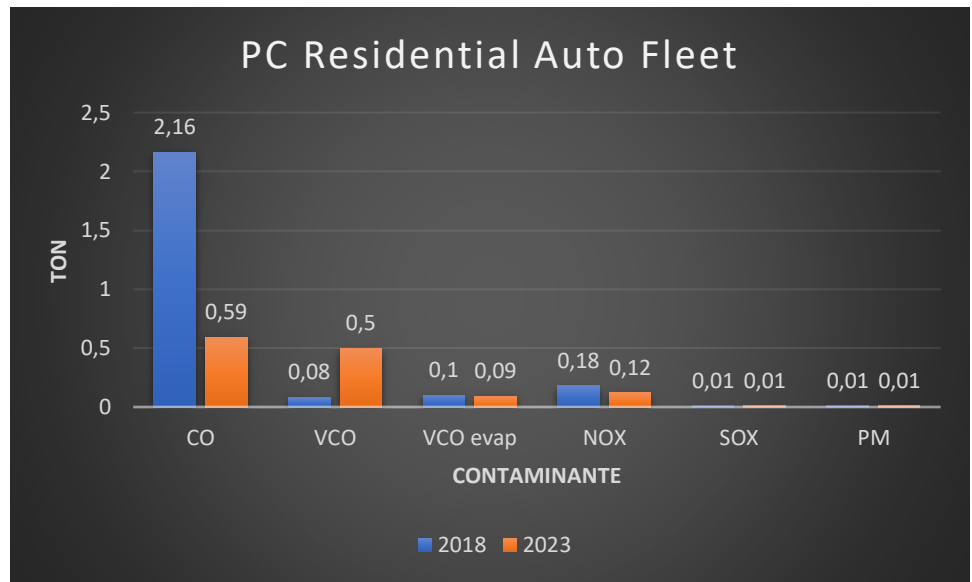
Resultados PC Residential Auto Fleet

PC Residential Auto Fleet										
Año	CO	VCO	VCO evap	NOX	SOX	PM	Año	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
2018	2,16	0,08	0,1	0,18	0,01	0,01	2018	81,05	0	0,54
2023	0,59	0,5	0,09	0,12	0,01	0,01	2023	80,32	0	0,02

Nota. Elaboración propia

Figura 25.

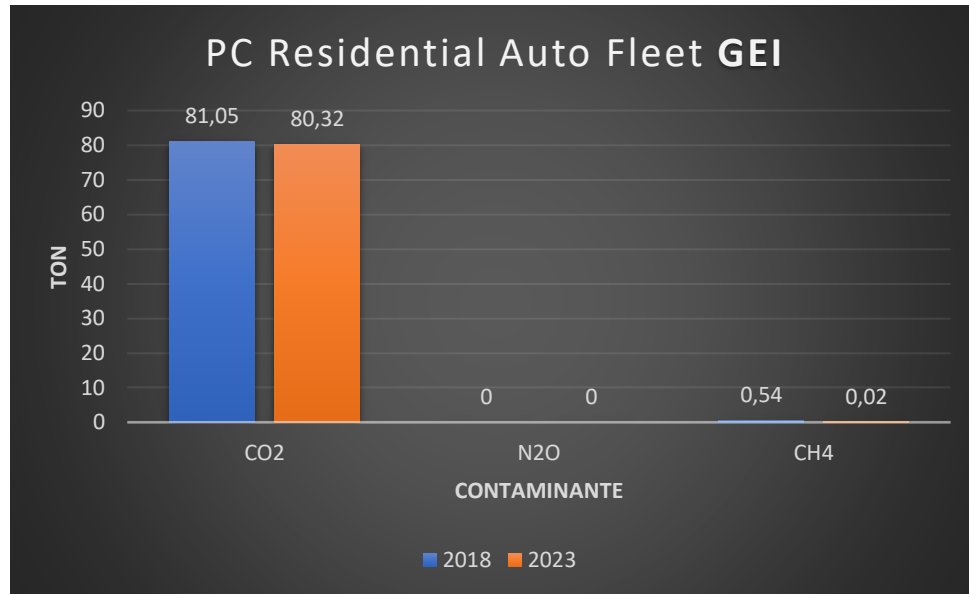
Comparación PC Residential Auto Fleet



Nota. Elaboración propia

Figura 26.

Comparación PC Residential Auto Fleet GEI



Nota. Elaboración propia

La reducción en las emisiones de CO, VCO y CH₄ evidencia mejoras significativas en la tecnología de combustión y en los sistemas de control de emisiones. Aunque se registra una ligera disminución en las emisiones de CO₂, el incremento constante en el número de vehículos plantea un desafío continuo. Si bien las políticas de renovación y la adopción de tecnologías más limpias han generado resultados alentadores, es crucial mantener un enfoque constante en la reducción de las emisiones totales.

En todas las categorías, se percibe una tendencia general hacia la disminución de las emisiones contaminantes gracias a la modernización de las flotas y a la adopción de tecnologías de combustión más limpias. Sin embargo, el crecimiento del parque vehicular ha contribuido a un

aumento o estancamiento en las emisiones de CO₂, resaltando la necesidad de implementar políticas adicionales para controlar este fenómeno y promover una mayor eficiencia en el uso de los vehículos.

Aunque las políticas de control de emisiones y renovación vehicular han mostrado ser efectivas en la reducción de la mayoría de los contaminantes, se requiere un enfoque continuo y multifacético para alcanzar mejoras sostenibles a largo plazo.

11. IMPACTOS Y ASPECTOS AMBIENTALES

La elaboración de una matriz de aspectos e impactos ambientales es esencial para identificar y jerarquizar los impactos más relevantes derivados de las actividades del proyecto. Este proceso resulta fundamental para diseñar estrategias efectivas de mitigación y promover la sostenibilidad del proyecto, garantizando la minimización de efectos adversos en el medio ambiente. A continuación, se relaciona la matriz definida para el caso de estudio:

Tabla 11.

Matriz de Aspectos e Impactos ambientales

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Magnitud	Probabilidad	Significancia
Operación de flotas vehiculares en zonas arteriales	Emisión de CO	Contaminación del aire, problemas respiratorios en humanos	Alta	Alta	Alta, debido a la alta densidad de tráfico y exposición humana.
Operación de flotas vehiculares en zonas arteriales	Emisión de CO ₂	Cambio climático, efecto invernadero	Alta	Alta	Alta, Por ser un gas de efecto invernadero.
Operación de flotas vehiculares en zonas arteriales	Emisión de NO _x	Formación de smog, problemas respiratorios	Media	Alta	Alta, Por ser un gas de efecto invernadero.

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Magnitud	Probabilidad	Significancia
Operación de flotas vehiculares en zonas residenciales	Emisión de PM	Contaminación del aire, enfermedades respiratorias	Alta	Media	Media, por la proximidad a áreas habitadas y sensibilidad de los residentes.
Operación de buses	Emisión de SOx	Lluvia ácida, daño a ecosistemas	Baja	Media	Media, por la menor frecuencia en comparación con otras flotas, pero con impactos significativos.
Operación de camiones (Dtruck y LH Dtruck)	Emisión de N ₂ O	Contribución al efecto invernadero	Media	Media	Media, debido al rol de N ₂ O en el calentamiento global
Operación de flotas vehiculares en carreteras	Emisión de CH ₄	Contribución al cambio climático	Baja	Baja	Baja, por la menor cantidad emitida en comparación con otros gases
Uso de combustibles fósiles	Consumo de recursos no renovables	Agotamiento de recursos, impacto en la sostenibilidad	Alta	Alta	Alta, debido al impacto a largo plazo en la sostenibilidad y disponibilidad de recursos.
Mantenimiento de vehículos	Generación de residuos peligrosos (aceites, baterías)	Contaminación del suelo y agua	Media	Media	Media, considerando los riesgos asociados a la gestión inadecuada de residuos peligrosos.

Nota. Elaboración propia

12. VIABILIDAD

El proyecto se enfoca en la medición y modelado de emisiones vehiculares utilizando el modelo IVE, lo que implica actividades como la medición del tráfico vehicular, el uso de software especializado, la instalación de cámaras y la ejecución del modelo. Su objetivo es proporcionar datos precisos para mejorar la gestión del tráfico vehicular y reducir las emisiones contaminantes.

Este estudio ofrece una serie de beneficios tanto ambientales como económicos. En términos ambientales, se espera una reducción de CO, NOx, PM, SOx y otros contaminantes, lo que mejoraría la calidad del aire y disminuiría los problemas de salud pública asociados con la contaminación. Además, se anticipa una mejora en la eficiencia del transporte, lo que se traduciría en ahorro de combustible y menores costos operativos para las flotas vehiculares.

En cuanto a los beneficios económicos, se lleva a cabo un análisis costo-beneficio, evaluando los Beneficios Anuales frente a los Costos Totales. Sin embargo, la viabilidad principal del proyecto radica en los beneficios intangibles, que son cruciales para su éxito a largo plazo. Entre estos beneficios intangibles se encuentra la mejora de la Calidad del Aire, la cual contribuiría al bienestar general de los habitantes, mejorando su calidad de vida y reduciendo los costos asociados con problemas de salud.

Además, el proyecto podría ayudar a cumplir con las normativas ambientales nacionales e internacionales, lo que mejoraría la reputación de las entidades involucradas y evitaría sanciones legales. Esto demuestra un compromiso con la responsabilidad social y ambiental, lo cual puede atraer inversión y apoyo comunitario.

El proyecto también puede servir como una herramienta educativa para sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir las emisiones y adoptar prácticas más sostenibles.

Finalmente, al impulsar la adopción de tecnologías avanzadas en la gestión y control de emisiones, se fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector vehicular.

En resumen, estos beneficios intangibles son esenciales para la aceptación y sostenibilidad del proyecto, proporcionando una base sólida para su implementación y continuidad a largo plazo.

13. CONCLUSIONES

La estimación de la composición de la flota vehicular en Funza y Mosquera, basada en datos de Bogotá, proporciona una base sólida para comprender la estructura y las características de los vehículos presentes en estos municipios. Esto es fundamental para diseñar y estimar las emisiones atmosféricas a partir del modelo IVE.

El análisis de los patrones de actividad vehicular revela información importante sobre cómo se utilizan los vehículos en Funza y Mosquera, así como sobre las condiciones operativas que pueden influir en las emisiones de contaminantes atmosféricos.

La identificación de los factores de emisión evalúa el impacto ambiental de la flota vehicular en Funza y Mosquera. Esto proporciona una base científica sólida para calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos y diseñar medidas de control efectivas para reducir estas emisiones.

El cálculo de las emisiones de contaminantes atmosféricos utilizando la metodología IVE proporciona resultados detallados y cuantificables sobre el impacto ambiental de la actividad vehicular en Funza y Mosquera. Estos datos son fundamentales para comprender la magnitud del problema de la contaminación del aire y diseñar estrategias efectivas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en estos municipios.

Se observa una tendencia general hacia la reducción de emisiones contaminantes en todas las categorías de vehículos estudiadas. Esto se debe principalmente a la modernización de las flotas y la adopción de tecnologías de combustión más limpias.

Las políticas de control de emisiones y renovación vehicular han sido efectivas en la reducción de la mayoría de los contaminantes. Sin embargo, el incremento en el número total de vehículos ha contrarrestado algunas de estas mejoras, especialmente en lo que respecta a las emisiones de CO₂.

14. RECOMENDACIONES

La precisión y representatividad de los datos utilizados en el modelo de tráfico de vehículos son esenciales. Para obtener datos específicos sobre la composición del parque vehicular y la actividad de los patrones en los municipios de interés, se recomienda realizar estudios de campo. Permitir una estimación más precisa de las emisiones y una mejor comprensión de los factores que influyen en la contaminación atmosférica.

Los modelos que se emplean para calcular las emisiones deben actualizarse de forma regulatoria para incorporar cambios en la tecnología de los motores, la flota vehicular y las regulaciones ambientales. Se recomienda un proceso de monitoreo y evaluación de emisiones para detectar tendencias a lo largo del tiempo y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación.

El uso de tecnologías de vehículos más limpios y eficientes, como eléctricos, híbridos y con bajo consumo de combustible, debe ser promovido. La compra y el uso de vehículos sostenibles pueden ser promovidos por políticas de incentivos fiscales, subsidios e incentivos económicos. Además, es crucial financiar la infraestructura de carga para automóviles eléctricos e impulsar la investigación y el progreso de tecnologías alternativas de propulsión.

Las autoridades deben desarrollar e implementar políticas ambientales integrales que aborden eficazmente la contaminación atmosférica. implican implementar zonas de bajas emisiones, prohibir el tráfico de vehículos altamente contaminantes y promover el transporte público y modos de transporte activo como caminar y andar en bicicleta. Para asegurar la aceptación y eficacia de estas políticas, es esencial que la comunidad y las partes interesadas participen en su planeamiento e implementación.

15. REFERENCIAS

Benjumea, P., Rojas, J., & Pérez, M. (2018). Evaluación de la calidad del aire y su impacto en la salud en áreas urbanas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 25(2), 145-162.

Goh, T., Tan, A., & Lim, S. (2017). Economic and social barriers to electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 105, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.009>

Huo, H., He, K., Wang, M., Yao, Z., & Zhang, Q. (2012). Vehicle technologies, fuel-economy policies, and fuel-tax policies for China. *Energy Policy*, 41, 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.062>

Kumar, P., & Singh, A. (2020). Impact of meteorological factors on air quality. *Environmental Pollution*, 263, 114-128. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114128>

Lebeau, K., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Verbeke, F. (2016). Consumer attitudes towards electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.003>

Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Resolución 40444 de 2023.

Rojas, J. (2015). Modelos de estimación de emisiones vehiculares en América Latina. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 31(1), 67-78.

Tessum, C. W., Hill, J. D., & Marshall, J. D. (2014). Life cycle air quality impacts of conventional and alternative light-duty transportation in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(52), 18490-18495. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406843111>

Huo, H., He, K., Wang, M., Yao, Z., & Zhang, Q. (2012). Vehicle technologies, fuel-economy policies, and fuel-tax policies for China. *Energy Policy*, 41, 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.062>

TPD CUNDINAMARCA. (n.d.). Retrieved May 31, 2024, from <https://invias.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=daa4687ad91b4c4d9ad92ae6adc2f8e0>

Alcance y Limitaciones de un Proyecto - Cuáles son y ejemplos. (n.d.). Retrieved May 31, 2024, from <https://concepto.de/alcance-y-limitaciones-de-un-proyecto/>

Boletín Epidemiológico. (n.d.). Retrieved May 31, 2024, from <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Paginas/Vista-Boletin-Epidemilogico.aspx>

INFORME DEL SECTOR AUTOMOTOR. (n.d.).

Acidificación del suelo . (2016). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : <https://www.fao.org/3/i6467s/i6467s.pdf>

agricultura, O. d. (2023). Suelos Ácidos. Obtenido de Portal de Suelos de la FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>

Benjumea, P., Rojas, J., & Pérez, M. (2018). Evaluación de la calidad del aire y su impacto en la salud en áreas urbanas. *25(2)*, 145-162.

California Air Resources Board, 2., & HBEFA, 2. (2020; 2019). <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/emission-factors-modeling-and->

forecasting/emission-factors-modeling-and-forecasting-2. Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA). Recuperado de <https://www.hbefa.net/e/index.html>.

Castro, H., & Guerrero, J. (2018). Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación. Nariño: REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS .

Colombia, M. d. (2023). Ministerio de Transporte de Colombia. Resolución 40444 de 2023.

Dany Ortiz. (07 de Sep de 2023). Cyberclick. Obtenido de ¿Qué es un dashboard y para qué se usa? (2024): <https://www.cyberclick.es/numerical-blog/que-es-un-dashboard>

EPA, 2., & European Environment Agency, 2. (s.f.). AERMOD Modeling System Version 18081 User's Guide. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2016.

Gkatzoflias, D., Samaras, Z., & Ntziachristos, L. (2016). The COPERT road vehicle emission model: Its scientific basis, structure, functionalities and capabilities. *Environmental Modelling & Software*, 83, 121-135.

Goh, L. C., Fleischer, A., Steininger, K. W., & Hertwich, E. G. (2017). Assessing the environmental footprint of transportation in supply chains: An overview of empirical approaches. *Journal of Cleaner Production*, 161, 901-914.

hanna colombia. (12 de 08 de 2021). HANNA Instruments. Obtenido de Kit de Prueba para Acidez: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-3820-kit-de-prueba-para-acidez>

HBEFA. (2019). Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA).

Huanca, S. G. (2019). Uso de cáscara de huevo molida como material encalante en un suelo ácido del Perú. Lima-Perú: Departamento Académico de Suelos, Universidad Nacional Agraria La Molina Av. La Molina s/n.

Huo, H., Zhang, Q., He, K., Yao, Z., Zhen, B., & Zhang, Q. (2012). High-resolution mapping of vehicle emissions in China in 2008. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(4), 1957-1979.

ingeniería ambiental. (05 de 10 de 2018). Ingeniería Ambiental - Página especializada en temas ambientales para el público en general. Obtenido de ENTREVISTAS Y VIDEOS: <https://ingenieriaambiental.net/>

Kumar, P., & Singh, A. (2020). Impact of meteorological factors on air quality. *Environmental Pollution*.

Lebeau, K. (2016). Consumer attitudes towards electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.

Martínez, P., & Rodríguez, A. (2021). Limitaciones en la disponibilidad de datos para estudios de calidad del aire en entornos urbanos. *Revista de Gestión Ambiental*, págs. 42(1), 57-69.

Molina, E., & Alvarado, A. (2019). Manejo de acidez y encalado del suelo. Argentina: Universidad Nacional de Misiones.

Muños, A. R. (28 de Junio de 2022). Solo se está aprovechando 13,5% de las 39,2 millones de hectáreas con potencial. Obtenido de La Republica: <https://www.larepublica.co/economia/del-34-del-area-potencial-para-cultivar-en-colombia-se-aprovecha-cerca-del-13-5-3391297>

Rojas. (2015). Modelos de estimación de emisiones vehiculares en América Latina. *Revista de Ingeniería Ambiental*.

Rojas, J. (2015). Desafíos y oportunidades para la adopción de vehículos eléctricos e híbridos en Colombia. *Revista de Transporte Sostenible*, 10(2), 78-89.

Smith, A., & Johnson, B. (2019). Understanding the logistical challenges of implementing emissions monitoring models: A case study in Funza and Mosquera. *Journal of Environmental Studies*, 14(3), 245-260.

Valencia González, M., & Bedoya Salazar, A. (2021). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. Medellín - Colombia : *rev. colombiana cienc. anim. Recia* vol.12 no.2 Sincelejo July/Dec. 2020.

VELASCO, A. C. (2017). Análisis situacional de la. Departamento del Meta: PRODUCTO C DEL CONTRATO NASCA 000144.

Zhang, Y., Wu, Y., Zhong, L., Yin, H., & Du, Y. (2018). Comparison and application of IVE, COPERT and CMEM models in urban road traffic pollution estimation. *Journal of Environmental Management*, 224, 265-272.