



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

INGENIERIA AMBIENTAL

“Estimación de un inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de
Azogues mediante el modelo internacional de emisiones (IVE)”

Trabajo previo para la obtención del título de Ingeniería Ambiental

Autoras:

María Emilia Maldonado Rodas – Michelle Fernanda Siavichay Siavichay

Director:

Dr. Daniel Cordero Moreno

Cuenca – Ecuador

2024-2025

Dedicatoria

A mi mamá, María Belén, por su amor incondicional y por ser mi mayor apoyo en cada momento de mi vida.

A mi hermano, Carlos, por estar siempre a mi lado y motivarme a seguir adelante.

A mis abuelos, Moisés y Lucy, por su sabiduría y cariño, que me han acompañado desde siempre.

A mi tío, Manuel Leoncio, por su constante apoyo y ejemplo de perseverancia.

Y a mi compañera Michelle, con quien compartí este proyecto. Juntas enfrentamos los desafíos y logramos completar esta tesis. Gracias por tu compromiso, trabajo en equipo y por hacer de este proceso una experiencia inolvidable.

Con gratitud y amor, este logro se lo dedico a ustedes.

María Emilia.

Dedicatoria

A Dios, por guiar mi camino y brindarme la fortaleza necesaria para continuar este proceso de aprendizaje.

A mis padres, Reinaldo y María, por su amor incondicional, su apoyo constante y por estar siempre a mi lado en cada paso de este largo recorrido.

A mi hermano Diego, mi cuñada Paola y mis sobrinas Jordana y Antonella, cuya compañía y aliento han sido un pilar fundamental en mi deseo de superación.

A mi compañera de tesis, María Emilia, por su dedicación, compromiso y compañerismo a lo largo de este proceso. Tu apoyo, esfuerzo y trabajo en equipo han sido esenciales para alcanzar esta meta juntas.

Michelle Fernanda.

Agradecimiento

Agradecemos al Ing. Daniel Cordero Moreno, nuestro tutor, por su invaluable guía y paciencia a lo largo de todo este proceso. Su dedicación y asesoría han sido fundamentales para la realización de este trabajo. También queremos expresar nuestra gratitud al Ing. Gustavo Álvarez por su constante apoyo y orientación, que resultaron claves en cada etapa del proyecto.

A ambos, les agradecemos profundamente por su tiempo, conocimientos y por habernos acompañado en este camino.

Resumen

Este estudio tiene como objetivo estimar un inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles terrestres en la ciudad de Azogues mediante el uso del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). A través de este modelo, se cuantifican varios contaminantes, entre ellos el monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM₁₀) y dióxido de carbono (CO₂), entre otros. La metodología empleada incluye la recopilación de datos sobre la flota vehicular a través de inspecciones visuales en puntos estratégicos de la ciudad y la implementación de equipos de telemetría con dispositivos GPS para registrar las condiciones de conducción. Adicionalmente, se incorporaron datos sobre la calidad del combustible y las condiciones meteorológicas locales. Estos insumos se ingresaron al modelo IVE, el cual calcula las emisiones basándose en las características de los vehículos, el estado del combustible y las condiciones de conducción. Los resultados indican que el CO₂ es el principal contaminante emitido por el parque automotor, constituyendo la mayor proporción de las emisiones totales, seguido por el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Esta información es clave para formular políticas que ayuden a controlar y reducir las emisiones contaminantes en la ciudad.

Palabras Clave: contaminantes atmosféricos, modelo IVE, emisiones vehiculares, inventario de emisiones, GEI.

Abstract

This study aims to estimate an inventory of emissions from land-based mobile sources in the city of Azogues using the International Vehicle Emissions (IVE) Model. Through this model, various pollutants are quantified, including carbon monoxide (CO), volatile organic compounds (VOCs), nitrogen oxides (NO_x), particulate matter (PM₁₀), and carbon dioxide (CO₂), among others. The methodology employed includes collecting data on the vehicle fleet through visual inspections at strategic points in the city and the use of telematics equipment with GPS devices to record driving conditions. Additionally, data on fuel quality and local meteorological conditions were incorporated. This data was input into the IVE model, which calculates emissions based on vehicle characteristics, fuel condition, and driving conditions. The results indicate that CO₂ is the main pollutant emitted by the vehicle fleet, constituting the largest proportion of total emissions, followed by carbon monoxide and nitrogen oxides. This information is crucial for developing policies that help control and reduce pollutant emissions in the city.

Keywords: atmospheric pollutants, IVE model, vehicle emissions, emissions inventory, GHG.

Contenido

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Materiales y métodos	5
3.1 Materiales	5
3.1.1 Vehículos	5
3.1.2 Equipos de telemetría.....	6
3.1.3 Software IVE	7
3.2 Metodología.....	8
3.2.1 Caracterización de la flota vehicular	10
3.2.2 Condiciones de conducción.....	15
3.2.3 Variables climáticas	15
3.2.4 Calidad de combustible	16
3.2.5 Filtrado de datos del GPS.....	17
3.2.6 Obtención de bins.....	18
4. Resultados.....	24
4.1 Resultados de factores de emisión.....	29
5. Discusión	31
6. Conclusiones.....	34
7. Referencias	35
8. Anexos.....	37

Índice de tablas

Tabla 1 Listado de vehículos analizados.....	5
Tabla 2 clasificación de los factores de corrección en diferentes categorías	9
Tabla 3 Categorización de vehículos	11
Tabla 4 Caracterización de la flota vehicular	12
Tabla 5 Bines resultados	21
Tabla 6 Soak time	23
Tabla 7 Masa de contaminantes	24
Tabla 8 Codigos de IVE por flota vehicular.....	25
Tabla 9 Masa de contaminantes por flota vehicular	26
Tabla 10 Factores de emisión (FE)	29
Tabla 11 Factor de emisión por flota [Gr/km].....	30

Índice de figuras

Fig. 1 Demanda energética y emisiones de GEI generadas por el transporte. Referencia: Balance energético Ecuador.....	2
Fig. 2 Características del dispositivo de telemetría	6
Fig. 3 Interfaz del modelo internacional de emisiones (IVE)	8
Fig. 4 Interfaz de la plataforma myGeotab.....	18
Fig. 5 Diagrama de caja y bigotes de los Bines.....	22

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 ecuación interna utilizada para calcular los factores de emisión corregidos	9
Ecuación 2 ajuste de los factores de emisión corregidos por la fracción de viaje y el tipo de conducción de cada tecnología.	10
Ecuación 3 Vehicle Specific Power	19
Ecuación 4 Estrés del motor	19
Ecuación 5 Índice RPM.....	20
Ecuación 6 Potencia Promedio.....	20

Índice de Anexos

Anexo 1 Flota vehicular de Azogues aplicada en IVE	37
Anexo 2 Ventana de locación de IVE, con los bins y el soak time aplicados para el estudio	38

1. Introducción

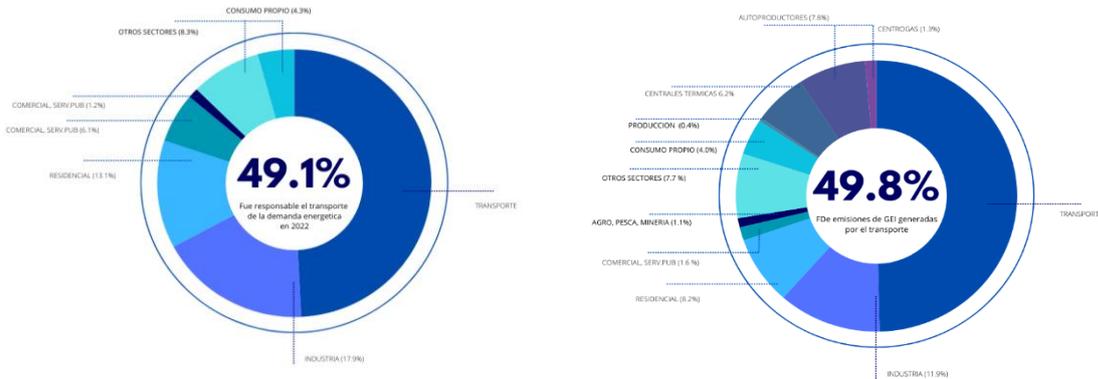
El calentamiento global es una de las principales amenazas medioambientales del siglo XXI, con efectos globales como el aumento de la temperatura promedio del planeta, el derretimiento de la criósfera y el incremento de fenómenos climáticos extremos. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generadas principalmente por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, han causado inequívocamente el calentamiento global (Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático, 2023). Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C y evitar consecuencias climáticas catastróficas, es crucial reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en un 45% antes del año 2030, en comparación con los niveles del año 2010 (IPCC, 2018). En este contexto, en Ecuador las emisiones de CO₂ han crecido en 2022 a 3,135 megatoneladas, un 7,3% más en comparación con 2021 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023)

En el ámbito de la gestión ambiental urbana, los problemas derivados de las emisiones de fuentes móviles además de contribuir con un 15% a las emisiones de gases de efecto invernadero, cobran especial relevancia debido a su impacto directo en la calidad del aire y, en consecuencia, en la salud pública y el bienestar de la población, considerando que la contaminación del aire se relaciona con aproximadamente 6.7 millones de muertes prematuras anualmente (OMS, 2019).

El parque automotor contribuye a la contaminación del aire ya que emite contaminantes como: óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas en suspensión (PS), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azufre (SO₂) (Autofac, 2023) siendo gases que están directamente relacionados con el efecto invernadero es por ello que a nivel internacional, acuerdos como el Protocolo de Kioto (2005) y el Acuerdo de París (2016) han establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsando a los gobiernos a implementar políticas de mitigación más efectivas.

En Ecuador, el sector de transporte fue responsable del 49,1% de la demanda energética en 2022, lo que representa la mayor proporción entre todos los sectores económicos del país

(Ministerio de Energía y Minas – Ecuador, 2022). Este sector representa el 49,8% de las emisiones totales de GEI en el país, lo que lo posiciona como la principal fuente emisora de gases contaminantes (Fig. 1)



*Fig. 1 Demanda energética y emisiones de GEI generadas por el transporte.
Referencia: Balance energético Ecuador*

En cumplimiento del Acuerdo de París y a través de un proceso participativo intersectorial, Ecuador ha formulado su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), identificando acciones clave en los sectores de Energía, Agricultura, Procesos Industriales y Residuos. Desde 2020, estas acciones buscan lograr una reducción del 9% de emisiones de GEI para 2025. Además, con el apoyo de la cooperación internacional, se proyecta alcanzar un potencial de reducción de hasta un 20,9%, lo que incrementa la ambición en materia de mitigación en un 11,9% adicional" (Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2019.)

Es importante hacer un seguimiento y disponer de instrumentos que ayuden a proyectar distintos escenarios de generación de emisiones, ya que esto permite tomar decisiones para mitigar su impacto. Es por ello que la Universidad del Azuay (UDA), la Escuela Politécnica Nacional (EPN), la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) con el apoyo de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA) están trabajando en la estimación de las emisiones de las fuentes móviles en nueve ciudades de nuestro país, la cual incluye la región sierra y oriente. Dentro de la región sierra se analizarán (las ciudades de: Ibarra, Quito, Riobamba, Azogues, Cuenca, Loja y dentro de la región oriental se evaluarán las ciudades de: Macas, Lago Agrio, El Coca.)

Este trabajo presenta el análisis de la ciudad de Azogues, capital de la provincia de Cañar, que se encuentra aproximadamente a 29 kilómetros al noreste de Cuenca. Según el último censo poblacional, esta ciudad es la cuadragésima segunda más poblada del país, con una población local de 74.515 habitantes (VIII Censo de población y VII de vivienda, 2022). Durante el período 2014-2023, la matriculación vehicular en Ecuador ha experimentado un crecimiento sostenido, registrando un incremento del 6,42% en el número de vehículos matriculados en relación al año 2022, según datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT). Este aumento, aunque no específico para Azogues, refleja la tendencia nacional y proporciona un contexto para analizar el impacto del crecimiento vehicular en la ciudad.

La falta de medidas de control efectivas sobre las emisiones generadas por los vehículos, sumada a la escasez de investigaciones específicas en esta área, destaca la necesidad de llevar a cabo un estudio enfocado en este tema. Como muchos otros centros urbanos, Azogues enfrenta desafíos significativos relacionados con la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental, especialmente debido al crecimiento del tráfico vehicular y las emisiones contaminantes asociadas. Por esta razón, el presente trabajo se enfocará en esta ciudad. La implementación de un inventario de emisiones de fuentes móviles se presenta como una herramienta esencial para evaluar y comprender la magnitud del problema en Azogues y la propuesta de soluciones adecuadas.

El proceso de elaboración de un inventario de emisiones implica la determinación de la cantidad de contaminantes primarios más significativos (CO, NoX, PM, CO₂, N₂O, CH₄, COV, Sox) son liberados por diversas fuentes presentes en una región específica durante un período determinado. Estos contaminantes, al ser liberados, se dispersan y sufren transformaciones en la atmósfera, generando niveles variables de contaminación que inciden en la salud y el bienestar tanto de la población como de los ecosistemas y los bienes materiales; es decir, el inventario de emisiones constituye una herramienta fundamental para adquirir conocimientos sobre la calidad del aire, lo cual resulta crucial para planificar intervenciones destinadas a mitigar la presencia de contaminantes en entornos urbanos (Pareja et al., 2012). Este inventario de emisiones no solo permitirá cuantificar las emisiones actuales de los vehículos en circulación, sino que también sentará las bases para la planificación de estrategias de mitigación y la adopción de medidas que promuevan una movilidad más sostenible.

Un inventario de emisiones se realiza mediante la recopilación y análisis de datos relacionados con las fuentes emisoras, como el parque vehicular, los tipos de combustibles utilizados, los volúmenes de tráfico y los patrones de conducción. Este proceso incluye la identificación de las fuentes principales, la cuantificación de los contaminantes emitidos y la evaluación de las condiciones locales que influyen en las emisiones. Para facilitar este análisis, existen varios programas informáticos para la estimación de emisiones, entre los cuales destacan MOVES, COPERT e IVE. La elección del software IVE se basa en los resultados que ha demostrado en diversos países de América Latina, debido a su capacidad de adaptarse a las condiciones específicas de la región, incluyendo el parque vehicular, las características de los combustibles y los patrones de conducción. Este software ha sido aplicado con éxito en ciudades de Perú, como Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, donde se estimaron contaminantes atmosféricos utilizando factores de emisión, actividad vehicular y distribución de la flota vehicular (Hilario, 2011). En Bogotá, Colombia, IVE permitió modelar las emisiones de contaminantes criterio y aquellos que contribuyen al cambio climático global (Giraldo, 2005). Asimismo, en Azogues, Ecuador, el modelo fue empleado para desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres, proporcionando información clave para la gestión de la calidad del aire en la región (Peñañiel, 2019). Más recientemente, en el cantón Chambo, Ecuador, este enfoque ha permitido estimar el número de contaminantes emitidos por vehículos en 2023. A través de la metodología del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), se recopilaron datos representativos para calcular emisiones de contaminantes como CO, COV, COV evap, NO_x, SO_x, MP, CO₂ y CH₄, ofreciendo una perspectiva integral del impacto vehicular en la calidad del aire local.

En consecuencia, el propósito principal de esta investigación es estimar un inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles en la ciudad de Azogues. Este inventario será fundamental para la formulación de políticas de control y la evaluación de los beneficios asociados a proyectos de reducción de la contaminación atmosférica (Peñañiel, 2019).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Azogues.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener los datos de calidad de combustible, composición de la flota vehicular y variables climáticas de la ciudad de Azogues.
- Recopilar los datos de entrada para el software IVE.
- Determinar las condiciones de operación de los vehículos en Azogues.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Los materiales utilizados son los vehículos como objeto de estudio, junto con equipos de telemetría para monitorear su desempeño. Se emplea la plataforma Geotab para gestionar y analizar los datos, y el software IVE para procesarlos y visualizar los resultados. Además, se utilizaron herramientas como Power BI, Excel y RStudio para realizar análisis avanzados, gestionar grandes volúmenes de datos y presentar los resultados de forma gráfica e interactiva.

3.1.1 Vehículos

Se seleccionaron 13 vehículos en total, 12 vehículos livianos a gasolina y 1 vehículo a diésel tomando en cuenta su disponibilidad (Tabla 1)

Tabla 1 Listado de vehículos analizados.

Marca	Modelo	Año	Placa	Cilindraje[cm ³]
Montero	i10	2002	UBR0329	2000
Ford	Ecosport	2007	UBB336	2000
Hyundai	Tucson	2010	ABA3712	2000
Hyundai	Tucson	2014	ABE9088	2000
Kia	Rio	2014	PCF8736	1400
Chevrolet	Aveo	2015	UBA-5939	1498
Chevrolet	Aveo	2016	PCQ1941	1498
Toyota	Rav	2018	UBA7596	1987
Volkswagen	Amarok	2018	TBG-8958	2000
Chevrolet	Spark	2018	UBA-6914	1206
Marca	Modelo	Año	Placa	Cilindraje[cm ³]
Kia	Picanto	2021	UBA9424	1248
Kia	Sonet	2024	UBB1022	1497

3.1.2 Equipos de telemetría

En cada uno de estos vehículos, se instaló un dispositivo de telemetría marca Geotab, modelo GO9, como se muestra en la Fig. 2. Este equipo proporciona datos de seguimiento GPS en tiempo real cada segundo y permite registrar patrones de conducción, como aceleraciones, frenados y giros. Todos los datos se envían a la plataforma de Geotab y son almacenados en la nube.



Fig. 2 Características del dispositivo de telemetría

Los datos recopilados mediante estos dispositivos de telemetría proporcionan un panorama detallado de diversas métricas como la velocidad máxima, la distancia, el número de encendidas, relacionadas con el rendimiento y comportamiento vehicular, que pueden ser monitorizadas y analizadas a través de la plataforma Geotab. Esta plataforma, reconocida como líder en soluciones de gestión de flotas y telemática vehicular, emplea tecnología GPS para la captura de datos en tiempo real. (Geotab, 2023)

3.1.3 Software IVE

Se utilizó el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE) (Fig. 3), una herramienta desarrollada por un esfuerzo conjunto del 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). El financiamiento fue provisto por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA) para estimar las emisiones producidas por vehículos motorizados (Manual de usuario del modelo IVE). En esta investigación se empleó su última versión, la 2.0.2, lanzada en 2008, diseñada específicamente para adaptarse a las necesidades de países en desarrollo.

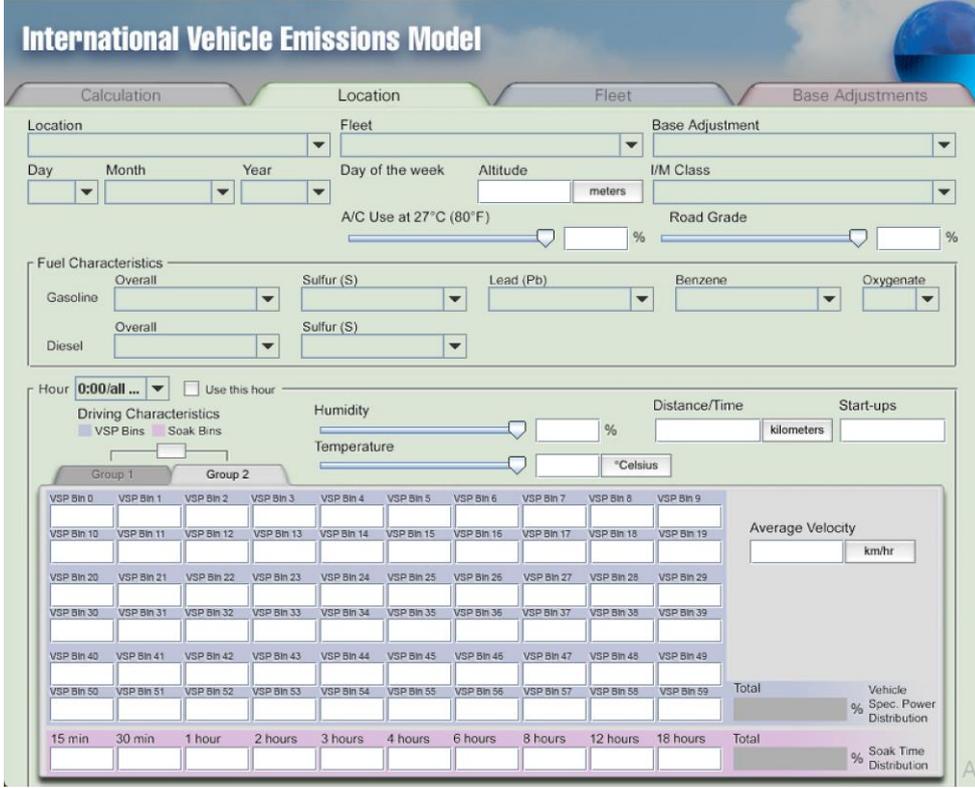


Fig. 3 Interfaz del modelo internacional de emisiones (IVE)

3.2 Metodología

El proceso de estimación de emisiones en el modelo IVE se lleva a cabo multiplicando la base de factores de emisión por cada uno de los factores de corrección y la distancia recorrida por vehículo para cada tecnología. La ecuación interna utilizada para calcular los factores de emisión corregidos se presenta en la Ecuación 1. En esta ecuación, se multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para estimar los ajustes en las emisiones (Q) para cada tipo de vehículo.

Es importante destacar que el factor de corrección relacionado con el modo de conducción no se incluye en la Ecuación 1, sino que se utiliza en la Ecuación 2. Los factores de corrección pueden clasificarse en diferentes categorías, como se muestra en la Tabla 2 y su valor depende de las entradas seleccionadas en el archivo de Localidad del modelo.

Ecuación 1 ecuación interna utilizada para calcular los factores de emisión corregidos

$$Q[t] = B[t] * K(1)[t] * K(2)[t] * \dots * K(x)[t]$$

Tabla 2 clasificación de los factores de corrección en diferentes categorías

Variabes Locales	Variabes de Calidad de Combustible K(Fuel)[t]	Variabes de Potencia y Conducción K[dt]
Temperatura Ambiente K(Tmp)[t]	Gasolina Total	Potencia Especifica Vehicular (VSP)*
Humedad Ambiente K(Hmd)[t]	Gasolina Azufre	Pendiente
Altitud K(Alt)[t]	Gasolina Plomo	Uso Aire Acondicionado
Programas de Inspección/Mantenimiento K(IM)[t]	Gasolina Benceno	Distribución de Partida en frío
Base de Factores de Corrección K(Cntry)[t]	Gasolina Oxigenados	
	Diesel Total	
	Diesel Azufre	

La base de factores de emisión se compone de dos tipos: emisiones en ruta y emisiones por partida. La Ecuación 2 ajusta los factores de emisión corregidos por la fracción de viaje y el tipo de conducción de cada tecnología. La fracción de viaje se obtiene del archivo de flota del modelo, y en el caso de las emisiones en ruta, la fracción de viaje ($f[dt]$) se expresa como un porcentaje del tiempo utilizado en cada condición de VSP. Para realizar el ajuste adecuado, la base de factores de emisión ($Q[t]$) debe convertirse de gramos por kilómetro a gramos por tiempo multiplicando por la velocidad promedio del ciclo FTP (\bar{U}_{FTP}), antes de aplicar la fracción de tiempo para cada tipo de conducción ($f[dt]$). Luego, este valor en gramos por tiempo se convierte de nuevo a gramos por distancia dividiendo por la velocidad promedio del ciclo evaluado (\bar{U}_C). El resultado es el promedio de las emisiones en ruta en gramos por kilómetro para la flota y patrones de conducción analizados ($Q_{en\ ruta}$). En cuanto a las emisiones por partida, no es necesario convertir a gramos por tiempo, ya que las unidades siempre se expresan en gramos por partida. Para obtener las emisiones totales, simplemente se multiplica por la distancia total recorrida y el número total de partidas. (Manual del modelo IVE)

Ecuación 2 ajuste de los factores de emisión corregidos por la fracción de viaje y el tipo de conducción de cada tecnología.

$$Q_{\text{en ruta}} = \sum_t \{f[t] * \sum_d [Q[t] * \bar{U} \text{FTP} * f[dt] * K[dt]]\} / \bar{U} C$$
$$Q_{\text{partida}} = \sum_t \{f[t] * Q[t] * \sum_d [f[dt] * K[dt]]\}$$

Donde:

B[t]= Base de factores de emisión para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))

Q[t]= Factores de emisión ajustados para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))

f[t]= Fracción de viaje por tecnología específica

f[dt]= Fracción de tiempo por cada tipo de conducción o fracción de tiempo soak por tecnología específica

\bar{U} FTP= Velocidad promedio del ciclo de conducción LA4 (una constante en kph)

\bar{U} C= Velocidad promedio del ciclo de conducción específico, valor ingresado por el usuario en el archivo Localidad (kph)

Adicional a ello el modelo IVE (International Vehicle Emissions) utiliza datos de entrada como la flota vehicular, las condiciones de conducción, las variables climáticas, la calidad del combustible y la obtención de bins. A continuación, se detallan estos datos y su relevancia en el contexto del presente estudio.

3.2.1 Caracterización de la flota vehicular

Se obtuvo la información sobre la flota vehicular de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Según la ANT en la ciudad de Azogues existen aproximadamente 10,914 vehículos matriculados, mientras que el INEC reporta un total de 16,570 vehículos en la ciudad. Se recopiló una base de datos que incluía el número total de vehículos registrados, clasificados según tipo (automóviles, motocicletas, buses, camiones, etc.) y su año de fabricación. También se obtuvieron datos sobre la antigüedad de los vehículos, la tecnología de los motores y el tipo de combustible utilizado (gasolina, diésel, entre otros).

En el modelo IVE, la sección denominada Fleet (Flota) constituye un listado que detalla la fracción de la flota vehicular según la tecnología de los vehículos. Este modelo incluye un total de 1,372 tecnologías vehiculares predefinidas, así como 45 tecnologías adicionales no definidas, lo que proporciona una base para la caracterización de los vehículos según su tecnología. Estas tecnologías están agrupadas y diferenciadas utilizando los siguientes parámetros: tamaño del vehículo, tipo de combustible, uso del vehículo, sistema de entrega de combustible, sistema de control de emisiones evaporativas y sistema/estándar de control de escape (IVE Model Users Manual, 2008).

En el caso de Azogues, se realizó un proceso de categorización y filtrado de los vehículos utilizando estas categorías de clase vehicular y tecnologías (Tabla 3). El modelo IVE clasifica los vehículos según el tipo de combustible, considerando opciones como gasolina, diésel, gas natural comprimido (GNC), eléctricos e híbridos; además, los agrupa por tamaño, desde ligeros (sedanes y compactos) hasta medianos (SUVs) y pesados (camiones y autobuses). Asimismo, diferencia las tecnologías de motor en categorías como convencionales, híbridos y eléctricos. Esta estructura permite evaluar emisiones según las características y el uso de cada vehículo.

Tabla 3 Categorización de vehículos

Parámetro	Categoría	Simbología
Clasificación	Auto/Camioneta	Auto/Sm Truck
	Camión/Bus	Truck/Bus
	Motor pequeño	SmlEng
Combustible	Gasolina	Pt
	Diesel	Ds
	Hibrido	Hybrid
Tamaño del vehículo	Liviano (Cilindraje < 1.5 litros)	Lt
	Mediano (Cilindraje entre 1.5 y 3 litros)	Md
	Pesado (Cilindraje > 3 litros)	Hv
Tecnología	Carburador	Carb
	Monopunto	SgPt FI
	Multipunto	MPFI

Control de escape	2 vías	2-way
	3 vías	3-way
	Mejorada	Improve
Control activo de evaporación	Ventilación positiva del cárter	PCV
	Recirculación de gases de escape	EGR
Kilometraje recorrido	< 79K km	Menor a 79 mil kilómetros
	80 - 161K km	Entre 80 y 161 mil kilómetros
	>161K km	Mayor a 161 mil kilómetros

Con los datos proporcionados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) como base para analizar y filtrar los vehículos registrados en la ciudad de Azogues. A partir de esta información, se realizó un proceso de depuración y categorización para obtener una proyección de las tecnologías predominantes en la flota vehicular de la ciudad. Las categorías de clase vehicular y tecnología utilizadas específicamente para Azogues fueron las que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Caracterización de la flota vehicular

Combustible	Clasificación	Tamaño	Tecnología	Escape	Control de emisiones	Kilometraje	ANT	INEC	%
Hybrid	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI		PCV	<79,000 km	24	36	0.22
Hybrid	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI		PCV	>161,000 km	5	8	0.05
Hybrid	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI		PCV	80,000 - 161,000 km	24	36	0.22
Hybrid	Auto/Sm Truck	Md	MPFI		PCV	>161,000 km	9	14	0.08
Hybrid	Auto/Sm Truck	Md	MPFI		PCV	80,000 - 161,000 km	3	5	0.03
Hybrid	Truck/Bus	Hv	MPFI		PCV	>161,000 km	1	2	0.01
Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	Carb	None	PCV	>161,000 km	1165	1769	10.67

Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	<79,000 km	486	738	4.45
Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	2052	3115	18.79
Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	947	1438	8.68
Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV Y EGR	<79,000 km	202	307	1.85
Gasolina	Auto/Sm Truck	Lt	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	1572	2387	14.40
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	Carb	None	PCV	>161,000 km	260	395	2.38
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	<79,000 km	64	97	0.59
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	1169	1775	10.71
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	370	562	3.39
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV Y EGR	<79,000 km	19	29	0.17
Gasolina	Auto/Sm Truck	Md	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	887	1347	8.13
Gasolina	SmlEng	Lt	2Cyc Carb	None	None	>50,000 km	20	30	0.18
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	None	None	<25,000 km	172	261	1.57
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	None	None	>50,000 km	62	94	0.57
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	None	None	26,000 - 50,000 km	102	155	0.94
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc FI	None	PCV Catalyst	<25,000 km	111	169	1.02
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc FI	None	PCV Catalyst	>50,000 km	25	38	0.23
Gasolina	SmlEng	Lt	4Cyc FI	None	PCV Catalyst	26,000 - 50,000 km	39	59	0.36
Gasolina	Truck/Bus	Hv	Carb	None	PCV	>161,000 km	34	52	0.31

Gasolina	Truck/Bus	Hv	MPFI	3wy	PCV	<79,000 km	1	2	0.01
Gasolina	Truck/Bus	Hv	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	140	213	1.29
Gasolina	Truck/Bus	Hv	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	18	27	0.16
Gasolina	Truck/Bus	Hv	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	85	129	0.78
Gasolina	Truck/Bus	Md	Carb	None	PCV	>161,000 km	26	39	0.24
Gasolina	Truck/Bus	Md	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	90	137	0.83
Gasolina	Truck/Bus	Md	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	6	9	0.05
Gasolina	Truck/Bus	Md	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	43	65	0.39
Diesel	Auto/Sm Truck	Lt	Dir-Inj	None	EGR	<79,000 km	14	21	0.13
Diesel	Auto/Sm Truck	Lt	Dir-Inj	None	EGR	>161,000 km	2	3	0.02
Diesel	Auto/Sm Truck	Lt	Dir-Inj	None	EGR	80,000 - 161,000 km	2	3	0.02
Diesel	Auto/Sm Truck	Lt	Pre-Inj	None	EGR	>161,000 km	1	2	0.01
Diesel	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	None	EGR	<79,000 km	160	243	1.47
Diesel	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	None	EGR	>161,000 km	168	255	1.54
Diesel	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	None	EGR	80,000 - 161,000 km	220	334	2.02
Diesel	Auto/Sm Truck	Md	Pre-Inj	None	EGR	>161,000 km	1	2	0.01
Diesel	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	None	EGR	<79,000 km	21	32	0.19
Diesel	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	None	EGR	>161,000 km	17	26	0.16
Diesel	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	None	EGR	80,000 - 161,000 km	52	79	0.48

Diesel	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	None	EGR	<79,000 km	10	15	0.09
Diesel	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	None	EGR	>161,000 km	2	3	0.02
Diesel	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	None	EGR	80,000 - 161,000 km	9	14	0.08
Diesel	Truck/Bus	Md	Pre-Inj	None	EGR	>161,000 km	2	3	0.02
Suma							10914	16574	100.0 %

Esto nos permitió realizar la caracterización de la flota, asegurando que las especificaciones locales fueran representadas adecuadamente dentro del modelo IVE. De esta manera, la sección de Fleet en el modelo se configuró específicamente para reflejar las condiciones reales de la flota vehicular de Azogues, optimizando los cálculos y proyecciones de emisiones según las tecnologías vehiculares disponibles. Esto es especialmente relevante porque los avances tecnológicos, como catalizadores mejorados o sistemas eléctricos, reducen significativamente la cantidad de contaminantes emitidos.

3.2.2 Condiciones de conducción

Las condiciones de conducción hacen referencia al comportamiento y desempeño de los vehículos bajo diversas circunstancias de manejo, incluyendo variables como velocidad, aceleración, frenado y frecuencia de paradas. Para obtener esta información, se utilizó el equipo de telemetría Geotab GO9, el cual fue instalado en vehículos seleccionados de forma individual. A través de este dispositivo, se recopilaron datos en tiempo real que permitieron analizar el comportamiento de los vehículos durante sus trayectos habituales, sin necesidad de medir una ruta específica.

Gracias al equipo de telemetría, fue posible caracterizar las condiciones de conducción locales en Azogues, reflejando no solo el comportamiento de los vehículos en áreas urbanas y rurales, sino también en diversos tipos de terreno y altitudes.

3.2.3 Variables climáticas

Para el correcto funcionamiento del modelo IVE, fue necesario incluir datos clave relacionados con las condiciones ambientales, como la altitud, la temperatura y la humedad. Estos parámetros influyen directamente en las emisiones vehiculares, ya que afectan la eficiencia de los motores y el comportamiento de los combustibles.

Los datos climáticos esenciales fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, 2013). De acuerdo con el Anuario Meteorológico de 2013, la temperatura promedio en Azogues es de 15°C y la humedad relativa media anual es del 83%.

Además, las coordenadas geográficas de la ciudad, proporcionadas por el atlas de la Prefectura del Cañar, indicaron que Azogues se encuentra a una latitud de -2.740° , longitud de -78.849° y a una elevación de 2.518° metros sobre el nivel del mar.

3.2.4 Calidad de combustible

La calidad del combustible fue un factor clave en la estimación de las emisiones vehiculares, ya que influyó directamente en el proceso de combustión y en la cantidad de contaminantes emitidos al ambiente. Para este estudio, los datos sobre la calidad del combustible utilizado en la ciudad de Azogues fueron proporcionados por el Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles, Aceites y Lubricantes de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (LACBAL). Esta información permitió asegurar una representación adecuada de las condiciones locales, garantizando la precisión en los cálculos de emisiones.

El análisis incluyó parámetros como la composición química de los combustibles y su contenido de azufre, dado que estos factores afectan tanto la eficiencia de los vehículos como la cantidad de gases contaminantes liberados al medio ambiente. En el caso de la gasolina, se utilizó combustible de clase moderada/premezclada con las siguientes características:

- Azufre (S): bajo, con un contenido de 50 ppm.
- Plomo (Pb): ninguno.
- Benceno: bajo, con un contenido de 0.50%.
- Oxigenados: 1%.

Para el diésel, se empleó combustible de clase moderada, caracterizado por:

- Azufre (S): bajo, con un contenido de 50 ppm.

Estas características determinadas a partir de mediciones, aseguraron que los parámetros del combustible estuvieran alineados con las condiciones reales de la región.

3.2.5 Filtrado de datos del GPS

El uso del equipo de telemetría fue fundamental para capturar los patrones de conducción en tiempo real, pero estos datos requirieron procesamiento para corregir errores y asegurar su precisión antes de ser integrados en el modelo IVE. En este estudio, se llevó a cabo un proceso para la extracción, interpolación y preparación de los datos necesarios.

Inicialmente, se accedió a la plataforma Geotab (Fig. 4), donde se almacenaban los datos GPS recopilados en tiempo real por los vehículos. Esta herramienta permitió extraer todos los sensores disponibles, los cuales variaban según el tipo y configuración de cada vehículo. Entre estos datos se incluyeron la velocidad, la aceleración, el estado del motor (encendido/apagado). Los datos fueron interpolados cada segundo para estandarizar la frecuencia. Estas señales resultaron esenciales para determinar el soak time. Este parámetro es fundamental en el modelo IVE, ya que influye en el cálculo de las emisiones durante el arranque en frío.

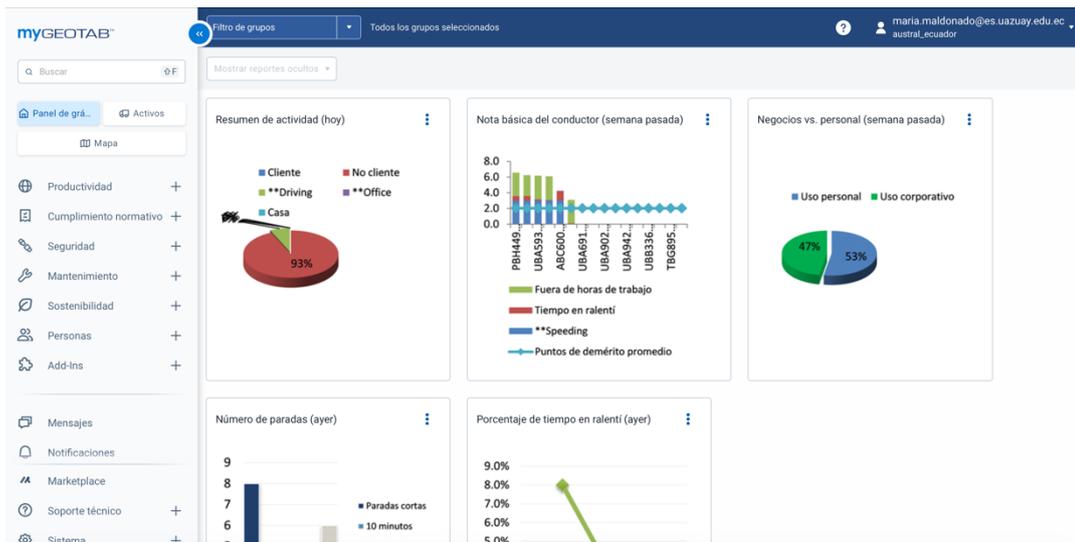


Fig. 4 Interfaz de la plataforma myGeotab

Para complementar los datos de altitud proporcionados por el GPS, se recurrió a un modelo digital del terreno basado en un mapa de la NASA. Esto permitió asignar una altitud de referencia precisa a cada punto de coordenadas registrado (latitud y longitud). Posteriormente, se aplicó un algoritmo de suavización de altitudes y pendientes, utilizando una técnica desarrollada por la Unión Europea, con el fin de corregir irregularidades y mejorar la coherencia de los datos topográficos.

Con todos los datos procesados, calculamos el Vehicle Specific Power (VSP) para cada intervalo de tiempo, un parámetro que refleja la demanda de potencia específica del vehículo según las condiciones de conducción. A continuación, los datos fueron clasificados en bins (categorías de VSP) necesarios para la integración en el software IVE.

3.2.6 Obtención de bins

Los bins en el modelo IVE son intervalos que agrupan diferentes condiciones de operación del vehículo, como la potencia del motor y las características de la conducción, que permiten calcular las emisiones en cada categoría. Para obtener estos bins, es necesario

calcular diversas variables que reflejan el comportamiento dinámico del vehículo, tales como la velocidad, la aceleración, el régimen del motor, la carga del vehículo, las frenadas, las paradas y las distancias recorridas en diferentes intervalos de tiempo. Estas variables permiten clasificar las condiciones de operación del vehículo y estimar las emisiones para cada categoría de funcionamiento.

Una de las variables fundamentales para calcular los bins en el modelo IVE es la Potencia Específica del Vehículo (Vehicle Specific Power o VSP), que mide la potencia que el motor debe entregar por unidad de masa del vehículo para superar resistencias como la fricción del aire, la fricción de la carretera y la pendiente del terreno. La ecuación para calcular la VSP es:

Ecuación 3 Vehicle Specific Power

$$VSP = V[1.1a + 9.81(\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132v + 0.000302V^3]$$

Donde:

VSP = potencia específica del vehículo (kW/ton).

V = la velocidad del vehículo (m/s).

A = la aceleración del vehículo (m/s²).

9.81 = aceleración de la gravedad (m/s²).

Atan = función arco tangente.

Pendiente = ángulo de inclinación de la carretera (en radianes).

0.132 y 0.000302 = son coeficientes que representan la resistencia aerodinámica y la resistencia al avance por la velocidad del vehículo.

Además, se calculó el estrés del motor, que refleja la carga impuesta al motor durante la conducción, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Estrés del motor

$$\text{Estrés del motor} = \text{índice RPM} + \left(\frac{0.08 * TON}{KW} \right) * \text{Potencia Promedio}$$

Donde:

Índice RPM se calcula dividiendo la velocidad del vehículo en $t = 0$ entre un divisor de velocidad, que representa la relación entre la velocidad del motor y la velocidad del vehículo.

Ecuación 5 Índice RPM

$$\text{Índice RPM} = \frac{\text{Velocidad en } t = 0}{\text{Divisor de velocidad}}$$

Potencia Promedio (PP) es el promedio del VSP en un intervalo de tiempo anterior.

Ecuación 6 Potencia Promedio

$$PP = \frac{\sum VSP(t)}{n} \text{ (para } t \text{ entre } -5s \text{ y } -25s)$$

Para calcular la Potencia Promedio (PP), que es el promedio de la Potencia Específica (VSP) en un intervalo de tiempo típico de -5 a -25 segundos, se utiliza la siguiente ecuación:

Donde:

PP = la potencia promedio (kW/ton).

VSP(t) = la potencia específica en cada instante t .

n = número de puntos de datos en ese intervalo.

Estos cálculos permitieron clasificar las condiciones de operación del vehículo en diferentes bins, como los bins de velocidad específica (VSP) y los bins de tiempo de inactividad (Soak time), proporcionando una base para estimar de manera precisa las emisiones vehiculares según el comportamiento dinámico del vehículo. Los bins de velocidad específica (VSP) agrupan las condiciones de operación basadas en la potencia del motor y la velocidad del vehículo, mientras que los bins de tiempo de inactividad reflejan los periodos en los que el vehículo no está en movimiento, lo cual es relevante para calcular las emisiones durante el arranque o la detención.

El modelo IVE clasifica las condiciones de conducción en 60 bins. En este estudio, se calculó la distribución del tiempo que los vehículos operan en cada bin, lo que permitió analizar el comportamiento de conducción predominante en la ciudad de Azogues. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5 donde se detalla el porcentaje de tiempo que los vehículos pasaron en cada bin.

Tabla 5 Bines resultados

Bines [%]					
Bin 0	0.06	Bin22	0.00	Bin44	0.00
Bin 1	0.03	Bin23	0.00	Bin45	0.00
Bin 2	0.04	Bin24	0.00	Bin46	0.00
Bin 3	0.06	Bin25	0.00	Bin47	0.00
Bin 4	0.10	Bin26	0.00	Bin48	0.00
Bin 5	0.16	Bin27	0.01	Bin49	0.00
Bin6	0.29	Bin28	0.01	Bin50	0.00
Bin7	0.54	Bin29	0.02	Bin51	0.00
Bin8	1.21	Bin30	0.03	Bin52	0.00
Bin9	2.86	Bin31	0.05	Bin53	0.00
Bin10	7.23	Bin32	0.07	Bin54	0.00
Bin11	49.73	Bin33	0.11	Bin55	0.00
Bin12	18.07	Bin34	0.16	Bin56	0.01
Bin13	10.02	Bin35	0.63	Bin57	0.01
Bin14	5.20	Bin36	0.68	Bin58	0.01
Bin15	1.65	Bin37	0.27	Bin59	0.01
Bin16	0.24	Bin38	0.12		
Bin17	0.10	Bin39	0.11		
Bin18	0.05	Bin40	0.00		
Bin19	0.06	Bin41	0.00		
Bin20	0.00	Bin42	0.00		
Bin21	0.00	Bin43	0.00		

Los resultados revelan que los bins más utilizados corresponden a condiciones de conducción a velocidad constante, en terrenos planos o con ligeras pendientes. Por el contrario, los bins asociados con aceleraciones altas o pendientes pronunciadas tuvieron una menor

participación en el tiempo total, lo que es consistente con el perfil de conducción típico de la región.

Particularmente, Bin 11 y Bin 12 destacan como los rangos en los que los vehículos pasan la mayor parte del tiempo, lo cual sugiere una prevalencia de velocidades constantes moderadas en el área de estudio. En contraste, los bins Bin 36 y Bin 35, que representan condiciones de aceleración más intensa o pendientes pronunciadas, registraron un menor tiempo operativo, lo que indica que estas situaciones son menos comunes en las condiciones de conducción locales. (Fig. 5)

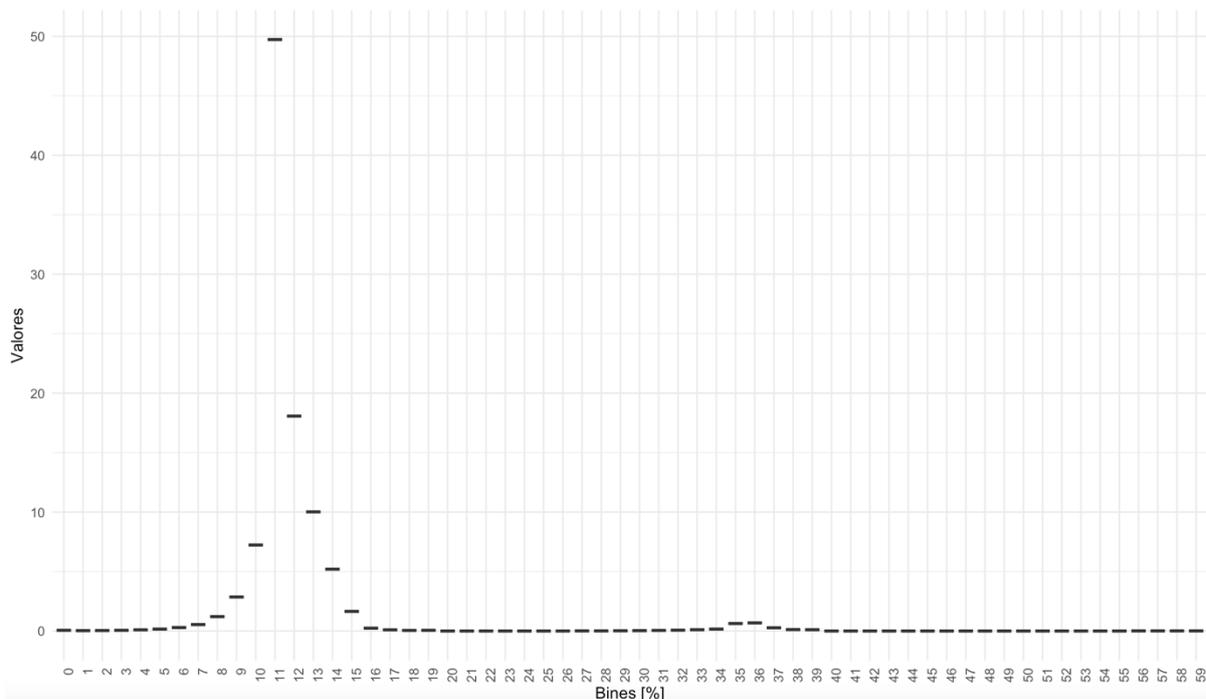


Fig. 5 Diagrama de caja y bigotes de los Bines

3.2.7 Soak time

El soak time se refiere al período de tiempo que un vehículo permanece apagado entre dos operaciones consecutivas. La Tabla 6 presentada muestra los resultados del Soak Time en porcentaje (%) para distintos intervalos de tiempo, desde 15 minutos hasta 18 horas. El análisis revela que la mayor concentración de eventos de Soak Time ocurre en el intervalo de 15 minutos, con un promedio de 34.92%. A medida que el Soak Time aumenta, este valor disminuye considerablemente, alcanzando su punto más bajo en el intervalo de 4 horas

(2.73%). Sin embargo, se observa un ligero incremento en los promedios para los intervalos de 12 y 18 horas, lo cual podría estar relacionado con patrones de uso específicos, como paradas prolongadas o períodos nocturnos de inactividad.

Tabla 6 Soak time

Bin	Soak Time (%)									
	15min	30 min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	12h	18h
Promedio	34.92	8.52	11.04	11.18	5.72	2.73	3.85	1.90	9.04	11.08
Mediana	37.50	6.25	9.09	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.55	0.00
Primer cuartil	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tercer cuartil	50.00	15.79	16.67	18.18	9.52	0.00	0.00	0.00	12.50	14.29
Desviación estándar	21.10	10.03	12.80	12.37	9.16	6.33	9.84	6.35	13.03	18.70
Intervalo de confianza	2.18	1.03	1.32	1.28	0.94	0.65	1.02	0.66	1.34	1.93

La mediana indica el valor central de los datos, divide los eventos de Soak Time en dos grupos iguales: la mitad de los vehículos tiene un tiempo menor o igual a la mediana, y la otra mitad tiene un tiempo mayor. Para tiempos cortos como 15 minutos, la mediana es 37.50%, lo que significa que el 50% de los vehículos no superan ese tiempo de apagado. En los intervalos más largos, como a partir de las 3 horas, la mediana es 0%, lo que indica que la mayoría de los vehículos no permanecen apagados por tanto tiempo.

En cuanto a los cuartiles, se observa una gran variabilidad en los tiempos más cortos (de 15 minutos a 2 horas), mientras que, en los intervalos más largos, los cuartiles permanecen bajos, lo que confirma que los tiempos prolongados de apagado son menos frecuentes.

La desviación estándar es más alta en los intervalos de 15 minutos (21.10%) y en los tiempos prolongados de 12 y 18 horas (13.03% y 18.70%, respectivamente), lo que sugiere una mayor dispersión en estos rangos. Esto indica que algunos vehículos tienen apagados mucho más prolongados que otros en estos períodos.

Finalmente, los intervalos de confianza son reducidos, lo que indica que los promedios calculados son confiables, especialmente en los intervalos intermedios de 1 a 6 horas, donde la variabilidad es menor.

4. Resultados

Mediante los cálculos del modelo IVE se obtuvieron los valores de las masas de diversos gases contaminantes en kilogramos (kg). La Tabla 7 muestra las cantidades totales de cada gas emitido y su porcentaje correspondiente respecto al total de emisiones.

Tabla 7 Masa de contaminantes

Masa de contaminantes [kg]			
Gases Contaminantes	Simbología	Resultados	%
Monóxido de carbono	CO	11037.19	7.53%
Óxidos de nitrógeno	NoX	640.56	0.44%
Material Particulado	PM	29.09	0.02%
Dióxido de carbono	CO ₂	133904.8	91.39%
Óxido nitroso	N ₂ O	3.47	0.00%
Metano	CH ₄	155.81	0.11%
Compuestos orgánicos volátiles	COV	743.3	0.51%
Óxidos de azufre	Sox	2.36	0.00%
	Total	146516.58	100.00%

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas con la mayor contribución, representando el 91.39% del total de emisiones con 133904.8 kg, lo que destaca su impacto como principal gas de efecto invernadero en este análisis. Le sigue el monóxido de carbono (CO), con 11037.19 kg, lo que representa un 7.53% del total, siendo uno de los gases tóxicos clave en las emisiones vehiculares.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) suman 640.56 kg, equivalentes al 0.44%, y aunque su proporción es menor, son importantes por su contribución a la formación de ozono troposférico y lluvia ácida.

El material particulado (PM) tiene una contribución relativamente baja, con 29.09 kg (0.02%), al igual que el metano (CH₄) con 155.81 kg (0.11%) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), que representan el 0.51% del total con 743.3 kg.

Finalmente, las emisiones de óxido nitroso (N₂O) y óxidos de azufre (SO_x) son muy bajas, con 3.47 kg y 2.36 kg respectivamente, ambas con un porcentaje cercano al 0%. A pesar de su baja cantidad, estos gases tienen efectos importantes en el cambio climático (N₂O) y la calidad del aire (SO_x).

En conjunto, el total de las emisiones calculadas es de 146516.58 kg, con una clara predominancia del CO₂ como el principal componente de las emisiones vehiculares.

Además del análisis total de emisiones, se realizó un cálculo detallado de la masa de contaminantes por cada tipo de flota vehicular permitiendo desagregar las contribuciones individuales de cada grupo de vehículos. Este enfoque facilita la identificación de las flotas con mayor impacto ambiental y la priorización de acciones específicas para reducir sus emisiones.

En la Tabla 8 se presenta la descripción de los códigos de IVE utilizados en el estudio, los cuales son fundamentales para interpretar los datos específicos de cada flota.

Tabla 8 Códigos de IVE por flota vehicular

Código IVE	Descripción de flotas	Código IVE	Descripción de flotas
2	Pt: Auto/SmTk : Lt : Carb : None : PCV : >161K km	761	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km
5	Pt: Auto/SmTk : Med : Carb : None : PCV : >161K km	833	Pt: Tk/Bus : Med : Carb : None : PCV : >161K km
65	Pt: Auto/SmTk : Lt : SgPt FI : 2Wy : PCV : >161K km	836	Pt: Tk/Bus : Hv : Carb : None : PCV : >161K km
68	Pt: Auto/SmTk : Med : SgPt FI : 2Wy : PCV : >161K km	887	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 2Wy : PCV : >161K km
117	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: 3Wy : PCV : <79K km	890	Pt: Tk/Bus : Hv : FI : 2Wy : PCV : >161K km
118	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: 3Wy : PCV : 80-161K km	904	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 3Wy : PCV : 80-161K km
119	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: 3Wy : PCV : >161K km	905	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 3Wy : PCV : >161K km
120	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy : PCV : <79K km	906	Pt: Tk/Bus : Hv : FI : 3Wy : PCV : <79K km

121	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy : PCV : 80-161K km	907	Pt: Tk/Bus : Hv : FI : 3Wy : PCV : 80- 161K km
122	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy : PCV : >161K km	1076	Ds: Tk/Bus : Med : Pre-Inj : None : None : >161K km
126	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: 3Wy/EGR : PCV : <79K km	1092	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km
129	Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy/EGR : PCV : <79K km	1093	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km
729	Et: Auto/SmTk : Lt : FI : Hybrid : PCV/Tank : <79K km	1094	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km
730	Et: Auto/SmTk : Lt : FI : Hybrid : PCV/Tank : 80-161K km	1095	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km
731	Et: Auto/SmTk : Lt : FI : Hybrid : PCV/Tank : >161K km	1096	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km
733	Et: Auto/SmTk : Med : FI : Hybrid : PCV/Tank : 80-161K km	1097	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km
734	Et: Auto/SmTk : Med : FI : Hybrid : PCV/Tank : >161K km	1162	Ds: Tk/Bus : Lt : FI : Hybrid : None : 80- 161K km
743	Ds: Auto/SmTk : Med : Pre-Inj : None : None : >161K km	1172	Pt: SmlEng : Lt : 2Cyc : None : None: >50K km
749	Ds: Auto/SmTk : Lt : Pre-Inj : Improved : None : >161K km	1206	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc Carb : None : None: <25K km
756	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	1207	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc Carb : None : None: 26-50K km
757	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	1208	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc Carb : None : None: >50K km
758	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	1242	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc FI : Catalyst : PCV: <25K km
759	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	1243	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc FI : Catalyst : PCV: 26-50K km
760	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	1244	Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc FI : Catalyst : PCV: >50K km

A continuación, en la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos, detallando la masa de contaminantes emitidos por cada flota vehicular. Este desglose permite observar las diferencias en las emisiones de cada contaminante según el tipo de flota, destacando las principales fuentes de emisión en el parque vehicular analizado.

Tabla 9 Masa de contaminantes por flota vehicular

Masa de contaminantes por flota									
Código IVE	%	CO	VOC	NOx	SOx	PM	CO2	N2O	CH4
2	0.11	3941.8	384.45	120.79	0.3	0.44	14199	0.03	81.8
5	0.02	879.24	85.75	26.94	0.08	0.12	3855.04	0.02	18.25
65	0.14	834.4	35.3	139.26	0.31	0.6	17241.23	0.29	7.74
68	0.08	897.7	19.93	78.63	0.21	0.42	11195.23	0.54	4.37
117	0.04	30.44	1.19	6.07	0.09	0.08	5237.65	0.07	0.36
118	0.09	141.4	6.62	18.45	0.17	0.16	10095.88	0.16	1.89
119	0.19	1081.82	33.4	59.97	0.38	0.78	20946.24	0.38	7.1

120	0.01	4.04	0.18	1.62	0.02	0.01	878.91	0.03	0.05
121	0.03	122.26	3.59	12.94	0.09	0.06	4907.73	0.2	1.03
122	0.11	971.65	31.25	52.08	0.27	0.55	14829.63	0.71	6.64
126	0.02	12.66	0.49	1.77	0.04	0.03	2177.45	0.03	0.15
129	0	1.16	0.05	0.33	0	0	253.24	0.01	0.02
729	0	1.34	0.01	0.07	0	0	166.19	0	0
730	0	4.16	0.04	0.16	0	0	163.72	0.01	0.02
731	0	1.91	0.02	0.07	0	0	36.36	0	0.01
733	0	0.57	0.01	0.04	0	0	26.89	0	0
734	0	3.08	0.05	0.17	0	0	70.34	0.01	0.02
743	0	0.19	0.09	0.09	0	0.04	14.12	0	0
749	0	0.06	0.04	0.08	0	0.03	11.72	0	0
756	0	0.4	0.17	0.61	0	0.15	110.94	0	0
757	0	0.08	0.04	0.11	0	0.03	16.99	0	0
758	0	0.1	0.06	0.12	0	0.06	16.86	0	0
759	0.01	4.81	2.11	6.2	0.02	1.7	1928.61	0.01	0
760	0.02	7.53	4	9.53	0.03	3.02	2644.68	0.01	0
761	0.02	6.8	4.3	8.42	0.02	5.66	2007.13	0.01	0
833	0	568.61	17.22	8.97	0.02	0.14	638.74	0.01	3.66
836	0	881.82	26.7	13.77	0.02	0.19	816.55	0.01	5.68
887	0	37.1	1.55	8.77	0.02	0.24	1308.55	0.08	0.33
890	0.01	86.74	3.62	20.51	0.06	0.47	3159.7	0.26	0.78
904	0	3.24	0.12	0.09	0	0.01	169.94	0.01	0.03
905	0.01	65.83	2.67	1.67	0.05	0.5	2805.29	0.16	0.56
906	0.01	85.52	2.78	2.32	0.09	0.28	5307.97	0.34	0.61
907	0	12.23	0.44	0.33	0.01	0.03	656.12	0.05	0.1
1076	0	2.5	0.42	1.59	0	0.28	74.19	0	0
1092	0	1.8	0.44	2	0	0.26	306.15	0	0
1093	0	1.66	0.4	1.78	0	0.47	271.93	0	0
1094	0	0.44	0.1	0.45	0	0.23	67.89	0	0
1095	0	6.36	1.04	6.63	0.01	0.66	981.33	0.01	0
1096	0	16.33	2.69	16.84	0.02	3.36	2477.74	0.02	0
1097	0	5.57	0.93	5.66	0.01	5.83	822.53	0.01	0
1162	0	0.04	0.01	0.01	0	0.01	19.96	0	0
1172	0	35.82	15.52	0.05	0	0.35	16.16	0	3.3
1206	0.02	115.8	22.13	1.71	0	0.74	304.56	0	4.47
1207	0.01	84.01	16.23	1.28	0	0.55	192.53	0	3.35
1208	0.01	61.78	12.2	0.99	0	0.43	122.81	0	2.6
1242	0.01	7.93	1.59	0.36	0	0.07	212.5	0	0.49
1243	0	3.56	0.72	0.17	0	0.03	82.01	0	0.22
1244	0	2.89	0.59	0.14	0	0.03	57.88	0	0.19

El análisis detallado de la masa de contaminantes generados por las distintas flotas vehiculares de la ciudad de Azogues permite identificar los grupos con mayores contribuciones al impacto ambiental y los principales contaminantes asociados.

En el caso de la flota vehicular analizada, el código 119, correspondiente a vehículos ligeros con tecnología MPFI y un kilometraje menor a 79,000 km, sobresale como el mayor emisor. Este grupo representa una proporción significativa de las emisiones totales, siendo responsable de 20,946.24 kg de dióxido de carbono (CO_2), posicionándose como el principal contribuyente al calentamiento global dentro del inventario. Además, genera 1,081.82 kg de monóxido de carbono (CO) y 59.97 kg de óxidos de nitrógeno (NO_x), lo que refleja su contribución directa a problemas locales de calidad del aire y salud pública.

El código 2, que agrupa vehículos más antiguos con kilometraje superior a 161,000 km y tecnología carburada, se ubica como el segundo mayor emisor, con 14,199.00 kg de CO_2 y destacándose como la fuente más importante de CO (3,941.80 kg) y compuestos orgánicos volátiles (COV, 384.45 kg). Estos contaminantes contribuyen al desarrollo de ozono troposférico y otros efectos adversos en la atmósfera.

Por su parte, el código 68, que incluye vehículos medianos con sistema de inyección indirecta y más de 161,000 km de recorrido, ocupa el tercer lugar en términos de emisiones de CO_2 (11,195.23 kg). También se registra como un importante emisor de CO (897.70 kg) y óxido nitroso (N_2O , 0.54 kg), este último siendo un gas con un potencial de calentamiento global 298 veces superior al CO_2 .

En cuanto a contaminantes secundarios, se observó que el material particulado (PM) es liderado por el código 118, correspondiente a vehículos con recorridos entre 80,000 y 161,000 km, con una emisión de 0.17 kg. Este contaminante es particularmente relevante por su impacto directo en la salud respiratoria de las poblaciones expuestas. Por otro lado, las mayores emisiones de óxidos de azufre (SO_x) corresponden al código 729, que agrupa vehículos

híbridos, con 0.07 kg de SO_x. Aunque este grupo tiene menores emisiones en otros contaminantes, su aporte en este parámetro indica la necesidad de evaluar estas tecnologías de

manera integral. Además, el código 68 destaca como el mayor emisor de N₂O, con 0.54 kg, lo que resalta la importancia de un manejo específico para este tipo de vehículos.

Finalmente, las flotas con menores contribuciones incluyen los códigos 1097, 1162 y 1244, que representan menos del 0.1% del total de emisiones. Estas flotas tienen una participación marginal en los contaminantes clave y son menos prioritarias en términos de mitigación ambiental.

4.1 Resultados de factores de emisión

A partir de los cálculos realizados, se determinaron los factores de emisión (FE) (Tabla 7) para diversos gases contaminantes, los cuales representan las cantidades emitidas por un vehículo promedio por kilómetro recorrido en un día. Este análisis se realizó considerando una distancia total de 51,219,402 kilómetros recorridos. Los resultados muestran que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas emitido, con un factor de emisión de 261.434 g/km, seguido por el monóxido de carbono (CO), con 21.549 g/km, y los compuestos orgánicos volátiles (COV), con 1.451 g/km.

Otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x), el metano (CH₄), el material particulado (PM), el óxido nitroso (N₂O) y los óxidos de azufre (SO_x) presentan factores de emisión menores, pero no menos importantes por su impacto en la calidad del aire y el cambio climático. Estos resultados destacan la necesidad de mitigar las emisiones vehiculares mediante políticas de movilidad sostenible y estrategias de control ambiental.

Tabla 10 Factores de emisión (FE)

Factores de emisión [gr/km]			
Gases Contaminantes	Simbología	Resultados [gr]	Factor de emision [gr/km]
Monóxido de carbono	CO	11037190	21.54884588
Óxidos de nitrógeno	NoX	640560	1.250619833
Material Particulado	PM	29090	0.056794884
Dióxido de carbono	CO2	133904800	261.4337434
Óxido nitroso	N2O	3470	0.006774776
Metano	CH4	155810	0.304201131
Compuestos orgánicos volátiles	COV	743300	1.451207884
Óxidos de azufre	Sox	2360	0.004607629
Distancia [km]		512194.02	

A continuación, se presenta un análisis detallado de los factores de emisión (FE) desagregados por flota vehicular, los cuales se encuentran resumidos en la Tabla 11. Este enfoque permite identificar las diferencias en las emisiones por kilómetro recorrido según las características tecnológicas, de uso y antigüedad de cada grupo de vehículos.

Tabla 11 Factor de emisión por flota [Gr/km]

Código IVE	%	Factor de emisión por flota [gr/km]							
		CO	VOC	NOx	SOx	PM	CO2	N2O	CH4
2	0.11	72.13	7.03	2.21	0.01	0.01	259.81	0	1.5
5	0.02	72.13	7.03	2.21	0.01	0.01	316.24	0	1.5
65	0.14	11.31	0.48	1.89	0	0.01	233.76	0	0.1
68	0.08	21.56	0.48	1.89	0.01	0.01	268.85	0.01	0.1
117	0.04	1.34	0.05	0.27	0	0	229.8	0	0.02
118	0.09	3.18	0.15	0.41	0	0	227.09	0	0.04
119	0.19	11.24	0.35	0.62	0	0.01	217.64	0	0.07
120	0.01	1.34	0.06	0.54	0	0	290.84	0.01	0.02
121	0.03	7.04	0.21	0.75	0	0	282.65	0.01	0.06
122	0.11	17.71	0.57	0.95	0	0.01	270.34	0.01	0.12
126	0.02	1.34	0.05	0.19	0	0	229.8	0	0.02
129	0	1.34	0.06	0.37	0	0	290.84	0.01	0.02
729	0	1.19	0.01	0.06	0	0	147.49	0	0
730	0	3.69	0.04	0.14	0	0	145.29	0	0.02
731	0	7.47	0.09	0.27	0	0.01	141.98	0.01	0.04

733	0	3.72	0.05	0.23	0	0	174.97	0.02	0.02
734	0	7.51	0.12	0.41	0	0.01	171.65	0.02	0.05
743	0	3.8	1.84	1.67	0	0.72	275.6	0	0
749	0	1.22	0.77	1.52	0	0.6	228.92	0	0
756	0	0.6	0.26	0.91	0	0.23	166.61	0	0
757	0	0.75	0.4	1.03	0	0.29	165.88	0	0
758	0	0.98	0.61	1.21	0	0.6	164.55	0	0
759	0.01	0.64	0.28	0.82	0	0.23	256.15	0	0
760	0.02	0.73	0.39	0.92	0	0.29	255.62	0	0
761	0.02	0.86	0.55	1.07	0	0.72	254.46	0	0
833	0	462.56	14.01	7.3	0.01	0.12	519.61	0	2.98
836	0	555.37	16.82	8.67	0.01	0.12	514.26	0.01	3.58
887	0	18.57	0.78	4.39	0.01	0.12	655.07	0.04	0.17
890	0.01	21.71	0.91	5.13	0.01	0.12	790.89	0.07	0.19
904	0	12.64	0.46	0.34	0.01	0.04	663.58	0.03	0.1
905	0.01	15.49	0.63	0.39	0.01	0.12	659.88	0.04	0.13
906	0.01	12.94	0.42	0.35	0.01	0.04	803.35	0.05	0.09
907	0	14.93	0.54	0.4	0.01	0.04	800.62	0.06	0.12
1076	0	24.44	4.06	15.5	0.01	2.78	724.19	0	0
1092	0	3.91	0.96	4.34	0.01	0.57	664.15	0	0
1093	0	4.05	0.97	4.35	0.01	1.14	663.64	0	0
1094	0	4.26	1	4.36	0.01	2.22	662.72	0	0
1095	0	6.54	1.07	6.81	0.01	0.68	1008.38	0.01	0
1096	0	6.64	1.1	6.85	0.01	1.36	1007.81	0.01	0
1097	0	6.8	1.13	6.91	0.01	7.11	1003.69	0.01	0
1162	0	0.77	0.25	0.24	0	0.11	389.73	0.02	0
1172	0	38.85	16.83	0.05	0	0.38	17.53	0	3.58
1206	0.02	14.4	2.75	0.21	0	0.09	37.87	0	0.56
1207	0.01	17.45	3.37	0.27	0	0.11	39.99	0	0.69
1208	0.01	21.16	4.18	0.34	0	0.15	42.07	0	0.89
1242	0.01	1.52	0.31	0.07	0	0.01	40.67	0	0.09
1243	0	1.93	0.39	0.09	0	0.02	44.47	0	0.12
1244	0	2.45	0.5	0.12	0	0.02	49.13	0	0.16

El análisis de la tabla revela que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas emitido por la flota vehicular, con factores de emisión que varían ampliamente, destacando vehículos como los de los códigos 129 (Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy/EGR : PCV : <79K km) y 1207 (Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc Carb : None : None: 26-50K km) por sus elevadas emisiones. Le siguen el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), que también muestran variabilidad, especialmente en los códigos 2 (Pt: Auto/SmTk : Lt : Carb : None : PCV

: >161K km) y 117 (Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI: 3Wy : PCV : <79K km). Aunque las emisiones de NO_x, CH₄, PM, N₂O y SO_x son menores, siguen siendo relevantes por su impacto ambiental y en la salud pública

5. Discusión

Los resultados obtenidos mediante el modelo IVE en este estudio destacan que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal contaminante emitido por la flota vehicular, representando el 91.39% del total de emisiones, lo que equivale a 133,904.8 kg. Este dato es crucial, ya que el CO₂ es uno de los principales gases responsables del cambio climático. Al comparar estos resultados con el estudio de Peñafiel (2019), donde el CO₂ constituye el 94% de las emisiones, se reafirma que este gas es el contaminante más significativo en ambas investigaciones. La reducción de las emisiones de CO₂ es, por lo tanto, un objetivo clave, que se puede abordar mediante políticas de movilidad sostenible, como la promoción de vehículos eléctricos o híbridos, el fortalecimiento del transporte público y el fomento de alternativas como el uso de bicicletas.

El monóxido de carbono (CO) también es significativo en ambos estudios, representando el 7.53% de las emisiones en este análisis, con 11,037.19 kg, y el 5.1% en el estudio de Peñafiel. Aunque en menor proporción que el CO₂, el CO es un gas tóxico que puede generar graves problemas de salud, particularmente en áreas urbanas con alta densidad de tráfico. La exposición prolongada al CO puede causar dificultades respiratorias, mareos e incluso intoxicaciones severas. Por ello, las políticas de control de emisiones deben priorizar la reducción del CO, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas, mediante mejoras en la regulación y la inspección técnica vehicular.

En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), estos contaminantes tienen un impacto ambiental significativo a pesar de representar menores porcentajes en este estudio (0.44% y 0.51%, respectivamente). Los NO_x contribuyen a la formación de ozono troposférico y smog, afectando la calidad del aire y la salud respiratoria. En el estudio de Peñafiel, los NO_x y COV tienen un peso mayor, con un 7.5% y 5.8% del total, lo que puede deberse a diferencias en la composición del parque automotor o en las

metodologías de recolección de datos. No obstante, ambos estudios coinciden en la necesidad de controlar estos contaminantes debido a su papel en la contaminación atmosférica y en la formación de ozono.

El material particulado (PM), aunque representa solo el 0.02% de las emisiones en este estudio, es un contaminante crítico para la salud, ya que las partículas finas pueden penetrar profundamente en los pulmones, agravando condiciones respiratorias crónicas como el asma. En el estudio de Peñafiel, el PM10 también tiene una presencia reducida (2.7%), pero igualmente se subraya la importancia de su control debido a sus efectos nocivos para la salud.

En términos de factores de emisión, los resultados de este estudio muestran que el CO₂ tiene el factor de emisión más alto, con 261.43 g/km. Este valor es similar al hallado en el estudio de Peñafiel, donde el CO₂ también muestra una proporción desproporcionadamente alta en comparación con otros contaminantes. Además, el factor de emisión del CO es de 21.55 g/km, mientras que el de los NO_x es de 1.25 g/km, lo que indica la necesidad de acciones específicas para reducir las emisiones de estos contaminantes, especialmente en áreas con alta concentración de vehículos. En ambos estudios, los factores de emisión refuerzan la necesidad de implementar estrategias que mejoren la eficiencia del combustible y promuevan tecnologías más limpias en el transporte.

En general, los resultados obtenidos en este estudio evidencian que las flotas con mayores emisiones están asociadas tanto a vehículos de tecnologías menos avanzadas como a aquellos que, pese a ser más pequeños o modernos, presentan una alta actividad o uso intensivo. Este hallazgo subraya la necesidad de priorizar acciones de mitigación dirigidas a las flotas con mayor impacto, tales como las asociadas a los códigos 120 (Pt: Auto/SmTk : Med : MPFI: 3Wy : PCV : <79K km), 2 (Pt: Auto/SmTk : Lt : Carb : None : PCV : >161K km), y 68 (Pt: Auto/SmTk : Med : SgPt FI : 2Wy : PCV : >161K km).

El código 120 corresponde a vehículos pequeños a gasolina con inyección multipunto, catalizador de tres vías y tecnología PCV, con un kilometraje inferior a 79,000 km. Aunque estos vehículos cuentan con tecnologías más modernas, su alta actividad contribuye significativamente a las emisiones, representando el mayor porcentaje de emisiones totales. En

particular, los vehículos de este código son responsables de una notable emisión de dióxido de carbono (CO₂) y otros contaminantes, lo que resalta la importancia de controlar su uso intensivo y promover alternativas más sostenibles.

El código 2 agrupa vehículos livianos a carburador, sin tecnología avanzada en el sistema de escape y con un kilometraje superior a 161,000 km. La falta de sistemas de control de emisiones en estos vehículos resulta en la liberación de altos niveles de contaminantes como monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Este grupo de vehículos, debido a su antigüedad y la ausencia de tecnologías de reducción de emisiones, es una de las principales fuentes de contaminación en la ciudad.

Por último, el código 68 corresponde a vehículos medianos a gasolina con inyección monopunto, catalizador de dos vías y tecnología PCV, con un kilometraje superior a 161,000 km. A pesar de contar con tecnologías relativamente modernas, su antigüedad y el alto kilometraje contribuyen significativamente a las emisiones, particularmente de CO₂ y NO_x. Estas características hacen que esta flota tenga una participación destacada en las emisiones totales de la ciudad.

6. Conclusiones

En conclusión, los resultados obtenidos en esta investigación destacan la relevancia de las emisiones vehiculares en Azogues, con un claro predominio del dióxido de carbono (CO₂), que constituye el **91.39%** del total de emisiones. Aunque el CO₂ es el principal responsable del cambio climático, otros contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), también representan una amenaza significativa para la calidad del aire y la salud pública. A pesar de que algunas tecnologías vehiculares han mejorado, la alta actividad y la antigüedad de ciertos grupos de vehículos siguen siendo factores críticos que contribuyen a las emisiones, lo que subraya la necesidad de enfocar las políticas de mitigación en estas flotas más contaminantes.

El análisis de los factores de emisión refleja la importancia de implementar medidas para optimizar la eficiencia energética de los vehículos y fomentar el uso de tecnologías más

limpias. En particular, las flotas que presentan mayores niveles de emisión, como las asociadas a los códigos 120, 2 y 68, deben ser priorizadas para un control más riguroso, buscando reducir tanto las emisiones globales como las locales. Además, la antigüedad y falta de regulación sobre las emisiones de vehículos más antiguos resalta la urgencia de promover políticas de renovación vehicular, así como la adopción de estándares más estrictos en las inspecciones técnicas y el mantenimiento regular de los vehículos.

Por lo tanto, es crucial que las autoridades locales adopten una estrategia integral que contemple tanto la mejora del parque automotor como la promoción de modos de transporte más sostenibles, como el uso de vehículos eléctricos y el fortalecimiento del transporte público. La implementación de estas estrategias no solo contribuirá a reducir las emisiones de gases contaminantes, sino también a mejorar la calidad del aire y la salud pública a largo plazo en la ciudad.

7. Referencias

Agencia Nacional de Tránsito – Ecuador. (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from <https://www.ant.gob.ec/>

Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Giraldo, L. (2005). *ESTIMACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES PERTINENTES.*

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/5cd8bc18-254d-431d-b8cb-901b635a07ba/content>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI. (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from <https://www.inamhi.gob.ec/>

IVE Model Users Manual . (2008, May).

<http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual.pdf>

Ministerio de Energía y Minas – Ecuador. (2022). <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, velará por un ambiente sano y el respeto de los derechos de la naturaleza o pacha mama. (n.d.). Retrieved November 23, 2024, from

<https://www.ambiente.gob.ec/>

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático . (1995).

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Pareja, A., Hinojosa, M., & Luján, M. (2012). Inventario de Emisiones Atmosféricas

Contaminantes de la Ciudad de Cochabamba, Bolivia, año 2008. *Acta Nova*, 5(3), 344–

373. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-

[07892012000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Peñañiel Urgilés, M. G. (2019). *Estimación de un inventario de emisiones de fuentes móviles*

terrestres para la ciudad de Azogues aplicando el Modelo Internacional de Emisiones

Vehiculares. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8894>

Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2024). *Balance Energético*

Nacional 2023: Capítulo 4. [https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-](https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-cap_4.pdf)

[content/uploads/2024/08/BEN_2023-cap_4.pdf](https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-cap_4.pdf)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (n.d.). *Censo Ecuador*,

<https://geo.cepal.org/censo-ecuador/>

Sánchez Chasipanta, L. V (2024) *Análisis de concentración de emisiones gaseosas*

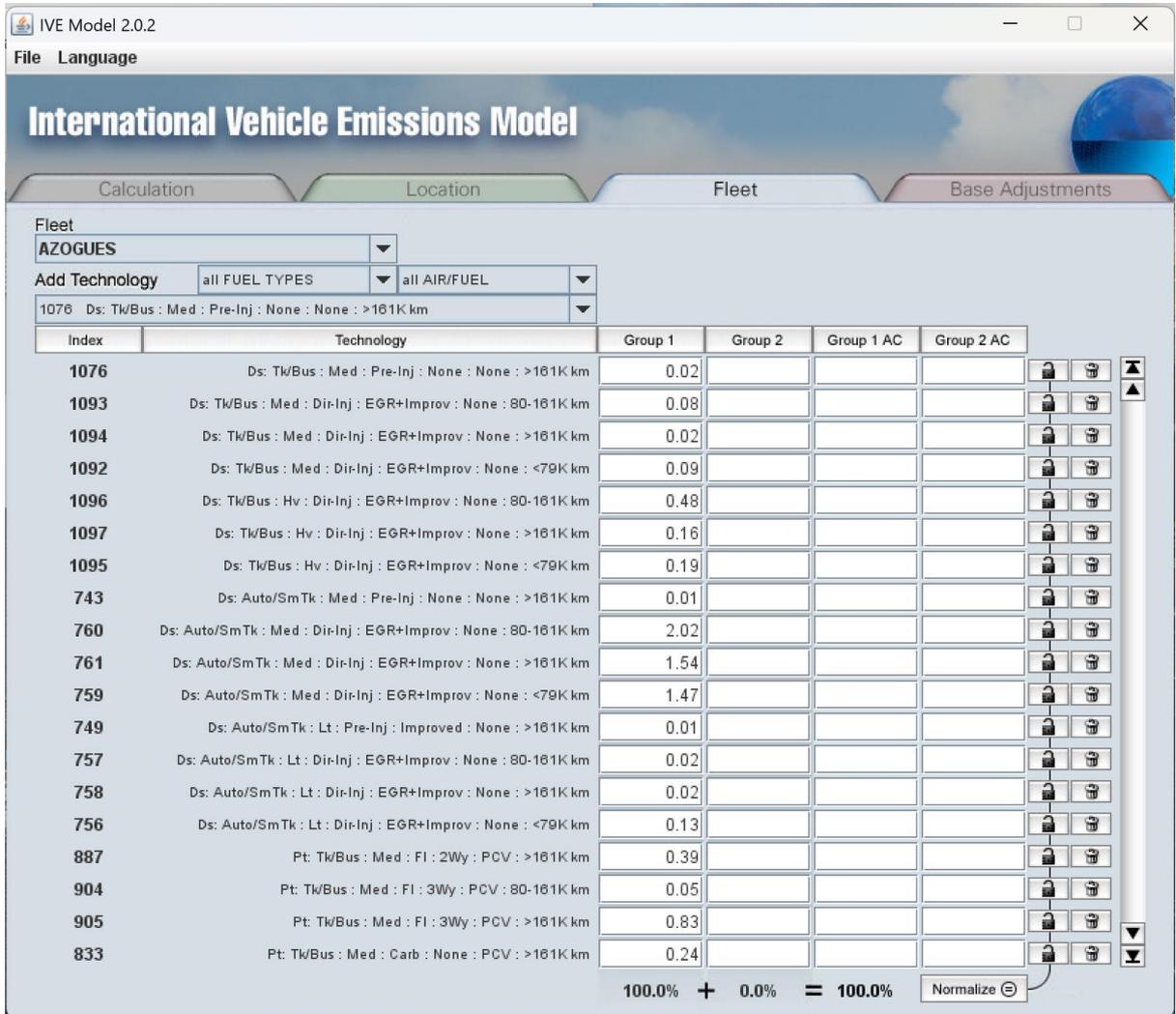
vehiculares mediante el modelo IVE en el cantón Chambo. Sanchez

Luis.,(2024) Análisis de concentración de emisiones gaseosas vehiculares mediante el modelo IVE (1).pdf

Ortuya, N. (2023). ¿Cuáles son los gases contaminantes que emiten los vehículos? *Autofact*

Perú, <https://www.autofact.pe/blog/comprar-auto/caracteristicas/gases-vehiculos>

8. Anexos



The screenshot shows the 'International Vehicle Emissions Model' software interface. The 'Fleet' tab is active, displaying a table of vehicle technologies and their emission factors. The fleet is named 'AZOGUES'. The table includes columns for Index, Technology, Group 1, Group 2, Group 1 AC, and Group 2 AC. The total emission factor for the fleet is shown as 100.0%.

Index	Technology	Group 1	Group 2	Group 1 AC	Group 2 AC
1076	Ds: Tk/Bus : Med : Pre-Inj : None : None : >161K km	0.02			
1093	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	0.08			
1094	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	0.02			
1092	Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	0.09			
1096	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	0.48			
1097	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	0.16			
1095	Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	0.19			
743	Ds: Auto/SmTk : Med : Pre-Inj : None : None : >161K km	0.01			
760	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	2.02			
761	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	1.54			
759	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	1.47			
749	Ds: Auto/SmTk : Lt : Pre-Inj : Improved : None : >161K km	0.01			
757	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	0.02			
758	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	0.02			
756	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	0.13			
887	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 2Wy : PCV : >161K km	0.39			
904	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 3Wy : PCV : 80-161K km	0.05			
905	Pt: Tk/Bus : Med : FI : 3Wy : PCV : >161K km	0.83			
833	Pt: Tk/Bus : Med : Carb : None : PCV : >161K km	0.24			

100.0% + 0.0% = 100.0% Normalize

Anexo 1 Flota vehicular de Azogues aplicada en IVE

IVE Model 2.0.2

File Language

International Vehicle Emissions Model

Calculation Location Fleet Base Adjustments

Location: AZOGUES LOCATION
 Fleet: AZOGUES
 Base Adjustment: - none -

Day: 23, Month: November, Year: 2024
 Day of the week: Saturday, Altitude: 2518.0 meters, I/M Class: none

A/C Use at 27°C (80°F): 18.0%
 Road Grade: 0.1%

Fuel Characteristics

Gasoline: Overall: moderate/premixed, Sulfur (S): low (50ppm), Lead (Pb): none, Benzene: low (0.50%), Oxygenate: 1%

Diesel: Overall: moderate, Sulfur (S): low (50ppm)

Hour: 0:00/all ... Use this hour

Driving Characteristics: VSP Bins Soak Bins

Humidity: 83.0%
 Temperature: 15.0 °Celsius

Distance/Time: 512194.0 kilometers
 Start-ups: 0.0

Group 1					Group 2					Average Velocity	
VSP Bin 0	VSP Bin 1	VSP Bin 2	VSP Bin 3	VSP Bin 4	VSP Bin 5	VSP Bin 6	VSP Bin 7	VSP Bin 8	VSP Bin 9	25.3 km/hr	
0.06	0.03	0.04	0.06	0.01	0.16	0.29	0.54	1.21	2.86		
VSP Bin 10	VSP Bin 11	VSP Bin 12	VSP Bin 13	VSP Bin 14	VSP Bin 15	VSP Bin 16	VSP Bin 17	VSP Bin 18	VSP Bin 19		
7.23	49.73	18.07	10.02	5.2	1.65	0.24	0.1	0.05	0.06		
VSP Bin 20	VSP Bin 21	VSP Bin 22	VSP Bin 23	VSP Bin 24	VSP Bin 25	VSP Bin 26	VSP Bin 27	VSP Bin 28	VSP Bin 29		
							0.01	0.01	0.02		
VSP Bin 30	VSP Bin 31	VSP Bin 32	VSP Bin 33	VSP Bin 34	VSP Bin 35	VSP Bin 36	VSP Bin 37	VSP Bin 38	VSP Bin 39		
0.03	0.05	0.07	0.11	0.16	0.63	0.68	0.27	0.12	0.11		
VSP Bin 40	VSP Bin 41	VSP Bin 42	VSP Bin 43	VSP Bin 44	VSP Bin 45	VSP Bin 46	VSP Bin 47	VSP Bin 48	VSP Bin 49		
VSP Bin 50	VSP Bin 51	VSP Bin 52	VSP Bin 53	VSP Bin 54	VSP Bin 55	VSP Bin 56	VSP Bin 57	VSP Bin 58	VSP Bin 59		
						0.01	0.01	0.01	0.01	Total	99.92 %
										Vehicle Spec. Power Distribution	
										Soak Time Distribution	
15 min	30 min	1 hour	2 hours	3 hours	4 hours	6 hours	8 hours	12 hours	18 hours	Total	99.98 %
34.92	8.52	11.04	11.18	5.72	2.73	3.85	1.9	9.04	11.08		

Anexo 2 Ventana de locación de IVE, con los bins y el soak time aplicados para el estudio