



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Ingeniería Automotriz**

**Obtención del inventario de emisiones de fuentes móviles en la  
ciudad de Macas, mediante el Modelo Internacional de Emisiones  
Vehiculares (IVE)**

Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Autor:

Ariel Alexander Sacaquirin Culcay

Director:

Ing. Daniel Cordero, Ph.D.

Cuenca-Ecuador

Diciembre, 2024

**Dedicatoria:**

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante.

A mi hermano, mi modelo a seguir para no rendirme.

A mi abuelita Rosa, por su cariño infinito.

Y a Camila, por su amor, cariño

y nunca dejar de apoyarme.

**Agradecimientos:**

A la Universidad de al Azuay, y a los docentes de la carrera Ingeniería Automotriz por el tiempo y conocimientos brindados para convertirme en un profesional.

A mi tutor el Ing. Daniel Cordero, PhD., por permitirme ser parte de este proyecto, su paciencia y conocimiento que fueron de gran valor para culminar este proyecto.

## **Resumen**

La contaminación del aire es un problema a nivel global, por las emisiones del sector transporte, responsable del 24% de las emisiones directas de CO<sub>2</sub> en 2020. Este estudio se centra en la obtención de emisiones vehiculares en Macas, Ecuador, utilizando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). Se estimaron emisiones anuales de 1,837.46 toneladas de CO, 166.15 toneladas de VOC, 403.32 toneladas de NOX, y 76,269 toneladas de CO<sub>2</sub>. Estas cifras destacan la contribución desproporcionada de los vehículos de uso intenso, responsables del 82.6% de las emisiones de NOX y del 77.6% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los factores de emisión obtenidos revelan diferencias importantes entre las categorías vehiculares. Por ejemplo, los buses y camiones generan 896.493 g/km de CO<sub>2</sub>, significativamente más que los vehículos ligeros, que emiten en promedio 246.256 g/km. Por ello, la necesidad de mitigar el impacto de los vehículos pesados mediante tecnologías más limpias, combustibles de buena calidad y políticas sostenibles. En comparación con otras ciudades, como Quito y Azogues, Macas tiene menores emisiones absolutas, pero su distribución refleja un impacto relativo alto de los vehículos pesados. Este estudio demuestra la importancia de los inventarios de emisiones como herramienta para la planificación ambiental y el cumplimiento de objetivos internacionales, como los establecidos en el Acuerdo de París.

**Palabras clave:** inventario de emisiones, emisiones de vehiculares, modelo IVE, gases de efecto invernadero, contaminantes criterio, calidad del aire, impacto ambiental.

## **Abstract**

Air pollution is a global issue driven by emissions from the transportation sector, which accounted for 24% of direct CO<sub>2</sub> emissions in 2020. This study focuses on estimating vehicular emissions in Macas, Ecuador, using the International Vehicle Emissions Model (IVE). Annual emissions were calculated at 1,837.46 tons of CO, 166.15 tons of VOC, 403.32 tons of NOX, and 76,269 tons of CO<sub>2</sub>. Heavy-duty vehicles disproportionately contributed, being responsible for 82.6% of NOX emissions and 77.6% of CO<sub>2</sub> emissions. Emission factors highlighted significant differences among vehicle categories; for instance, buses and trucks emit 896.493 g/km of CO<sub>2</sub>, compared to 246.256 g/km for light-duty vehicles. These findings underline the need to mitigate the impact of heavy-duty vehicles through cleaner technologies, high-quality fuels, and sustainable policies. Compared to cities like Quito and Azogues, Macas has lower absolute emissions but a relatively higher impact from heavy-duty vehicles. This study demonstrates the importance of emission inventories as tools for environmental planning and achieving international objectives, such as the Paris Agreement.

**Keywords:** emissions inventory, vehicular emissions, IVE model, greenhouse gases, criteria pollutants, air quality, environmental impact.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
2.1	MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES .....	4
2.2	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	5
2.3	COMPOSICIÓN DEL PARQUE VEHICULAR.....	6
2.4	COMPOSICIÓN DEL COMBUSTIBLE .....	8
2.5	CONDICIONES CLIMÁTICAS .....	9
2.6	USO DEL AIRE ACONDICIONADO.....	9
2.7	OBTENCIÓN DE BINES Y SOAK TIME .....	10
2.8	INGRESO DE DATOS .....	12
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
3.1	INVENTARIO DE EMISIONES .....	14
3.2	FACTOR DE EMISIÓN.....	14
<b>4</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxis monitoreados.....	5
<b>Tabla 2.</b> Vehículos particulares monitoreados. ....	5
<b>Tabla 3.</b> Abreviaciones para tipo de combustible.....	7
<b>Tabla 4.</b> Abreviaciones de tecnología para vehículos. ....	7
<b>Tabla 5.</b> Abreviación de categoría y tamaño de vehículos.....	7
<b>Tabla 6.</b> Abreviaciones sistema de control de emisiones evaporativas y sistema de control de escape.....	8
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de la flota. ....	8
<b>Tabla 8.</b> Composición del combustible. ....	9
<b>Tabla 9.</b> Condiciones climáticas de Macas.....	9
<b>Tabla 10.</b> Rango de kilometraje.....	9
<b>Tabla 11.</b> Uso de aire acondicionado.....	10
<b>Tabla 12.</b> Parámetros de operación vehículos de uso intenso. ....	11
<b>Tabla 13.</b> Parámetros de operación para vehículos de uso particular.....	11
<b>Tabla 14.</b> Distancia total.....	11
<b>Tabla 15.</b> Emisiones anuales por tipo de uso del vehículo.....	14
<b>Tabla 16.</b> Promedio de factores de emisión por tipo de vehículo.....	16
<b>Tabla 17.</b> Comparación factor de emisión en la ciudad de Macas y Azogues. ....	16
<b>Tabla 18.</b> Comparación de emisiones anuales entre ciudades del Ecuador en Toneladas anuales.....	17

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Ciudades donde se desarrolla el inventario de emisiones. ....	3
<b>Fig. 2.</b> Marcas con mayor número de unidades en Macas. ....	6
<b>Fig. 3.</b> Número de vehículos que usan cada combustible. ....	6
<b>Fig. 4.</b> Número de vehículos según su categoría. ....	7
<b>Fig. 5.</b> División de tecnologías en Macas. ....	8
<b>Fig. 6.</b> Clases de vehículos de uso intenso. ....	10
<b>Fig. 7.</b> Clase de vehículos de uso particular. ....	10
<b>Fig. 8.</b> Bines soak time para vehículos de uso intenso. ....	11
<b>Fig. 9.</b> Bines soak time para vehículos de uso particular. ....	12
<b>Fig. 10.</b> Cálculo de bins para vehículos de uso intenso. ....	12
<b>Fig. 11.</b> Cálculo de bins para vehículos de uso particular. ....	12
<b>Fig. 12.</b> Carga de datos de flota. ....	13
<b>Fig. 13.</b> Ingreso de variables de localidad. ....	13
<b>Fig. 14.</b> Factor de emisión de CO. ....	14
<b>Fig. 15.</b> Factor de emisión VOC. ....	15
<b>Fig. 16.</b> Factor de emisión NOx. ....	15
<b>Fig. 17.</b> Factor de emisión PM. ....	15
<b>Fig. 18.</b> Factor de emisión CO <sub>2</sub> . ....	15

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Distribución de flota vehicular.....	21
---	----

## **1 Introducción**

La contaminación del aire es un problema ambiental y de salud pública a nivel mundial. Según Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2019 se registraron al menos 380 000 muertes prematuras como consecuencia de la contaminación del aire en las Américas. En 2023, las emisiones globales de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) alcanzaron un total de 37 550 mega toneladas, aumentando 1.1% respecto al 2022 (EcoAvant,2023). Estas emisiones provienen principalmente de la quema de combustibles, fósiles, el transporte terrestre, marítimo y aéreo, procesos industriales y actividades relacionadas con el cambio del suelo, como la deforestación (EcoAvant,2023). El transporte es una de las principales fuentes de contaminación del aire, debido a las emisiones de gases contaminantes, especialmente en áreas urbanas y carreteras (Leroutier y Quiri6n, 2022), seg6n la Agencia Internacional de la Energ6a (AIE), en 2020 el sector del transporte fue responsable del 24% de las emisiones directas de CO<sub>2</sub>. En 2023, los veh6culos en carretera fueron responsable de 8 400 mega toneladas de CO<sub>2</sub> liberados a la atm6sfera, representando el 11% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Statista, 2023). En 2023, se estim6 que circulan a nivel mundial 1 474 millones de veh6culos (6lvarez, 2023), de los cuales el 98% son veh6culos de combusti6n

interna (Electrive, 2024). En Am6rica del Sur, circulan alrededor de 84 millones de veh6culos (Alvarez, 2023), siendo Brasil el principal emisor de la regi6n, con 1 900 mega toneladas de CO<sub>2</sub> en 2023 (Sigma Earth, 2023), mientras en Ecuador, el parque automotor matriculado en 2023 alcanz6 los 3 065 967 veh6culos (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023), emitiendo 46,11 mega toneladas de CO<sub>2</sub> en el 2022 (DatosMacro, 2022). Los veh6culos son responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, como di6xido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y 6xido nitroso (N<sub>2</sub>O), que contribuyen al cambio clim6tico, adem6s generan contaminantes criterio como mon6xido de carbono (CO), 6xidos de nitr6geno (NO<sub>x</sub>), compuestos org6nicos vol6tiles (COV), material particulado (PM<sub>2.5</sub>) y ozono troposf6rico (O<sub>3</sub>), los cuales afectan gravemente la calidad del aire y la salud p6blica (IEA, 2021; OMS, 2021). Por ello, los inventarios de emisiones han demostrado ser herramientas fundamentales para la gesti6n ambiental, ya que permiten cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosf6ricos provenientes de diversas fuentes, entre ellas el transporte.

La cuantificaci6n de las emisiones de fuentes m6viles es un proceso que permite estimar los gases provenientes de veh6culos con motores de combusti6n interna, como autom6viles, motocicletas, camiones, camionetas, autobuses.

Proceso el cual es importante para un inventario de emisiones para evaluar el impacto ambiental y colaborar con el diseño de estrategias de mitigación de gases provenientes del parque vehicular. Los inventarios de emisiones proporcionan datos consistentes sobre la cantidad y principales fuentes de emisiones, permitiendo a gobiernos, empresas y organizaciones internacionales tomar decisiones basadas en evidencia para cumplir objetivos, como los establecidos en el Acuerdo de París (IPCC, 2019; UNFCCC, 2023).

Según el IPCC (2019), existen dos métodos de cuantificación de emisiones de fuentes móviles:

**Medición Directa:** se realiza mediante sensores instalados en vehículos o bancos de prueba para monitorear emisiones, este método es preciso, pero costoso y no refleja una flota de vehículos y condiciones de manejo reales, ya que se apegan a un ciclo de conducción.

**Medición Indirecta:** Utiliza modelos de estimación y factores de emisión basados en datos como kilómetros recorridos, consumo de combustible, condiciones climáticas, siendo más accesible y aplicable a una numerosa flota vehicular.

El primer inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero se elaboró en 1994.

Desde entonces, se han realizado varios inventarios.

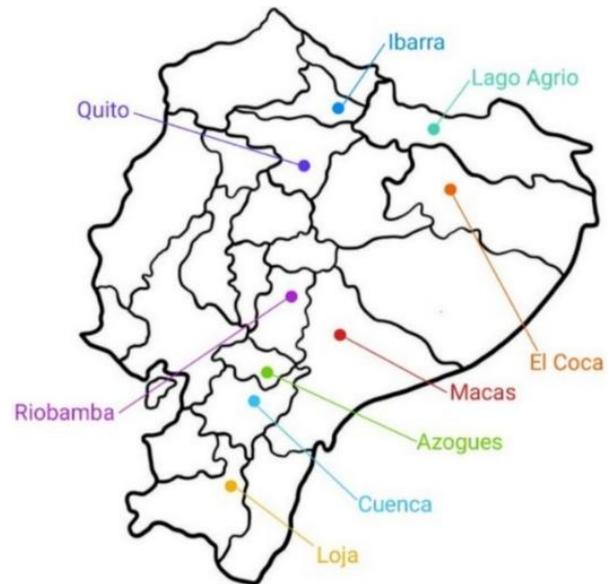
Donde:

En Quito, el inventario elaborado por Cadena Gómez y Endara Miño (2021) registró emisiones de 8 033 200 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, reflejando la intensa actividad vehicular y la alta densidad poblacional de la capital ecuatoriana. Por otro lado, en Azogues, el estudio realizado por Peñafiel Urgilés (2022) reportó emisiones de 15 000 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, considerablemente inferiores a las de Quito, lo que puede atribuirse a su menor población y parque vehicular.

A nivel internacional los modelos de estimación de emisiones de fuentes móviles más usados en el mundo son MOVES y el COPERT, los cuales fueron desarrollados para ciudades de Estados Unidos y Europa respectivamente. El problema con estos modelos de estimación son las condiciones propias de la zona y tecnología de vehículos no apropiadas a las que encontramos en Ecuador. Por lo tanto, en el 2003, el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Globales (ISSRC), desarrolló el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). Este modelo fue diseñado específicamente para estimar y las emisiones de fuentes móviles en países en vías de desarrollo, ofreciendo una solución más flexible

y adaptable a sus condiciones locales (Manual de Usuario del Modelo IVE, 2008).

La Universidad del Azuay (UDA), en colaboración con la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Escuela Politécnica Nacional (EPN), financiado por la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), trabajan en un “Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio en fuentes móviles” utilizando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), donde se recopila información en nueve ciudades del Ecuador: Quito, Ibarra, Riobamba, Azogues, Cuenca, Loja, Lago Agrio, El Coca y Macas, como se observa en la Fig. 1, monitoreando 162 vehículos durante seis meses, recopilando información sobre calidad de combustible, parque vehicular, datos sobre emisiones y eficiencia, identificando ciudades con mayor contaminación, y apoyar al diseño de políticas públicas más efectivas para reducir las emisiones vehiculares y mejorar la calidad del aire en Ecuador.



**Fig. 1.** Ciudades donde se desarrolla el inventario de emisiones.

## 2 Materiales y Metodología

Este estudio busca estimar las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio en la ciudad de Macas, mediante el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), generando un inventario de emisiones confiable y calcular los factores de emisión de los vehículos en la provincia de Morona Santiago, donde se monitoreo 18 vehículos, en los que se encuentran vehículos particulares y taxis. Para el monitoreo de los vehículos se contó con tres dispositivos Geotab go 9, estos son dispositivos de telemática vehicular que optimiza el monitoreo y la gestión de flotas los cuales se conectan a los vehículos a través del puerto OBD-II, que garantiza una comunicación a la plataforma de Geotab. Donde fueron evaluados

cada vehículo durante 30 días. En este tiempo, se recopilaban datos como ubicación del vehículo, velocidad, consumo de combustible, distancias recorridas, tiempo de operación (incluyendo tiempo encendido, apagado y en ralentí), así como coordenadas de latitud y longitud. Esta información permitió capturar las condiciones reales de uso y operación de los vehículos en la ciudad, sirviendo como base para estimar las emisiones generadas por fuentes móviles en Macas.

## 2.1 Modelo de estimación de emisiones

El cálculo que realiza el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) se basa en la Ec. 1, que considera un factor de emisión base ajustado por una serie de factores de corrección locales:

$$Q_{[t]} = B_{[t]} * K_{(1)[t]} * K_{(2)[t]} * \dots * K_{(x)[t]} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- $Q_{[t]}$  es el factor de emisión ajustado para cada tecnología.
- $B_{[t]}$  es el factor de emisión base, para cada tecnología.
- $K_{(x)[t]}$  son los factores de corrección locales que ajustan las emisiones en función de las características específicas de la zona de estudio.

Según IVE los factores de corrección se obtienen a partir de:

- **Patrones de conducción:** Incluyen velocidad del vehículo, tipo de terreno y carga del motor.
- **Patrones de partida:** Frecuencia de arranques y tiempo de operación en ralentí.
- **Características del parque automotor:** Edad, tipo de combustible, y tecnología del motor.
- **Condiciones locales:** Factores climáticos y factores topográficos.
- **Características de combustibles:** características de los combustibles comercializados en el Ecuador.

De acuerdo con IVE, los patrones de conducción son caracterizados mediante dos parámetros principales:

1. Potencia específica vehicular (VSP)
2. Estrés del motor.

Ambos parámetros se calculan utilizando fórmulas que integran información segundo a segundo sobre velocidad, pendiente, y potencia promedio como se observa en la Ec. 2:

$$VSP = v[1.1a + 9.81(\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- Pendiente =  $(h_{t=0} - h_{t=-1}) / v_{(t=-1 \text{ a } 0 \text{ seg})}$
- v = velocidad [m/s]
- a = aceleración [m/s<sup>2</sup>]
- h = altitud [m]

Por otro lado, el estrés del motor se calcula mediante la Ec. 3:

$$\text{Estrés motor} = \text{Índice RPM} + \left(0.08 \frac{\text{ton}}{\text{kW}}\right) * \text{Potencia promedio} \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde:

- Potencia Promedio = Promedio (VSP<sub>t=-5 seg a -25 seg</sub>) (kW/Ton)
- Índice RPM = Velocidad<sub>t=0</sub> / Divisor Velocidad (sin unidades)
- Mínimo índice de RPM = 0.9

## 2.2 Recolección de datos

**Monitoreo de vehículos:** Durante el periodo de seis meses fueron monitoreados 18 vehículos los cuales se dividieron en taxis, y vehículos particulares, junto con el rendimiento obtenido durante el periodo de evaluación y la distancia total recorrida. En la Tabla 1 se observa los taxis que fueron monitoreados y en la Tabla 2 se observan los vehículos particulares.

**Tabla 1.** Taxis monitoreados.

Modelo	Año	Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	Rendimiento [km/gal]	Distancia[km]
<b>Chevrolet</b>				
Aveo	2014	1500	[-]	8240.15
Aveo	2015	1500	[-]	6595.94
Joy	2024	1400	47.10	6732.29
D-Max	2023	2500	38.52	3655.95
D-Max	2023	2500	39.97	5372.68
<b>Kia</b>				
Rio	2020	1400	[-]	9157.23
Cerato	2023	1600	50.50	8936.43

**Tabla 2.** Vehículos particulares monitoreados.

Modelo	Año	Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	Rendimiento [km/gal]	Distancia [km]
<b>Chevrolet</b>				
Spark	2017	1000	[-]	251.89
Spark	2018	1000	[-]	1627.04
Optra	2013	1800	[-]	1241.94
Beat	2022	1200	59.79	670.53
<b>Kia</b>				
Picanto	2018	1200	[-]	1811.63
Picanto	2019	1200	[-]	797.04
<b>Mazda</b>				

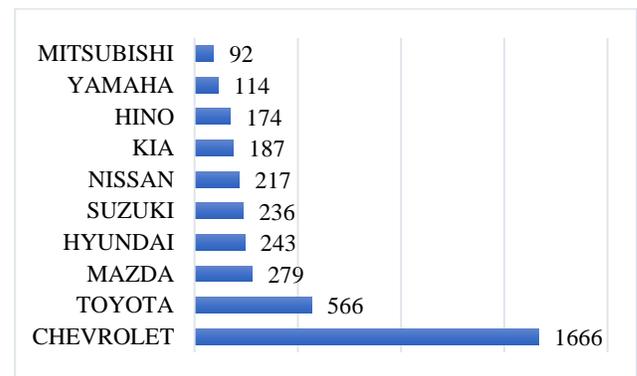
Bt-50	2013	2500	[ - ]	11.2
Bt-50	2014	2200	[ - ]	1704.43
Modelo	Año	Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	Rendimiento [km/gal]	Distancia [km]
Ford				
Ranger	2012	2500	30.20	1714.73
F150	2013	3700	20.58	918.13
Volkswagen				
Amarok	2011	2000	32.79	1232.68

**Recopilación de datos:** Los dispositivos transmitieron datos en tiempo real a una plataforma digital “My GeoTab, donde fueron descargados diariamente los datos de velocidad, tiempo de recorridos, distancia recorrida, arrancadas, latitud y longitud. De manera que, los datos obtenidos a través de la plataforma fueron almacenados en documentos de Excel, por número de viajes realizados en el día, en trayectos que realiza un usuario, en un día cotidiano en el caso de los vehículos particulares, y el uso intenso de los vehículos en el caso de los taxis.

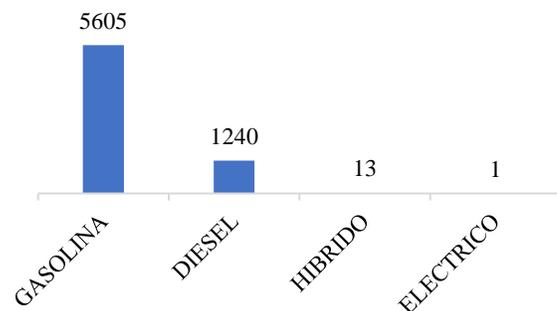
### 2.3 Composición del parque vehicular

Según datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), en la ciudad de Macas se registran 4.798 vehículos, con información detallada sobre marca, modelos y cilindrada, contando con Chevrolet como la marca de vehículos con mayor

número de unidades, como se observa en la Fig. 2. Sin embargo, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), a 2023, el número de vehículos matriculados asciende a 6.859, aunque únicamente se dispone de información básica como la marca, y número de vehículos con el tipo de combustible utilizados como se observa en la Fig. 3. Para este análisis, se utilizó la información detallada proporcionada por la ANT, considerando el año, la cilindrada y el tipo de combustible.



**Fig. 2.** Marcas con mayor número de unidades en Macas.



**Fig. 3.** Número de vehículos que usan cada combustible.

Según IVE, la clasificación del parque vehicular se realiza conforme a las abreviaciones definidas en el manual, como se observa en la Tabla 3, las abreviaciones al tipo de combustible.

**Tabla 3.** Abreviaciones para tipo de combustible.

Abreviación	Descripción
Pt	Vehículos a gasolina
Ds	Vehículos a diésel

Mientras en la Tabla 4, las definiciones para la tecnología de cada vehículo.

**Tabla 4.** Abreviaciones de tecnología para vehículos.

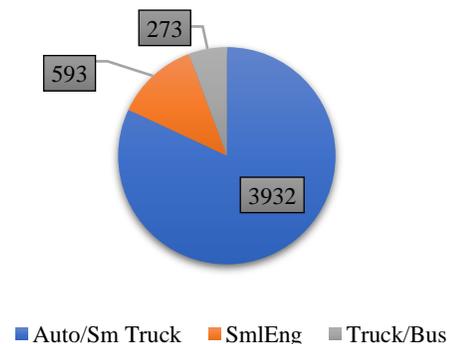
Abreviación	Descripción
Carb	Carburado
SgPt FI	Inyección mono punto
MPFI	Inyección multipunto
Pre-Inj	Vehículos a diésel, con sistema de inyección tradicional
Dir-Inj	Vehículos a diésel, con inyección directa en el cilindro.
2 cyc	Motocicletas con motores de 2 tiempos.
4 cyc	Motocicletas con motores de 4 tiempos.
Hybrid	Vehículos híbridos.

Por otra parte, en la tabla 3 se define las abreviaciones para categoría y tamaño, como se

observa en la Fig. 4, el número de vehículos según la categoría con los datos de la ANT.

**Tabla 5.** Abreviación de categoría y tamaño de vehículos.

Abreviación	Descripción
Auto/Sm Truck	Automóviles, camionetas, van o SUV
Truck/Bus	Camión/ buses
SmlEng	Motocicletas
Lt	Liviano < 2000 cm <sup>3</sup>
Md	Mediano 2000-4500 cm <sup>3</sup>
Hv	Pesado >4500 cm <sup>3</sup>



**Fig. 4.** Número de vehículos según su categoría.

Mientras en la Tabla 6 la definición para el sistema de control de emisiones evaporativas y sistema de control de escape.

**Tabla 6.** Abreviaciones sistema de control de emisiones evaporativas y sistema de control de escape.

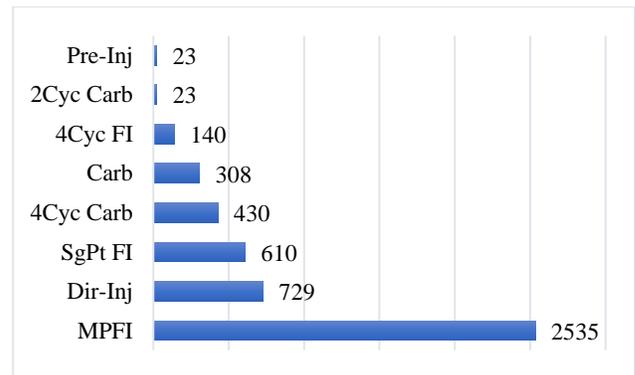
Abreviación	Descripción
PCV	Control que desvía los gases del cárter a la cámara de combustión.
EGR	Recirculación de gases de escape.
2wy	Catalizador de 2 vías.
3wy	Catalizador de 3 vías.

Para caracterizar la flota vehicular, y al no contar con datos relevantes como el peso de los vehículos dentro de los datos de la ANT, se clasifico por la cilindrada y el año de fabricación de cada vehículo como se observa en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Clasificación de la flota.

Clasificación	
Gasolina	Carb < 1995 Sgpt FI 1995-2004 MPFI >2004
Diésel	Pre-Inj < 2000 Dir-Inj > 2000
Híbridos	MPFI
Motocicletas	2 Cyc Carb < 2000 4 Cyc Carb >2000 & Cilindrada < 200 cm <sup>3</sup> 4 Cyc FI >2000 & Cilindrada > 200 cm <sup>3</sup>

Obteniendo la clasificación por tecnología del parque vehicular en Macas, demostrando la predominancia de vehículos con inyección multipunto, como se observa en la Fig. 5.



**Fig. 5.** División de tecnologías en Macas.

Posteriormente, se realizó una proyección proporcional para ajustar los datos a la cantidad total de vehículos matriculados según el INEC, generando la tabla de clasificación de la flota vehicular, como se muestra en el Anexo A.

#### 2.4 Composición del combustible

La calidad y composición de los combustibles en Ecuador, como Ecopaís (85 octanos), Súper (95 octanos) y Diésel, son determinantes en las emisiones vehiculares. Según estudios realizados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022), factores como el contenido de azufre, octanaje, benceno y compuestos oxigenados tienen un impacto significativo en la formación de contaminantes clave como el material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx),

monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes (LACBAL) de la Escuela Politécnica Nacional realiza análisis para garantizar la calidad de combustibles comercializados en el Ecuador. Los resultados de estas mediciones se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Composición del combustible.

	Gasolina	Diesel
Clase	Moderado/Premezcla	Moderado
Azufre	50 ppm	50 ppm
Plomo	Ninguno	
Benceno	0.50%	
Oxigenados	1%	

## 2.5 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas en Macas influyen directamente en la estimación de emisiones vehiculares en la ciudad. Para este análisis, se utilizaron datos proporcionados por Meteostat y World Weather Online, que proporcionan datos históricos del 2023 en la ciudad de Macas como: temperatura, humedad y altitud. (Meteostat, 2023; World Weather Online, 2023). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Condiciones climáticas de Macas.

Humedad [%]	Temperatura [C]	Altitud [m]
85.70	20.16	1030

## 2.6 Uso del aire acondicionado

Se realizó una encuesta en la ciudad de Macas, donde se obtuvieron 152 muestras para entender el uso del aire acondicionado en sus recorridos diarios. Donde pudimos determinar un rango de kilometraje de los vehículos de los encuestados, encontrando que la mayoría de las personas posee vehículos con más de 161 000 km recorridos, como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Rango de kilometraje.

Rango de kilometraje	#
Menos de 25.000 Km	29
Más de 161.000 Km	56
Entre 25.000 Km y 79.000 Km	21
Entre 79.000 Km y 161.000 Km	46

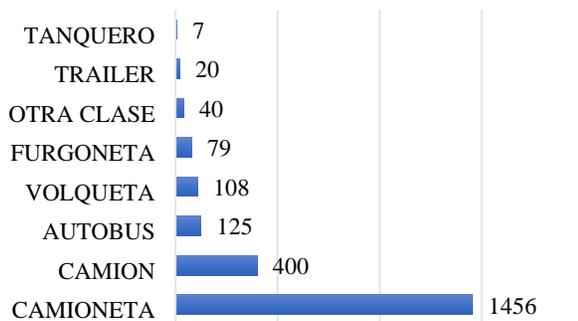
Para obtener la variable de uso del aire acondicionado, se incluyó esta consulta en las encuestas realizadas a los propietarios de vehículos en la ciudad de Macas. Los resultados de la Tabla 11 revelaron que la mayoría de los encuestados no utiliza o no dispone de aire acondicionado en sus vehículos, a pesar de las condiciones climáticas de la zona.

**Tabla 11.** Uso de aire acondicionado.

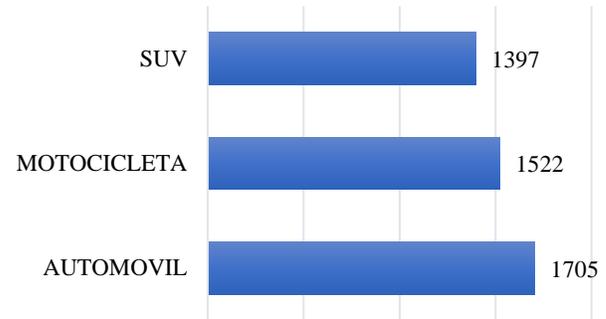
# de personas	Uso del AC
89	0%
35	25%
17	50%
4	75%
6	100%
Promedio	18%
Mediana	0%
desviación estándar	0.26
IC [95]	0.04

### 2.7 Obtención de Bines y soak time

Tras seis meses de monitoreo de vehículos en la ciudad de Macas, los datos recopilados fueron distribuidos en dos grupos, de uso intenso y vehículos de uso particular, que se detallan en la Fig. 6, y Fig. 7 respectivamente.



**Fig. 6.** Clases de vehículos de uso intenso.



**Fig. 7.** Clase de vehículos de uso particular.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el monitoreo de vehículos, donde:

- **Tiempo Activo:** Representa el tiempo total en el que el vehículo estuvo en funcionamiento durante un día.
- **Velocidad Promedio:** Refleja la velocidad media calculada considerando las diferentes condiciones de operación en un día.
- **Distancia Recorrida:** Total de kilómetros recorridos por los vehículos durante el monitoreo.
- **Número de Arrancadas:** Cantidad de veces que el vehículo inició movimiento desde una posición de reposo.

Los parámetros de operación para los vehículos de uso intenso se observan en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Parámetros de operación vehículos de uso intenso.

Variable	Promedio	IC (95%)
Tiempo Activo	8 horas 38 min	± 28 min
Velocidad promedio [km/h]	23.74	± 1.20
Distancia [km]	208.97	± 15.68
Número arrancadas	13.64	±1.25

De la misma manera los parámetros de operación para los vehículos de uso particular se observan en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Parámetros de operación para vehículos de uso particular.

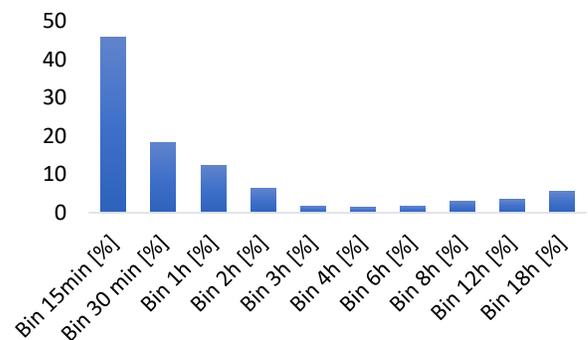
Variable	Promedio	IC (95%)
Tiempo Activo	1 hora 50 min	± 10 min
Velocidad promedio [km/h]	22.57	± 1.22
Distancia [km]	46.08	± 6.15
Número arrancadas	12.5	±1.36

La distancia total ingresada para cada grupo, fue el valor obtenido por el número de vehículos según datos del INEC, como se observa Tabla 14.

**Tabla 14.** Distancia total.

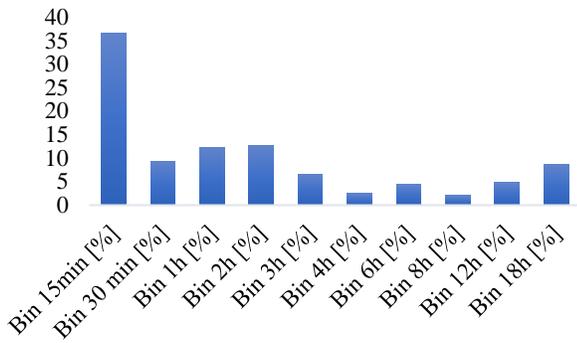
Grupo	Distancia total [km]
Uso Intenso	440.927
Uso Particular	213.074

**Soak Time:** El tiempo de soak se refiere al período en el que un vehículo permanece apagado tras completar una operación, antes de volver a encenderse. En la Fig. 8 presentada, se muestra la distribución de los tiempos de soak registrados durante el monitoreo de los vehículos de uso intenso, en porcentaje. Permitiendo identificar patrones de parada que pueden influir en las emisiones del vehículo con el motor frío.



**Fig. 8.** Bines soak time para vehículos de uso intenso.

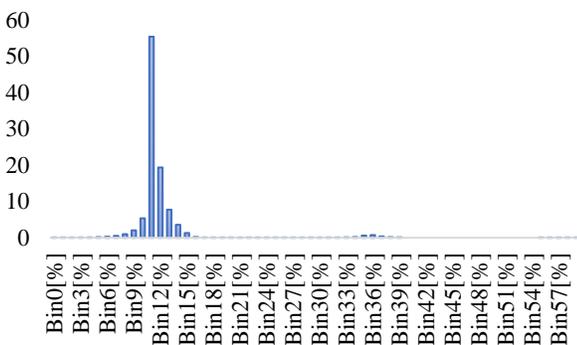
Los tiempos de soak para los vehículos de uso intenso son más cortos, lo que refleja ciclos de operación más frecuentes y pausas breves típicas de este tipo de vehículos. A comparación de los resultados de soak time para los vehículos de uso particular en la Fig. 9.



**Fig. 9.** Bines soak time para vehículos de uso particular.

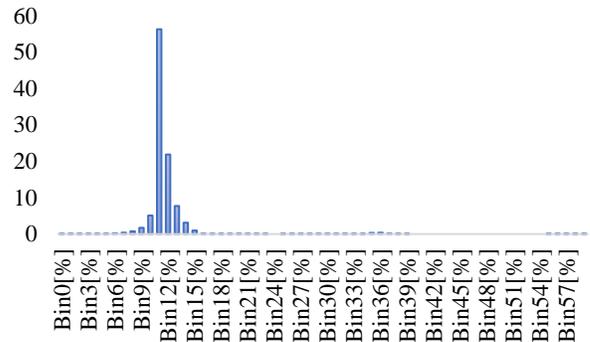
La distribución muestra una mayor variabilidad, con un número significativo de tiempos de soak prolongados para los vehículos de uso particular. Esto implica que estos vehículos experimentan pausas más largas.

**Bines:** Los cálculos del número de bines obtenidos en el análisis de Excel para vehículos de uso intenso se presentan en la Fig. 10.



**Fig. 10.** Cálculo de bines para vehículos de uso intenso.

De igual forma se puede observar en la Fig. 11, el número de bines para los vehículos de uso particular.



**Fig. 11.** Cálculo de bines para vehículos de uso particular.

En el caso de los vehículos de uso intenso, los bines más frecuentes están asociados a pausas breves, mientras que, en los vehículos de uso particular, la dispersión de bines es mayor debido a los patrones menos regulares de operación, a pesar de eso los bines obtenidos son similares.

## 2.8 Ingreso de datos

En el software IVE existen tres pestañas importantes de completar al momento de estimar emisiones:

**Ingreso de flota:** donde se ingresan las características de la flota vehicular, la tecnología, combustible, control de emisiones evaporativas y control de escape, como se observa en la Fig. 11. Donde se debe considerar que el porcentaje de la flota vehicular debe ser cien por ciento.

**Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares**

Calculo Localidad Flota

Flota  
Flota Taxis

Agregar Tecnología Gasolina 4-Ciclo

1206 Pt: SmiEng : Lt : 4Cyo Carb : None : None : <25K km

Indice	Tecnología	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1 AC
1093	Ds: Txi/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	0.63		
1094	Ds: Txi/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	0.4		
1092	Ds: Txi/Bus : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	1.21		
1079	Ds: Txi/Bus : Hv : Pre-Inj : None : None : >161K km	1.48		
1096	Ds: Txi/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	3.45		
1097	Ds: Txi/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	7.56		
1095	Ds: Txi/Bus : Hv : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	2.73		
760	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	9.13		
761	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : >161K km	11.5		
759	Ds: Auto/SmTk : Med : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	8.9		
757	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	0.18		
756	Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : <79K km	0.89		
65	Pt: Auto/SmTk : Lt : SgPl FI : 2Wy : PCV : >161K km	2.64		
119	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI : 3Wy : PCV : >161K km	37.49		
118	Pt: Auto/SmTk : Lt : MPFI : 3Wy : PCV : 80-161K km	11.81		

100.0% + 0.0% = 100.0%

Fig. 12. Carga de datos de flota.

**Ingreso de variables de localidad:** en esta ventana se colocan las variables de composición de combustibles, uso de aire acondicionado, datos topográficos, como la altitud, humedad, temperatura, junto a la velocidad promedio, distancia total de la flota durante un día, junto a los Bines VSP y soak time, como se observa en la Fig. 13.

**Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares**

Calculo Localidad Flota Ajustes Generales

Localidad Localidad Macas Taxis Flota Flota Taxis Ajustes Generales - ninguno -

Dia Mes Año Dia de la Semana Altitud Tipo de IM

24 Noviembre 2024 Domingo 1030.0 metros ralentí descentralizado (todas las cate...)

Aire Acondicionado a 27°C Pendiente Terreno 18.0% 0.0%

Características Combustible

Gasolina Clases moderada/premez... Azufre (S) bajo (50ppm) Plomo (Pb) ninguno Benzeno bajo (0.50%) Oxigenados 1%

Diesel Clases moderado Azufre (S) bajo (50ppm)

Hora 00:00 Usar esta Hora

Características de Conducción Humedad 85.7% Distancia/Tiempo 440927.0 Kilómetros Partidas 13.6

Temperatura 20.2 °Celsius

Grupo 1		Grupo 2		Bin VSP 1		Bin VSP 2		Bin VSP 3		Bin VSP 4		Bin VSP 5		Bin VSP 6		Bin VSP 7		Bin VSP 8		Bin VSP 9		
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
5.35	55.3	19.34	7.72	3.57	1.31	0.22	0.07	0.02	0.04													
0.05	0.07	0.09	0.13	0.2	0.59	0.74	0.37	0.10	0.13													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18	0.29	0.52	0.99	2.04													
0.04	0.02	0.04	0.06	0.1	0.18																	

### 3 Resultados

#### 3.1 Inventario de emisiones

Posterior a la simulación realizada utilizando el modelo IVE y los parámetros previamente determinados, se logró elaborar un inventario de emisiones correspondiente a los vehículos de uso intenso y los vehículos de uso particular, donde se detallan valores para CO, CO<sub>2</sub>, VOC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, en la Tabla 14.

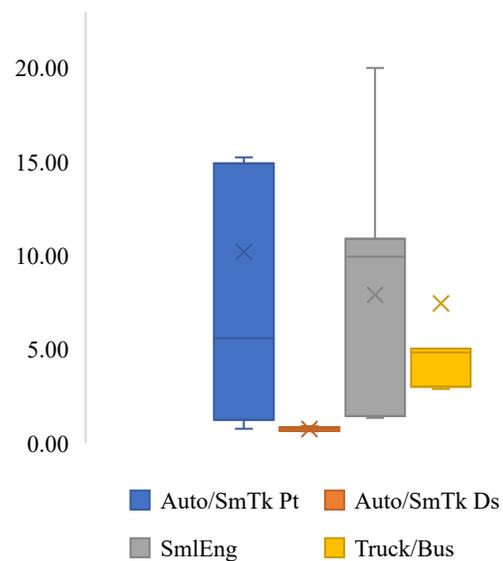
**Tabla 15.** Emisiones anuales por tipo de uso del vehículo.

CO [Ton/año]	VOC [Ton/año]	NO <sub>x</sub> [Ton/año]	PM [Ton/año]	CO <sub>2</sub> [Ton/año]
Vehículos de uso particular				
857,51	87,36	67.82	1,552	17.111
Vehículos de uso Intenso				
979,95	78,79	335,5	134,2	59.158

#### 3.2 Factor de emisión

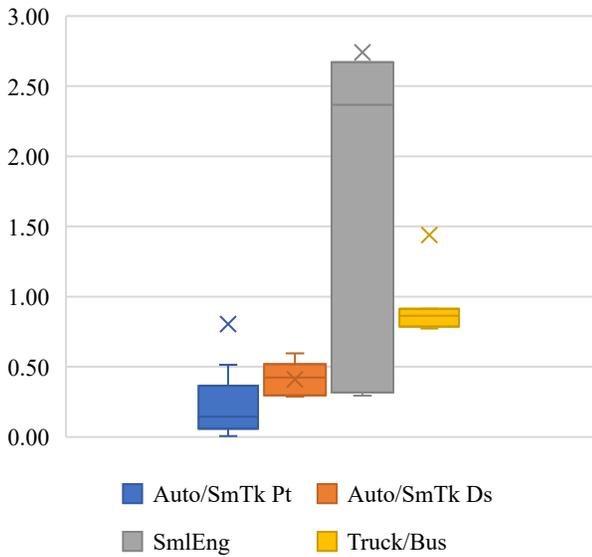
De igual manera, tras la simulación y las emisiones obtenidas para cada categoría se determinaron los factores de emisión correspondientes a las diferentes categorías vehiculares y contaminantes evaluados. El diagrama de caja y bigotes es una herramienta estadística que permite analizar la distribución y variabilidad de los datos de emisiones de diferentes contaminantes, como CO, VOC,

NO<sub>x</sub>, PM y CO<sub>2</sub>. A continuación, se presenta un análisis visual que sintetiza las características principales de los factores de emisión evaluadas, facilitando la identificación de patrones y diferencias significativas entre los contaminantes por cada categoría. En la Fig. 14, se observan los valores obtenidos de CO.



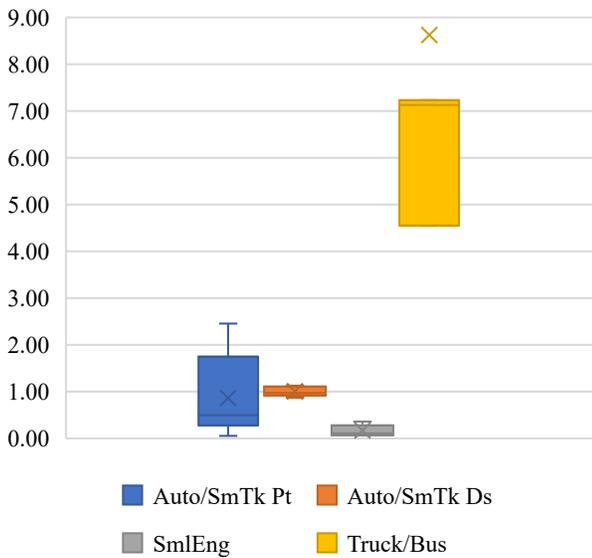
**Fig. 14.** Factor de emisión de CO

En la Fig. 15, se observa los valores de los factores de emisiones de VOC.



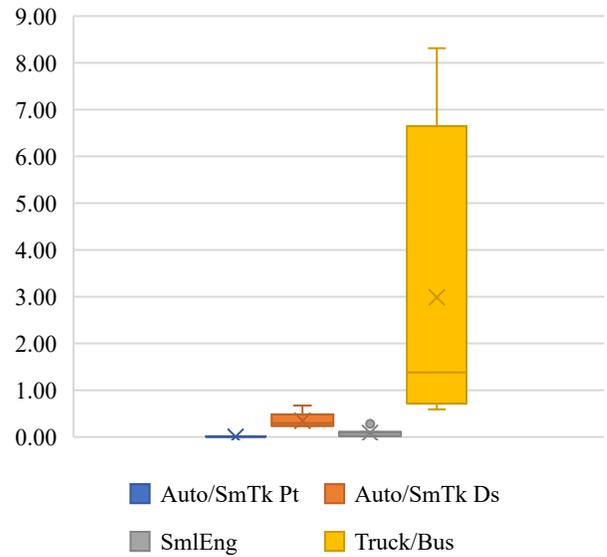
**Fig. 15.** Factor de emisión VOC.

De la misma manera se observan los valores de NOx en la Fig 16.



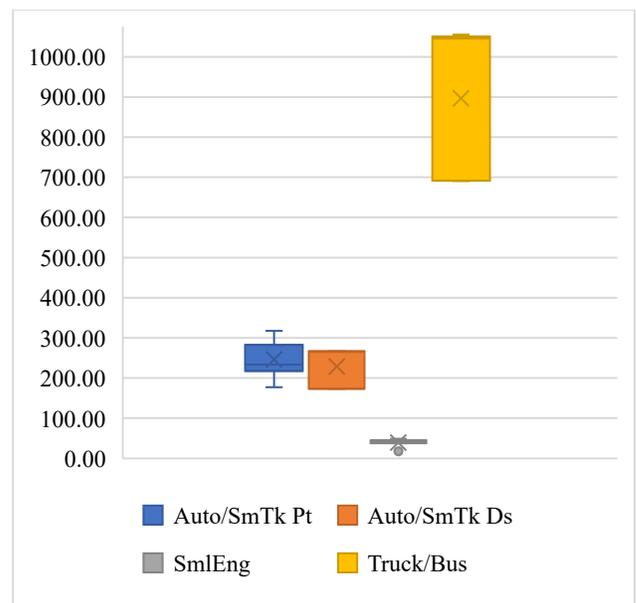
**Fig. 16.** Factor de emisión NOx.

En la Fig. 17, se presentan el diagrama de caja y bigotes para los valores de PM.



**Fig. 17.** Factor de emisión PM.

En la Fig. 18, se observan los factores de emisión de CO<sub>2</sub>.



**Fig. 18.** Factor de emisión CO<sub>2</sub>.

A continuación, se muestra la Tabla 16 donde se observa los factores de emisión promedio correspondientes a cada categoría vehicular y contaminante evaluado: CO, VOC, NOX, PM y CO2.

**Tabla 16.** Promedio de factores de emisión por tipo de vehículo.

CO [gr/km]			
Vehículos a gasolina	Vehículos a diésel	Motos	Buses, camiones
10.202	0.757	7.914	7.449
VOC [gr/km]			
Vehículos a gasolina	Vehículos a diésel	Motos	Buses, camiones
0.803	0.411	2.741	1.439
NOX [gr/km]			
Vehículos a gasolina	Vehículos a diésel	Motos	Buses, camiones
0.861	1.005	0.167	8.627
PM [gr/km]			
Vehículos a gasolina	Vehículos a diésel	Motos	Buses, camiones
0.006	0.346	0.088	2.981
CO2 [gr/km]			
Vehículos a gasolina	Vehículos a diésel	Motos	Buses, camiones
246.256	228.943	38.859	896.493

**Comparación de Factores de Emisión: Macas vs. Azogues**

A continuación, se presentan la Tabla 17, con los valores promedio de factores de emisión de contaminantes clave como CO, VOC, NOX, PM y CO2 en ambas ciudades. Los datos de Macas corresponden a categorías específicas de vehículos, mientras que los de Azogues están clasificados según tipos de vía (arterial, comercial, autopista).

**Tabla 17.** Comparación factor de emisión en la ciudad de Macas y Azogues.

	Macas (Vehículos promedio)	Azogues (Valor medio según tipo de vía)
CO	10.202 - 7.449 g/km	72.7 g/km
VOC	0.803 - 2.741 g/km	6.0 g/km
NOX	0.861 - 8.627 g/km	16.7 g/km
PM	0.006 - 2.981 g/km	1.02 g/km
CO2	246.256 - 896.493 g/km	4110 g/km

**Fuente para Azogues:**  
Los datos de Azogues han sido extraídos del documento: "Factores de emisión obtenidos en el segundo escenario"

### **Comparación de Emisiones Anuales de Contaminantes en Ciudades de Ecuador**

A continuación, se presenta la Tabla 18, la cual muestra las emisiones anuales de los principales contaminantes atmosféricos, como monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NOX), material particulado (PM) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en diferentes ciudades de Ecuador: Macas, Azogues, Quito y Riobamba.

**Tabla 18.** Comparación de emisiones anuales entre ciudades del Ecuador en Toneladas anuales.

	<b>Macas</b>	<b>Azogues</b>	<b>Quito</b>	<b>Riobamba</b>
<b>CO</b>	1.837,46	815	193.925	218
<b>VOC</b>	166.15	56	16.019	18
<b>NOX</b>	403.32	73	17.326	24
<b>PM</b>	135.75	24	2.626	1.6
<b>CO<sub>2</sub></b>	76.269	15.000	8.033.200	----

#### **4 Conclusión**

Las emisiones anuales de Macas reflejan un impacto ambiental significativo en relación con ciudades como Azogues, Quito y Riobamba. Aunque las emisiones totales de Macas son considerablemente menores que las de Quito, que tiene la mayor densidad vehicular y población, destacan los valores de contaminantes como CO (1,837.46 Ton/año) y NOx (403.32 Ton/año), que superan ampliamente a los registrados en Azogues y Riobamba. Esto podría estar relacionado con el monitoreo de vehículos en la ciudad de Macas, ya que se recopilieron datos reales sobre la operación de vehículos en la ciudad, durante un tiempo más prolongado y una base de datos extensa.

En comparación:

- Las emisiones de NOx en Macas son 5.5 veces mayores que en Azogues (73 Ton/año) y 16.8 veces mayores que en Riobamba (24 Ton/año).
- En términos de material particulado (PM), Macas (135.75 Ton/año) también supera notablemente a Azogues (24 Ton/año) y Riobamba (1.6 Ton/año), lo que resalta el impacto de vehículos pesados y combustibles menos limpios.

Mientras que las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de Macas (76,269 Ton/año) son

más bajas que las de Quito (8,033,200 Ton/año), todavía representan una carga ambiental considerable para una ciudad de menor escala.

Mientras el análisis de factores de emisión en la ciudad de Macas, muestra:

En Macas, los vehículos a gasolina tienen un factor de emisión CO promedio de 10.202 g/km, superior al valor medio en Azogues (72.7 g/km para todos los tipos de vías). Esto sugiere un mayor impacto relativo de este contaminante en la ciudad.

Los vehículos pesados en Macas presentan factores de emisión NOx elevados (8.627 g/km), superando los valores medios de Azogues (16.7 g/km).

En Macas, los vehículos pesados emiten hasta 896.493 g/km de CO<sub>2</sub>, un valor consistente con los promedios observados en otras ciudades, aunque ligeramente inferior al estimado en vías comerciales de Azogues.

## 5 Bibliografía

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). Anuario de Estadísticas de Transporte 2022. INEC.
- Leroutier, M., y Quirión, P. (2022). "Políticas de transporte urbano y contaminación del aire: una revisión".
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). Informe de calidad del aire y transporte en Ecuador.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Contaminación del aire y salud: una evaluación global.OMS
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). El transporte y su impacto en el cambio climático en América Latina y el Caribe
- Agencia Internacional de Energía (AIE). (2022). Global Energy Review 2022: Emisiones de CO2 en el transporte
- Agencia Internacional de Energía (AIE). (2021). Panorama de las emisiones de CO2 del sector del transporte
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Contaminación del aire e impactos en la salud: fuentes y efectos
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2021). Inventarios Nacionales de Emisiones: Gases de Efecto Invernadero y Contaminantes Atmosféricos
- Manual de Usuario del Modelo IVE. (2008). International Vehicle Emissions Model (IVE) User's Manual
- Agencia Nacional de Tránsito (ANT). (2023).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023)
- LACBAL. (2023).
- Meteostat. (2023). Climatología de Macas.
- World Weather Online. (2023). Historical weather data for Macas, Ecuador
- Cabascango Cáceres, D. E. (2022). *Determinación de las emisiones de fuentes móviles en el cantón Riobamba aplicando el modelo computacional IVE.*

- Cadena Gómez, D. A., & Endara Miño, M. B. (2021). *Elaboración del inventario de emisiones de fuentes móviles en el DMQ año base 2019*.
- Peñafiel Urgilés, M. G. (2022). *Estimación de un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres para la ciudad de Azogues aplicando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE)*.
- EcoAvant. (2023). COP28: El año 2023 terminará con nuevo récord mundial de emisiones de CO<sub>2</sub>. Recuperado el 8 de diciembre de 2024, de [https://www.ecoavant.com/contaminacion/cop28-ano-2023-terminara-con-nuevo-record-mundial-emisiones-co2\\_12586\\_102.htm](https://www.ecoavant.com/contaminacion/cop28-ano-2023-terminara-con-nuevo-record-mundial-emisiones-co2_12586_102.htm)
- Statista. (2023). Emisiones mundiales totales de gases de efecto invernadero por sector. Recuperado el 8 de diciembre de 2024, de <https://es.statista.com/grafico/33338/emisiones-mundiales-totales-de-gases-de-efecto-invernadero-por-sector/>
- DatosMacro. (2022). Ecuador: Emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante y país. Recuperado el 8 de diciembre de 2024, de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>
- Álvarez, S. (2023, 21 de octubre). ¿Cuántos coches hay en la tierra en 2023? Diariomotor. Recuperado de <https://www.diariomotor.com/noticia/numero-coches-en-la-tierra/>
- Agencia Internacional de Energía (AIE). (2022). "Impactos de la calidad del combustible en las emisiones de fuentes móviles". París
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2023). National Inventory Reports.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2023). National Inventory Reports.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Anexo A. Distribución de flota vehicular.

TIPO_COMBUSTIBLE	CLASIFICACION	TAMAÑO	TECNOLOGIA	ESCAPE	CONTROL_EMISIONES	KILOMETRAJE	#ANT	#INEC	%
HYBRID	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI		PCV/TANK	<79,000 km	2	3	0.04%
HYBRID	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI		PCV/TANK	>161,000 km	2	3	0.04%
HYBRID	Auto/Sm Truck	Md	MPFI		PCV/TANK	>161,000 km	2	3	0.04%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	Carb	Ninguno	PCV	>161,000 km	185	264	3.86%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	<79,000 km	261	373	5.44%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	586	838	12.21%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	388	555	8.09%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	MPFI	3wy	PCV Y EGR	<79,000 km	108	154	2.25%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Lt	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	304	435	6.34%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	Carb	Ninguno	PCV	>161,000 km	123	176	2.56%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	<79,000 km	76	109	1.58%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	>161,000 km	811	1159	16.90%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV	80,000 - 161,000 km	283	405	5.90%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	MPFI	3wy	PCV Y EGR	<79,000 km	16	23	0.33%
GASOLINA	Auto/Sm Truck	Md	SgPt FI	2wy	PCV	>161,000 km	306	437	6.38%
GASOLINA	SmlEng	Lt	2Cyc	Ninguno	Ninguno	>50,000 km	23	33	0.48%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	Ninguno	Ninguno	<25,000 km	165	236	3.44%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	Ninguno	Ninguno	>50,000 km	101	144	2.11%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc Carb	Ninguno	Ninguno	26,000 - 50,000 km	164	234	3.42%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc FI	Ninguno	PCV Catalyst	<25,000 km	74	106	1.54%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc FI	Ninguno	PCV Catalyst	>50,000 km	26	37	0.54%
GASOLINA	SmlEng	Lt	4Cyc FI	Ninguno	PCV Catalyst	26,000 - 50,000 km	40	57	0.83%
DIESEL	Auto/Sm Truck	Lt	Dir-Inj	Ninguno	EGR	<79,000 km	14	20	0.29%
DIESEL	Auto/Sm Truck	Lt	Dir-Inj	Ninguno	EGR	80,000 - 161,000 km	3	4	0.06%
DIESEL	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	<79,000 km	139	199	2.90%
DIESEL	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	>161,000 km	180	257	3.75%
DIESEL	Auto/Sm Truck	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	80,000 - 161,000 km	143	204	2.98%
DIESEL	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	Ninguno	EGR	<79,000 km	43	61	0.90%
DIESEL	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	Ninguno	EGR	>161,000 km	118	169	2.46%
DIESEL	Truck/Bus	Hv	Dir-Inj	Ninguno	EGR	80,000 - 161,000 km	54	77	1.13%
DIESEL	Truck/Bus	Hv	Pre-Inj	Ninguno	EGR	>161,000 km	23	33	0.48%

DIESEL	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	<79,000 km	19	27	0.40%
DIESEL	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	>161,000 km	6	9	0.13%
TIPO_COMBUSTIBLE	CLASIFICACION	TAMAÑO	TECNOLOGIA	ESCAPE	CONTROL_EMISIONES	KILOMETRAJE	#ANT	#INEC	%
DIESEL	Truck/Bus	Md	Dir-Inj	Ninguno	EGR	80,000 - 161,000 km	10	14	0.21%
						Total	4798	6859	100%