



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES BASADO EN CARACTERÍSTICAS
CONSTRUCTIVAS DE VEHÍCULOS M1, CASO CUENCA-ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: WILLIAM NICKOLAS ANGAMARCA SILVERIO

JHOAN FERNANDO ÁVILA PUZMA

TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, Msc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, William Nickolas Angamarca Silverio con documento de identificación N° 1105035735 y Jhoan Fernando Ávila Puzma con documento de identificación N° 1150960654; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 8 de junio del 2023

Atentamente,



William Nickolas Angamarca Silverio

1105035735



Jhoan Fernando Ávila Puzma

1150960654

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, William Nickolas Angamarca Silverio con documento de identificación N° 1105035735 y Jhoan Fernando Ávila Puzma con documento de identificación N° 1150960654, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Modelo de estimación de emisiones basado en características constructivas de vehículos M1, caso Cuenca-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de junio del 2023

Atentamente,



William Nickolas Angamarca Silverio

1105035735



Jhoan Fernando Ávila Puzma

1150960654

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Néstor Diego Rivera Campoverde con documento de identificación N° 0103898995, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MODELO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES BASADO EN CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE VEHÍCULOS M1, CASO CUENCA-ECUADOR, realizado por William Nickolas Angamarca Silverio con documento de identificación N° 1105035735 y por Jhoan Fernando Ávila Puzma con documento de identificación N° 1150960654, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 8 de junio del 2023

Atentamente,



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, Msc.

0103898995

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico a mis padres, Willan Angamarca y Marcia Silverio, y a mi hermana Aytana Angamarca.

Por ser ellos quienes con su esfuerzo, enseñanzas, dedicación y amor desinteresado me han inspirado a ser una persona de bien, a apuntar y me permitido convertirme en la que soy hoy en día.

A mis abuelos, mis tíos y mis primos, por apoyarme como familia y motivarme a perseverar ante las dificultades y ofrecerme su ayuda frente a las varias dificultades a las que me he enfrentado.

William Nickolas Angamarca Silverio

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres, Segundo Avila y Sandra Puzma, y a mi hermana Jennifer Avila.

Su influencia en mi vida ha sido incalculable, y sin ellos, este logro no habría sido posible. Son padres ejemplares y han sido mi apoyo y guía en los momentos difíciles.

Mi hermana mayor ha sido una fuente constante de inspiración y me ha dado la confianza y apoyo que necesitaba para alcanzar mis metas. Este proyecto es una muestra de mi amor y gratitud hacia ellos, y siempre llevaré conmigo los valores y enseñanzas que me han transmitido.

Jhoan Fernando Avila Puzma

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a mis padres, quienes con su esfuerzo me han permitido culminar mi carrera universitaria, a mi hermana quien me ha acompañado y me ha apoyado continuamente.

A mis amigos, mis compañeros, mis profesores, quienes me ayudaron durante todo mi trayecto. A nuestro tutor Ing. Nestor Rivera, por habernos guiado durante el desarrollo de esta tesis, y cuya dirección nos permitió resolver los numerosos obstáculos que nos encontramos en el camino.

William Nickolas Angamarca Silverio

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la fortaleza para superar los obstáculos que encontré durante mi formación académica. También quiero expresar mi agradecimiento a mis padres por su apoyo constante y por haberme dado la oportunidad de obtener una educación de calidad.

Por último, quiero agradecer a todos mis profesores por su dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo. En particular, quiero destacar el trabajo de nuestro tutor Ing. Nestor Rivera, quien con su guía y apoyo nos ayudó a completar este proyecto con éxito. Estoy seguro de que lo que he aprendido de ellos me será de gran utilidad en el futuro. Muchas gracias a todos por haber sido parte de este logro.

Jhoan Fernando Avila Puzma

RESUMEN

Desde la implementación de los vehículos para la movilidad en todo el mundo se han usado derivados del petróleo conocidos como hidrocarburos para generar energía térmica, la cual es convertida en energía mecánica para impulsar los vehículos. Sin embargo, los hidrocarburos al momento de la combustión generan gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) e hidrocarburos (HC), gases que afectan al planeta y la vida que yace en él.

En este trabajo se busca generar un modelo de emisiones en base a las características constructivas de los vehículos de la ciudad de Cuenca, para lograr este objetivo se recurre la revisión bibliográfica acerca de los modelos de emisiones, la recopilación de valores medidos de la emisión gases y a estimaciones estadísticas.

Siendo así que se obtuvo que la característica constructiva que influyen en gran medida sobre las emisiones, es el año de fabricación. Se encontró que el mismo afecta sobre las emisiones de CO un régimen de 800 RPM un 43 % mientras que a 2500 RPM las emisiones aumentan a 59 %, en el CO_2 a 2500 RPM un 54 % y en el HC a 800 RPM un 52 % mientras que al aumentar el régimen a 2500 RPM las emisiones disminuyen a 30 %.

Por otro lado, el valor de las emisiones que se producen a las distintas marchas es decreciente, de este modo la marcha que genera mayores emisiones de gases es la primera marcha y la que genera menores emisiones es la quinta marcha. Adicionalmente, la cantidad de emisiones de gases los vehículo está directamente influenciada por el recorrido realizado en cada marcha y, siendo así que depende en parte del estilo de conducción.

No obstante, la cantidad de emisiones de un vehículo puede pasar desapercibida, aunque el factor de emisiones de vehículo sea elevado, ya que también dependerá de la cantidad de los vehículos que circulan anualmente, siendo así que de los 15 vehículos más populares de la ciudad de Cuenca el Suzuki Forsa 1.0L es el que más emisiones de monóxido de carbono genera anualmente, el vehículo que más emisiones de dióxido de carbono e hidrocarburos no combustionados genera por año Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L.

Finalmente, el nivel de incertidumbre de este modelo es de categoría B. No obstante,

existen medidas que pueden tomarse para alcanzar una categoría más alta.

Palabras Clave: *Modelo de emisiones, Factor de emisiones, Estadística, Contaminación.*

ABSTRACT

Since the implementation of mobility vehicles worldwide, petroleum derivatives known as hydrocarbons have been used to generate thermal energy. This thermal energy is then converted into mechanical energy to propel vehicles. However, during combustion, hydrocarbons produce gases such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), and hydrocarbons (HC), which have a negative impact on the planet and the life that inhabits it.

This work aims to develop an emissions model based on the construction characteristics of vehicles in the city of Cuenca. To achieve this objective, a literature review of emission models, compilation of measured gas emission values, and statistical estimations are employed.

It was found that the construction characteristic that significantly influences emissions is the year of manufacture. The year of manufacture affects CO emissions by 43 % at an 800 RPM engine speed, while at 2500 RPM, emissions increase to 59 %. For CO_2 , emissions increase by 54 % at 2500 RPM, and for HC , emissions increase by 52 % at 800 RPM, while decreasing to 30 % as the speed increases to 2500 RPM.

Additionally, emissions values decrease across different gears. The first gear generates the highest gas emissions, while the fifth gear generates the lowest emissions.

Moreover, the amount of gas emissions produced by a vehicle is directly influenced by the distance traveled in each gear, which, in part, depends on the driving style.

However, the impact of vehicle emissions can go unnoticed, even if a vehicle has a high emission factor, as it also depends on the total number of vehicles on the road each year. Among the 15 most popular vehicles in the city of Cuenca, the Suzuki Forsa 1.0L emits the highest annual carbon monoxide emissions, while the Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L emits the highest carbon dioxide and non-combusted hydrocarbons emissions per year.

Finally, the level of uncertainty in this model is category B. However, there are steps that can be taken to achieve a higher category.

Keywords: *Emissions model, Emissions factor, Statistic, Pollution.*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
2.1 Antecedentes.....	3
2.2 Importancia y Alcances	3
2.3 Delimitación	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1 Objetivo general.....	4
3.2 Objetivo específicos.....	4
4. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
4.1 Clasificación vehicular	5
4.1.1 Subcategoría M1	5
4.2 Revisión técnica vehicular	6
4.2.1 Procedimientos.....	7
4.3 Característica constructivas	8

4.3.1	Año de fabricación	8
4.3.2	Cilindraje	8
4.3.3	Par máximo	8
4.3.4	Régimen de giro al par máximo	8
4.4	Estadística	8
4.4.1	Población	9
4.4.2	Muestra	9
4.4.3	Media aritmética	9
4.4.4	Media recortada	9
4.5	Emisiones contaminantes.....	10
4.5.1	Monóxido de carbono	11
4.5.2	Dióxido de carbono.....	11
4.5.3	Hidrocarburos	11
4.6	Factores de emisión	11
4.7	Modelos de estimaciones emisiones	12
4.7.1	IVE.....	12
4.7.2	COPERT	12
4.7.3	MOBILE-6.....	13
4.7.4	MOVES	13
4.8	Estimación de contaminantes	14
4.9	Método de evaluación de incertidumbre.....	16

5. CAPÍTULO II: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE VEHÍCULOS

	CATEGORÍA M1 MÁS REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DE CUENCA	17
5.1	Número de vehículos matriculados en Cuenca	18
5.2	Obtención de la base de datos de la EMOV	18

5.3	Preparación de la base de datos de la EMOV	19
5.4	Estadísticas y tabulación de los datos	22
5.4.1	Ventas anuales de tipos de vehículo.....	22
5.4.2	Vehículos con mayor kilometraje recorrido.....	25
5.4.3	Marcas más populares.....	26
5.4.4	Vehículos más populares	27
5.4.5	Emisiones de los vehículos más populares	28
5.4.6	Recorrido anual de los vehículos más populares	30
6.	CAPÍTULO III: GENERACIÓN DEL MODELO DE EMISIONES	30
6.1	Histogramas	30
6.2	Correlación	33
6.2.1	Matrices de correlación.....	34
6.3	Factores de emisión	37
7.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	43
7.1	Emisiones por marcha.....	43
7.2	Emisión anual	44
7.3	Emisiones totales	47
7.3.1	Contaminación total de vehículos por cada marcha.....	51
7.3.2	Contaminación total de vehículos.....	53
7.4	Evaluación de la incertidumbre	55
8.	CONCLUSIONES	55
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación de Cuenca	4
Figura 4.1	Emisiones reales.	10
Figura 5.1	Vehículos matriculados por años.	18
Figura 5.2	Datos no válidos.	20
Figura 5.3	Datos con KM 0.	20
Figura 5.4	Datos sin valores asignados.	21
Figura 5.5	Datos preparados.	21
Figura 5.6	Ventas anuales de vehículos en el Ecuador.	22
Figura 5.7	Ventas de automóviles en el Ecuador.	23
Figura 5.8	Ventas de vehículos tipo SUV en el Ecuador.	23
Figura 5.9	Ventas de camionetas en el Ecuador.	24
Figura 5.10	Venta de vehículos por provincia en el Ecuador.	24
Figura 5.11	Venta de vehículos por tipo.	25
Figura 5.12	Marcas presentes en la ciudad de Cuenca en el año 2018.	27
Figura 6.1	CO en [%] a 800 RPM.	31
Figura 6.2	CO en [%] a 2500 RPM.	31
Figura 6.3	HC en [ppm] a 800 RPM.	32
Figura 6.4	HC en [ppm] a 2500 RPM.	32
Figura 6.5	CO ₂ en [%] a 2500 RPM.	33
Figura 6.6	Matriz de correlación de CO en 800 RPM.	34
Figura 6.7	Matriz de correlación de CO en 2500 RPM.	35
Figura 6.8	Matriz de correlación de CO ₂ en 2500 RPM.	35
Figura 6.9	Matriz de correlación de HC en 800 RPM.	36
Figura 6.10	Matriz de correlación de HC a 2500 RPM.	36
Figura 7.1	Emisión por marcha en [g/km] de CO	43
Figura 7.2	Emisión por marcha en [g/km] de CO ₂	43

Figura 7.3 Emisión por marcha en [g/km] de <i>HC</i>	44
Figura 7.4 <i>CO</i> en [ton] del total de los vehiculos en cada marcha.....	51
Figura 7.5 <i>CO</i> ₂ en [ton] del total de los vehiculos en cada marcha	52
Figura 7.6 <i>HC</i> en [ton] del total de los vehiculos en cada marcha.....	52
Figura 7.7 <i>CO</i> en [ton] del total de los vehiculos.....	53
Figura 7.8 <i>CO</i> ₂ en [ton] del total de los vehiculos	54
Figura 7.9 <i>HC</i> en [ton] del total de los vehiculos	54

NDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Vehículos de la subcategoría M1.....	6
Tabla 4.2	Matriz de calificación de incertidumbre de inventario de emisiones.	17
Tabla 5.1	Características de vehículos de categoría M1.	17
Tabla 5.2	Vehículos vendidos en el Azuay.....	25
Tabla 5.3	Vehículos con mayor recorrido en el año 2017	26
Tabla 5.4	Vehículos con más recorrido anual hasta el año 2018.....	26
Tabla 5.5	Marcas más populares en 2018.	27
Tabla 5.6	Vehículos más populares hasta el año 2018.	28
Tabla 5.7	Características constructivas de las marcas más populares.....	28
Tabla 5.8	Vehículos más populares en 2018.	29
Tabla 5.9	Kilometraje anual de los vehículos más populares.	30
Tabla 6.1	Factor de corrección y factor de emisiones en [g/s] a una media de 800 RPM.	37
Tabla 6.2	Factor de corrección y factor de emisiones en [g/s] a una media de 2500 RPM.	38
Tabla 6.3	Porcentaje de recorrido y de tiempo en cada marcha.....	38
Tabla 6.4	Emisiones en [g/km] en primera marcha.....	40
Tabla 6.5	Emisiones en [g/km] en segunda marcha.....	41
Tabla 6.6	Emisiones en [g/km] en tercera marcha.	41
Tabla 6.7	Emisiones en [g/km] en cuarta marcha.	42
Tabla 6.8	Emisiones en [g/km] en quinta marcha.	42
Tabla 7.1	Emisiones en [g] en primera marcha.....	45
Tabla 7.2	Emisiones en [g] en segunda marcha.	45
Tabla 7.3	Emisiones en [g] en tercera marcha.	46
Tabla 7.4	Emisiones en [g] en cuarta marcha.	46
Tabla 7.5	Emisiones en [g] en quinta marcha.	47
Tabla 7.6	Emisiones en [g] en ralentí.....	47

Tabla 7.7 Emisiones totales en primera marcha.	48
Tabla 7.8 Emisiones totales en segunda marcha.....	48
Tabla 7.9 Emisiones totales en tercera marcha.....	49
Tabla 7.10 Emisiones totales en cuarta marcha.....	49
Tabla 7.11 Emisiones totales en quinta marcha.....	50
Tabla 7.12 Emisiones totales en ralentí.	50

1. INTRODUCCIÓN

En todo Ecuador rige la NTE INEN 2204 y la NTE INEN 2207 (INEN, 2017, 2002), Normativas Técnicas Ecuatorianas, en las cuales se establecen los límites máximos de emisiones permisibles para la circulación de fuentes móviles con motores a gasolina y diésel, respectivamente. Con este fin se toman en cuenta las emisiones de CO, HC, CO₂ NO_x y material particulado, las mismas que dependen de las características de los vehículos, siendo así que varían los niveles de sus emisiones contaminantes (Díaz Gutiérrez, 2002).

Para lograr obtener los valores de las emisiones producidas del funcionamiento de un motor se pueden emplear métodos directos y métodos indirectos. Los métodos directos consisten en realizar pruebas con equipo especializado para obtener de manera directa los valores. Sin embargo, este método puede resultar demasiado costoso, por lo que se utilizan los métodos indirectos, los cuales suponen una menor inversión de recursos debido a que consisten en modelos internacionales que utilizan información de los métodos directos. Los modelos más utilizados son los siguientes: MOBILE 6, International Vehicle Emission Model (IVE), Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) y Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT) (Urgilés Clavijo, 2017).

Si bien estos modelos pueden implementarse sin inconvenientes en otras ciudades, en el caso de Cuenca esto no es viable debido a distintos factores. El Modelo MOBILE 6 está adaptado para las condiciones vehiculares, geográficas y a las políticas de los Estados Unidos. Además, no fue diseñado para ser modificado con facilidad, por lo cual este modelo no puede ser introducido fácilmente en otros países (EPA, 2002). Por otro lado, el Modelo MOVES se basa en el análisis de emisiones de millones de vehículos de los Estados Unidos, tomando en cuenta las condiciones de sus respectivos estados. Según la EPA, este modelo puede aplicarse también en el Distrito de Columbia, en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Sin embargo, el cálculo de emisiones en otros países resulta difícil (EPA, 2021).

En el caso del Modelo IVE se omiten factores que influyen de manera directa en las

emisiones, como las condiciones climáticas y el octanaje del combustible (ISSRC, 2008). El modelo COPERT III que se usa actualmente para el cálculo de emisiones en la ciudad de Cuenca, si bien es un modelo robusto, no refleja la realidad de las condiciones geográficas del Ecuador, ya que el mismo es un modelo creado para Europa. Debido a las distintas limitantes de los modelos mencionados, se propone la determinación de un modelo para calcular las emisiones en vehículos tipo M1 en la ciudad de Cuenca.

2. PROBLEMA

Las emisiones generadas por fuentes móviles tienen un efecto que puede evidenciarse en el aire, mares, ríos, lagos, el suelo, la vegetación, entre otros. Las fuentes móviles en especial contribuyen a la contaminación (EMOV EP, 2021), razón por la cual se han hecho esfuerzos para monitorear la calidad de este, determinar los efectos que tiene en la salud, así como políticas y acciones a tomar para mitigar su efecto en el medio ambiente (EMOV EP, 2022). Esto se ve plasmado en el informe de calidad de aire de la ciudad de Cuenca, el que se encarga de difundir esta información. En el inventario de emisiones del cantón Cuenca de 2014 (Parra, 2016), el tráfico vehicular supone una fuente importante de contaminación del aire. En la actualidad EMOV EP se basa en el modelo MOBILE6-Mexico (EMOV EP, 2016), el cual toma en consideración factores que reflejan la realidad de la ciudad de México. Por esta razón resulta importante que la información presente en los informes mencionados considere datos que reflejen la realidad de la ciudad, como: la calidad de los combustibles comercializados en el país debido a la presencia de azufre (EMOV EP, 2018); los distintos niveles de pendientes que se pueden encontrar en una ruta dada; la altura de Cuenca a 2550 m.s.n.m. que causa un aumento de emisiones por cada 500 m de elevación, siendo el aumento en 10 % de CO, 82 % de HC, 35 % de NOx hasta los 1500 msnm y 23 % de NOx por cada 500 m a partir de esta altura (Caiza Jácome y Portilla Aguilar, 2011); la abundancia de vehículos con motor de encendido por chispa supone un mayor grado de emisión de contaminantes comparado a otros países (Fierro y Ordóñez, 2018).

2.1. Antecedentes

El inventario de emisiones de la ciudad de Cuenca publicado por EMOV EP (2016) proporciona datos estimados con una calificación de incertidumbre de categoría C para autos, la cual fue resultado de la falta de información disponible en el momento de la publicación. Además, los datos de emisiones son resultado de la aplicación de COPERT. El modelo MOBILE6-Mexico se utiliza en la actualidad, pero la metodología que se emplea debe diferir para la situación de Cuenca. Si se desea implementar algún modelo de estimación de gases, la información obtenida no reflejaría precisamente las emisiones reales. Debido a esto se deben considerar factores pertinentes a la situación real de la ciudad, como lo son el combustible utilizado, la altura de la ciudad y las características constructivas de los vehículos en circulación.

2.2. Importancia y Alcances

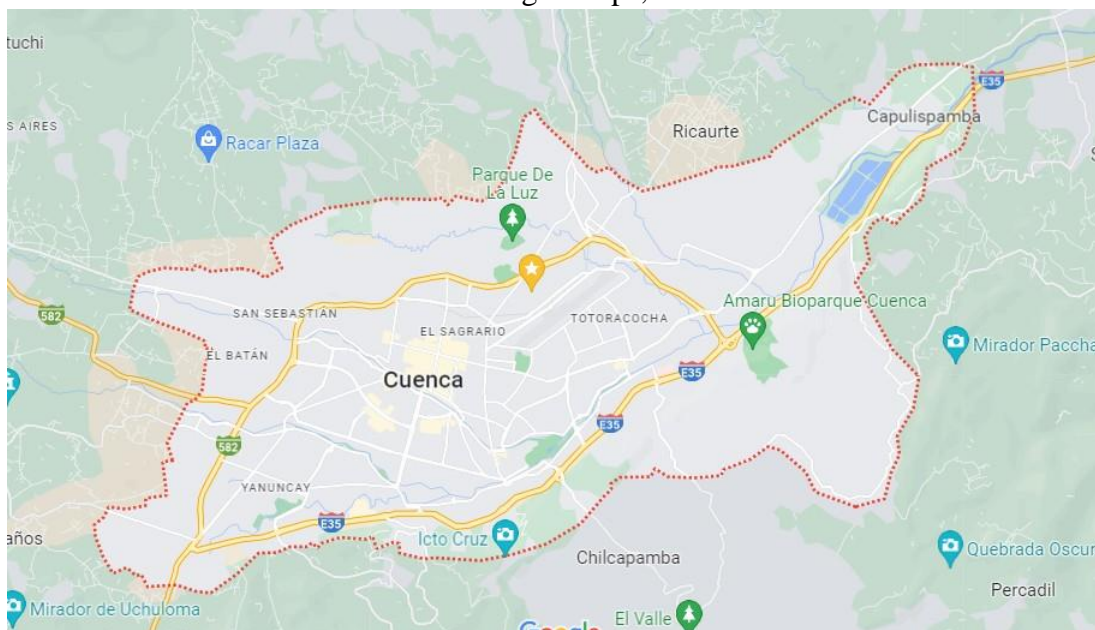
El aporte de esta investigación es generar un modelo de estimación de las emisiones generadas por los vehículos de categoría M1 en la ciudad de Cuenca, lo cual traerá beneficios para toda la ciudad, al establecer los factores que influyen de manera significativa en la emisión de gases contaminantes en Ecuador y así poder mejorar la precisión de las estimaciones de los mismos, además de determinar los aspectos en los que es necesario enfocarse para aumentar aún más la precisión del modelo.

2.3. Delimitación

La presente investigación se realizará en el cantón Cuenca, provincia del Azuay en Ecuador; el cantón Cuenca se encuentra a una altitud de 2500 m.s.n.m. y un clima que varía de 7°C a 18°C, este cantón tiene un área de 70,59 km², según la INEC (2017) tiene con una población de 636996 habitantes.

Figura 2.1: Ubicación de Cuenca

Fuente: Google Maps, 2023.



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de estimación de emisiones basado en las características constructivas de vehículos categoría M1 de la ciudad de Cuenca, mediante un análisis multivariante para analizar el comportamiento de factores relevantes en la emisión de contaminantes.

3.2. Objetivo específicos

- Realizar una investigación sobre el estado del arte referente a modelos de estimación de gases y a estudios que relacionen las características constructivas de vehículos con las emisiones de contaminantes.
- Recopilar información referente a los vehículos categoría M1 más representativos de la ciudad de Cuenca mediante una búsqueda en la base de datos EMOV.
- Generar un modelo de emisiones mediante la vinculación de las variables de estudio.
- Estudiar los resultados obtenidos mediante el análisis del gráfico obtenido .

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Clasificación vehicular




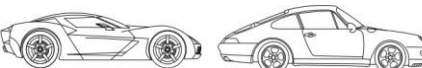

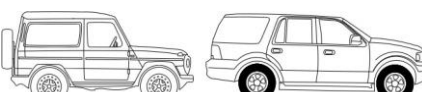
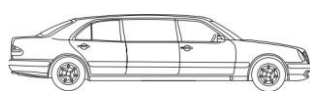

La clasificación de vehículos permite identificar los automotores según las características de su diseño y uso. Los criterios que se toman en cuenta pueden ser: número de ruedas, número de pasajeros, velocidad máxima, cilindrada, peso, actividad destinada, entre otros (INEN, 2016).

4.1.1. Subcategoría M1

Estos son todo vehículo motorizado el cual tenga no más de ocho plazas, además del asiento del conductor (INEN, 2016). Los tipos de vehículos que pertenecen a esta categoría son:

Tabla 4.1: Vehículos de la subcategoría M1.

Fuente: INEN, 2016.

CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
SED	SEDÁN		Tiene 3 volúmenes, con 4 puertas y hasta 5 plazas.
SWG	STATION WAGON		Techo fijo rígido extendido hacia atrás para incrementar el espacio de carga. Tiene hasta 5 plazas como máximo.
HBK	HATCHBACK		El área de pasajeros y la de carga son un solo volumen. Hasta 5 puertas y 5 plazas.
CPE	COUPÉ		Dos o más asientos en por lo menos 1 fila. Posee dos puertas.
CNV	CONVERTIBLE		La cubierta tiene al menos dos posiciones. En la primera cubre el cuerpo y en la segunda se retrae.
SUV	VEHÍCULO DEPORTIVO UTILITARIO		Debido a su configuración de altura libre al piso, ángulos de ataque, ventral y de salida, generalmente puede utilizarse en carreteras en mal estado o fuera de ellas.
LIM	LIMUSINA		La distancia entre sus ejes es extendida y está diseñada para llevar a un número mayor de pasajeros.
MVN	MINIVAN		Carga a pasajeros y su equipaje en un solo compartimiento o volumen.

4.2. Revisión técnica vehicular

La Revisión Técnica Vehicular (RTV) es un requisito para todo vehículo que desee realizar el proceso de matriculación. Este debe realizarse para legalizar la circulación de vehículos livianos y pesados, buses, taxis, furgonetas, camionetas, motocicletas y plataformas. El trámite consta de cuatro pasos: dirigirse al centro de atención para obtener el valor a pagar, cancelar

el valor para obtener un turno, llevar el vehículo a un Centro de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) para llevar a cabo las pruebas mecánicas y, por último, se obtienen los resultados que indican si el vehículo ha aprobado las pruebas (Gobierno de Ecuador, 2023).

4.2.1. Procedimientos

Para llevar a cabo una RTV se llevan a cabo una serie de pruebas al vehículo, cuyos resultados deberán estar dentro de los parámetros establecidos en la normativa respectiva. Los aspectos que se consideran son los siguientes:

- Verificación de autenticidad y correspondencia de documentación pertinente a la identificación del vehículo, número de placas y su documentación habilitante.
- Una inspección visual del vehículo que verifica su integridad estructural, modificaciones que comprometan la seguridad y funcionamiento, visibilidad del conductor y funcionamiento de dispositivos de seguridad y luces.
- Prueba de deriva dinámica en vehículos de más de tres ruedas en la que se verifica la presión de neumáticos y se hace pasar una de las ruedas delanteras sobre una placa móvil a una velocidad determinada.
- En vehículos de tres ruedas o más se realiza una prueba de suspensiones, en la cual se registra la eficiencia porcentual de las suspensiones.
- Una prueba de frenado que mide la eficiencia y el desequilibrio del frenado.
- Prueba de luces que mide la intensidad y su alineación.
- Una prueba de holguras que busca deformaciones, fisuras, roturas, desgaste excesivo, fugas y otros defectos en ejes, brazos, suspensiones, muelles, amortiguadores, sistema de transmisión y escape, entre otros.
- Comprobación del desgaste de los neumáticos.
- Prueba de nivel de ruido en decibeles (dB).

- Prueba de emisiones para motores Otto de 4 tiempos y motores diésel, cuyos procedimientos se describen en la NTE INEN 2203 y NTE INEN 2202, respectivamente.

Cada una de estas pruebas debe ser documentada correctamente (INEN, 2003).

4.3. Característica constructivas

Cuando se habla de las características constructivas de un vehículo se hace referencia a toda decisión sobre la estructura y diseño del vehículo que determinen el funcionamiento, rendimiento, consumo y comportamiento general del automotor. Todas las características confieren al automóvil una distinción singular.

4.3.1. Año de fabricación

El año de fabricación hace referencia al año en que fue creado o elaborado el vehículo, el cual tiene importancia ya que la tecnología avanza día a día y la misma es implementada a los vehículos.

Los vehículos de la actualidad son más respetuosos con el medio ambiente, más seguros, más veloces, con mayor torque, etc. Ventajas que van desde el catalizador hasta el control de estabilidad.

4.3.2. Cilindraje

La cilindrada es la cantidad de mezcla que puede admitir el motor, dependiendo de la cilindrada y las configuraciones del motor puede generarse mayores torques y potencias.

4.3.3. Par máximo

El par máximo es el valor máximo de torque que puede generar el motor, con los ajustes adecuados el motor puede alcanzar mayores torques sin poner en peligro la integridad del mismo.

4.3.4. Régimen de giro al par máximo

El régimen de giro al par máximo son el número de revoluciones a las que el motor alcanza su valor de par más alto, pasadas las mismas el par tiende a disminuir.

4.4. Estadística

La estadística es la ciencia que se ocupa de recolectar, analizar, presentar e interpretar los datos. Dentro de la estadística, se distinguen dos categorías principales: la estadística descriptiva

y la estadística inferencial (Mishra et al., 2019).

4.4.1. Población

La población se puede definir como el conjunto total de unidades que generalmente hace referencia a personas, objetos, transacciones o eventos que son de interés para llevar a cabo un estudio específico (McClave, Benson, y Sincich, 2008).

4.4.2. Muestra

La muestra es una fracción o porción seleccionada de la población de interés que se utiliza para realizar estudios (Lind, 2015).

4.4.3. Media aritmética

La media aritmética es un valor promedio que se ve influenciado por todos los valores de la distribución (Bencardino, 2019).

4.4.4. Media recortada

Para poder determinar el valor más representativo o típico de un conjunto de datos, el método más sencillo y rápido de utilizar es la media aritmética. La media aritmética, o también media, consiste en una suma de todos los valores asociados con un dato en específico, cuyo resultado luego se divide para el número de datos u observaciones. Una desventaja de este método es que la respuesta puede ser afectada por valores extremos, los cuales hacen que la media tienda hacia valores demasiado altos o bajos.

Con el fin de disminuir la aparición de estos sesgos se puede calcular una media recortada. Esta consiste en un número de valores en los extremos más altos y bajos de todos los datos con los que se cuenta, y luego calcular la media con el conjunto restante.

En un conjunto de n observaciones, para calcular una media recortada al X , siendo X un porcentaje determinado por nosotros, se deben eliminar la mitad de los datos del conjunto con los valores más bajos, que serán un porcentaje dado $X/2$, mientras que la otra mitad que se elimina es de los valores más altos.

Así, para un conjunto de 1000 datos, si se desea calcular la media recortada al 10 %, debe eliminarse un 5 % en ambos extremos, es decir, los 50 más bajos y los 50 más altos (Moya, 2007).

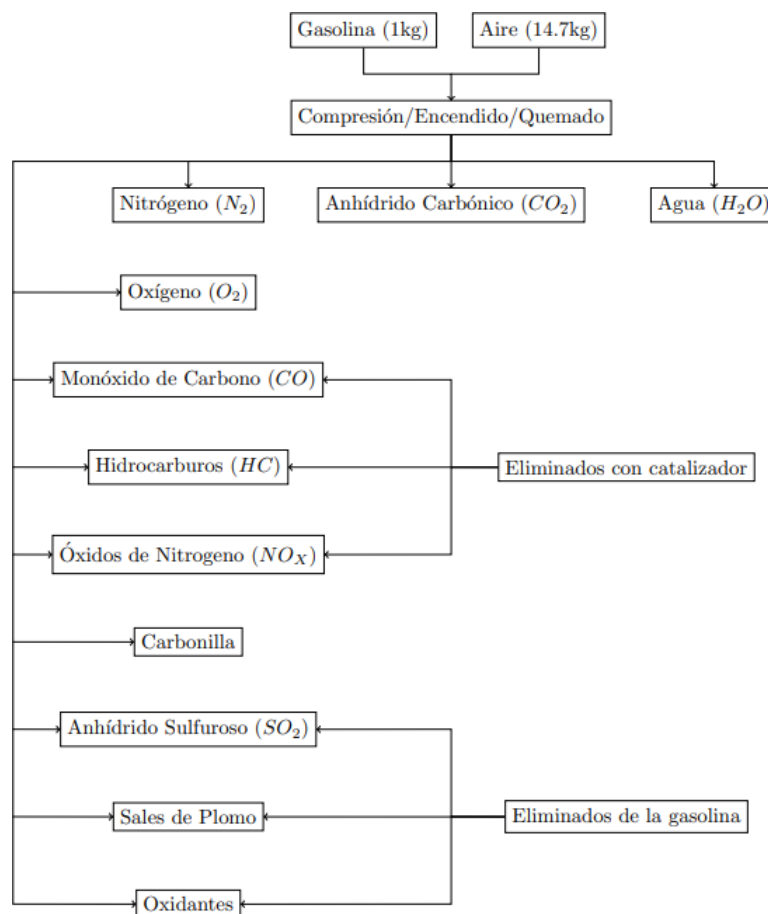
4.5. Emisiones contaminantes

Para el transporte de bienes y personas en el mundo circulan distintos tipos de vehículos mismo que usa combustibles como la gasolina y el diésel los que son mezclas de hidrocarburos, lo que implica que están formados de hidrogeno y carbono (Núñez Pérez, 2019).

En procesos ideales debería producirse como gases de escape nitrógeno, anhídrido carbónico y agua, pero debido a la variación de condiciones lo que en realidad producen es lo siguiente:

Figura 4.1: Emisiones reales.

Fuente: Núñez Pérez, 2019.



4.5.1. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro resultado de una combustión incompleta de materia orgánica, lo que se debe a la falta de oxígeno. El CO es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera y un gran problema ambiental.

Adicionalmente, según Téllez, Rodríguez, y Fajardo (2006) las fuentes que generan en mayor medida este contaminante son los vehículos que utiliza como fuente de energía térmica la gasolina o diésel, y procesos industriales, siendo responsables de un 80 % de las emisiones de CO .

4.5.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro e inodoro, gas que está compuesto de un átomo de carbono más dos átomos de oxígeno, los cuales se unen con un enlace covalente.

El CO_2 es producto de procesos de como respiración, combustión y de la fermentación, este gas ayuda a mantener parte de la radiación producida por el sol en la tierra y también a la fotosíntesis de las plantas lo que en grandes emisiones sería un problema, ya que el exceso de radiación produciría cambios en el ambiente (Arroyo y Ramírez Monroy, 2020).

4.5.3. Hidrocarburos

Los hidrocarburos (HC) son moléculas formadas por átomos de hidrógeno y carbono unidos mediante enlaces covalentes. Los hidrocarburos se encuentran en la naturaleza y se extraen de diferentes formaciones geológicas. Adicionalmente, los hidrocarburos se presentan en diferentes estados físicos, como líquido en el caso del petróleo, gas en el caso del gas natural y sólido en el caso del carbón (Chavez Amado, 2019).

Los hidrocarburos producidos por los vehículos son resultado del combustible no combustionado, resultado de mezclas ricas.

4.6. Factores de emisión

Debido a la naturaleza del proceso de combustión, los vehículos con motor de ciclo Otto generan emisiones que son desprendidas a la atmósfera durante su funcionamiento. Por esta

razón, es necesario un índice que indique la magnitud de las emisiones generadas. Los factores de emisión representan la masa de contaminante producida en una distancia determinada, como en gramos por kilómetro [g/km] (Agudelo, 2017). Se pueden obtener en el banco dinamométrico utilizando equipo diseñado para la medición de emisiones y las unidades que se obtengan durante estas el procedimiento depende del gas en cuestión, como [ppm] en la medición de *HC* o [%] en el caso de *CO* y *CO₂*

4.7. Modelos de estimaciones emisiones

Un modelo de estimación de emisiones estima la cantidad de contaminación generada por los vehículos. Los modelos se basan en información como años del vehículo, tipo de combustible, conducciones de condición y más características del vehículo (EPA, 2002).

El objetivo de los modelos es generar estrategias para reducir las emisiones, ya que según World Health Organization (2022) la contaminación del aire es un gran riesgo para la salud que puede generar cardiopatías, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias crónicas y agudas.

En 2019, la contaminación del aire causó 4.2 millones de muertes prematuras, el 89 % de las muertes fueron en países de bajos y medianos ingresos.

Algunos de los modelos más se detallan a continuación.

4.7.1. IVE

El IVE es un modelo internacional de emisiones vehiculares, creado por la Universidad de California, en conjunto con el Centro Internacional de Investigación en Sistemas Sustentables y también con el Colegio de Ingeniería del Centro para la Investigación Ambiental.

El modelo IVE se usa para estimar emisiones en base a las distintas condiciones existentes de otros lugares diferentes de Europa y Estados Unidos (Portal Díaz, 2020).

4.7.2. COPERT

El Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT) es un modelo para estimar emisiones de vehículos a gran escala creado por la Agencia Europea de Medio Ambiente.

El modelo COPERT se basa en el factor de emisión básico, y el coeficiente de corrección de columna es usado para calcular el factor de emisión del vehículo bajo condiciones reales (Li et al., 2019).

4.7.3. MOBILE-6

El MOBILE-6 es un modelo de emisiones desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que estima los factores de emisión de hidrocarburo (*HC*), monóxido de carbono (*CO*), óxidos de nitrógeno (*NO_x*), material particulado en los gases de escape, dióxido de azufre, amoníaco, gases tóxicos y dióxido de carbono (*CO₂*) de vehículos que usan combustibles como la gasolina y el diésel (EPA, 2002).

4.7.4. MOVES

El modelo MOVES es un simulador de emisiones de vehículos de motor, creado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) en los Estados Unidos, este modelo ayuda a calcular emisiones contaminantes y los factores de emisión (Portal Díaz, 2020).

Las emisiones estimadas por este modelo son:

- Monóxido de carbono (*CO*).
- Dióxido de carbono (*CO₂*).
- Hidrocarburos (*HC*).
- Óxidos de nitrógeno (*NO_x*).
- Dióxido de azufre (*SO₂*).
- Amoníaco (*NH₃*).
- Material particulado.
- Gases de efecto invernadero .
- Gases tóxicos.

4.8. Estimación de contaminantes

De acuerdo con Rivera Campoverde, Muñoz Sanz, y Arenas Ramirez (2021), es posible calcular las tasas de flujo másico de los gases contaminantes a partir de las concentraciones volumétricas de los contaminantes en los gases de escape. Para esto se utiliza la ecuación siguiente.

$$\dot{m}_{ex} = \dot{m}_{in} + \dot{m}_f \quad (4.1)$$

- \dot{m}_{ex} : Flujo másico de aire de escape.
- \dot{m}_{in} : Flujo másico de aire estimado por OBD.
- \dot{m}_f : Flujo de combustible.

Debido a que las emisiones son medidas en base seca, es necesario realizar las correcciones necesarias para calcular la concentración en base húmeda. Las ecuaciones que permiten eso son las que se muestran a continuación.

$$C_{wet,j} = k_{w,j} C_{dry,j} \quad (4.2)$$

$$k_w = \frac{1,008}{1 + 0,005\alpha (C_{CO_2} + C_{CO})} \quad (4.3)$$

- $C_{wet,j}$: Concentración en base húmeda del contaminante j .
- $C_{dry,j}$: Concentración del contaminante en base seca.
- k_w : Factor de corrección de base seca a húmeda.
- α : Relación molar del hidrógeno.
- C_{CO_2} : Concentración de CO_2 en base seca.
- C_{CO} : Concentración de CO en base seca.

Las emisiones de masa en un instante determinado de cada contaminante en [g/s] se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$\dot{m}_{j,i} = c_{j,i} \mu_{j,i} \dot{m}_{ex,i} 10^{-3} \quad (4.4)$$

- $\dot{m}_{j,i}$: Emisiones de masa instantánea.
- i : Número de medición.
- c_j : Concentración instantánea del gas componente en [ppm].
- μ_j : Relación entre la densidad de cada componente y la densidad global del escape.

La cantidad de emisión de cada contaminante m_j [g] durante el ciclo de conducción es el resultado de sumar todas las emisiones instantáneas del contaminante a lo largo del tiempo.

$$m_j = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{j,i} \delta t \quad (4.5)$$

- \dot{m} : Flujo másico instantáneo del contaminante j .
- n : Número de muestras.
- δt : Tiempo de muestreo (0.1s).

Se pueden calcular los valores de emisión de cada contaminante medidos en [g/km] para una sección k , la toma los valores correspondientes a las secciones de áreas urbanas, rurales y autopistas, en la prueba de Emisiones en Conducción Real (RDE).

$$F_{j,k} = \frac{m_{j,k}}{s_k} \quad (4.6)$$

- $F_{j,k}$: Factor de emisiones por cada contaminante en sección k .
- $m_{j,k}$: Masa del contaminante j .
- s : Distancia recorrida en la sección k de la prueba RDE.

Para cada marcha se puede calcular el flujo másico de cada contaminante, la masa total por viaje, la distancia de recorrido total y los factores de emisión por cada contaminante. Las fórmulas se muestran en el orden respectivo a continuación.

$$\dot{m}_{j,i,G} = c_{j,i} \mu_{j,i} \dot{m}_{ex,i} G_i 10^{-3} \quad (4.7)$$

- $\dot{m}_{j,i}$ Flujo másico de cada contaminante por marcha.
- G : Marcha seleccionada.

$$m_{j,G} = \sum_{i=1}^4 \dot{m}_{j,i} G_i \delta t \quad (4.8)$$

- $m_{j,G}$: Masa total del viaje por marcha.

$$s_{j,G} = \sum_{i=1}^4 3,6 V S S_{j,i} G_i \delta t \quad (4.9)$$

- G : Marcha seleccionada.
- $s_{j,G}$: Distancia recorrida por marcha.
- VSS : Velocidad [km/h]

$$F_{j,G} = \frac{m_{j,G}}{s_{j,G}} \quad (4.10)$$

- $F_{j,G}$: Factor de emisiones de cada contaminante por marcha.
- $m_{j,G}$: Masa total de recorrido por marcha.
- $s_{j,G}$: Distancia total recorrida por marcha.

4.9. Método de evaluación de incertidumbre

Según EMOV EP (2016), debido a la existencia de la incertidumbre en los modelos para estimar emisiones es importante incluir una evaluación de la incertidumbre, donde la calificación global se interpreta de la siguiente manera:

- Categoría A, la calidad es muy alta. La estimación es bastante fiable.
- Categoría B, calidad alta. La estimación es fiable, pero se pueden tomar acciones para disminuir su incertidumbre.
- Categoría C, calidad media. La estimación es medianamente fiable y se podría mejorar, en función del nivel de las emisiones del sector calificado y su peso en relación al valor total del inventario de emisiones.

- Categoría D, calidad baja. La estimación es poco fiable y se recomienda mejorarla, en función del nivel de las emisiones del sector calificado y su peso en relación al total del inventario de emisiones.
- Categoría E, calidad muy baja. La estimación es muy poco fiable y se recomienda mejorarla, en función del nivel de las emisiones del sector calificado y su peso en relación al total del inventario de emisiones. La estimación no ha sido corroborada con mediciones.

Tabla 4.2: Matriz de calificación de incertidumbre de inventario de emisiones.

Fuente: EMOV EP, 2016.

ACTIVIDAD					
	A	B	C	D	E
A	A	A	B	C	C
B	A	B	B	C	D
C	B	B	C	C	D
D	C	C	C	D	D
E	C	D	D	D	E

En la última evaluación de incertidumbre sobre las emisiones del tráfico vehicular de la ciudad de Cuenca la mayor estimación alcanzada fue de B para buses diésel, por otro lado para automóviles a gasolina es categoría C. En los otros casos se tiene una estimación de C y D.

5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE VEHÍCULOS CATEGORÍA M1 MÁS REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DE CUENCA

En el Ecuador en la norma NTE INEN 2204:2017 se establecen los límites máximos de emisiones de fuentes móviles a gasolina para que un vehículo pueda circular legalmente dentro del país (INEN, 2017). Para poder aprobar la revisión técnica vehicular se realizan distintas pruebas que mediante las cuales se determina la condición actual del vehículo. Una de estas condiciones son las emisiones contaminantes que generan, las cuales para los vehículos de categoría M1 deben estar por debajo de los valores correspondientes, descritos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Características de vehículos de categoría M1.

Fuente: INEN, 2017.

CATEGORÍA	CLASE	PESO DE REFERENCIA (PR) KG	CO g/km	HC + NOx g/km	NOx
M1	-	1350-2500	0,2	-	0,15
Ciclo de prueba: ECE + EUDC (MVEG-A)					

Los resultados que se obtienen de los vehículos que cumplen la normativa durante la revisión técnica vehicular son ingresados en la base de datos perteneciente a la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV).

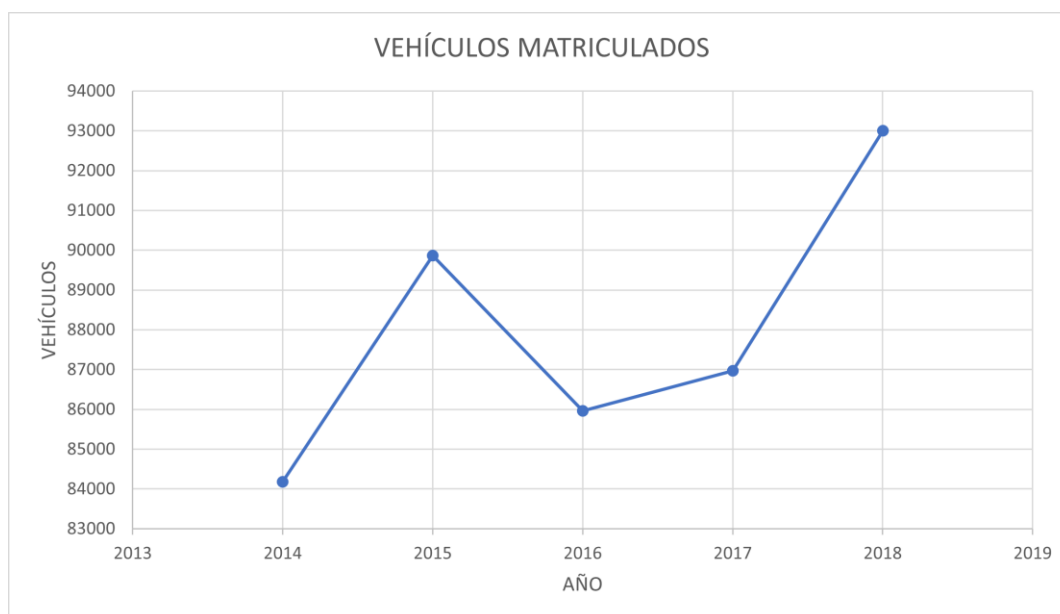
5.1. Número de vehículos matriculados en Cuenca

En la página de la AEADE, en el 2018 se matricularon alrededor de 93000 vehículos en la ciudad de Cuenca, según estimaciones de la EMOV. En enero del 2018 se matricularon 38073 vehículos; en febrero del mismo año, 7102; en marzo, 8922; en abril, 8231; en mayo, 9626; en junio, 8777; en julio, 8554; en agosto, 9218; y en septiembre, 7866.

No se cuenta con datos de los últimos meses, pero en los registros de la EMOV del año 2016 se matricularon 85961 vehículos y en el 2017 esta cifra aumentó a 86966, por lo que se espera que las cifras de este último año aumenten.

Figura 5.1: Vehículos matriculados por años.

Fuente: AEADE, 2023.



5.2. Obtención de la base de datos de la EMOV

- Se requiere llevar a cabo una identificación exhaustiva de la información esencial y necesaria para llevar a cabo el proyecto en cuestión.

- Es preciso realizar una investigación detallada de los inventarios de emisiones contaminantes que se encuentren disponibles en línea, específicamente para la ciudad de Cuenca.
- Se debe solicitar formalmente la base de datos correspondiente a la Revisión Técnica Vehicular (RTV) a la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV).
- Es necesario organizar y llevar a cabo reuniones con los funcionarios de la EMOV con el fin de obtener la aprobación para la entrega de la base de datos requerida.
- Se debe proceder a obtener la base de datos de la RTV una vez que la solicitud haya sido aprobada por la EMOV.
- Se requiere realizar una revisión detallada de los datos obtenidos para corroborar su validez y confirmar que se puedan utilizar en el proyecto, tal como fue autorizado por la EMOV.

5.3. Preparación de la base de datos de la EMOV

En la base de datos de la EMOV existen datos como los que se encuentran a continuación, en los cuales los resultados de la revisión no son valores que se pueden utilizar para el análisis, sino son observaciones con anotaciones como: rayones, no se visualiza el kilometraje, no posee por modelo, etc.

Figura 5.2: Datos no válidos.

Fuente: Autores.

ID VEHICULO	MARCA	MODELO	CLILINDRAJE	AÑOFABRIG	FECHA PRES	COD MAHA	REVISION	IC DESCRIPCION	IC REVISION	OBSERVACIONES
1817672	KIA	SPORTAGE R	2000	2014	20180702	651	34	KILOME	RAJ rayones	
127177	CHEVROLET	CHEVYTAXI	1500	2007	20180801	651	32	KILOME	RAJ ok	
11191	VOLKSWAGE	ESCARABAJC	1300	1980	20180123	651	32	KILOME	RAJ no se visualiza correctamente	
175894	HONDA	CIVIC FB265C	1800	2012	20180208	651	31	KILOME	RAJ no se visualiza km	
120935	CHEVROLET	TRAILBLAZER	5300	2006	20180326	651	32	KILOME	RAJ no se visualiza kilometraje	
90752	CHEVROLET	VITARA SP 4i	1590	1998	20180127	651	31	KILOME	RAJ no se visualiza kilometraje	
131893	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1400	2007	20180305	651	30	KILOME	RAJ no se visualiza	
1793116	DAYTONA	DY250 RX	250	2014	20180131	651	11	KILOME	RAJ no se visualiza	
65686	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2003	20180301	651	32	KILOME	RAJ no se visualiza	
79238	SUZUKI	FORSA I.O.L.T	1000	1993	20180308	651	18	KILOME	RAJ no se visualiza	
112588	NISSAN	SENTRA M/T	1600	1998	20180301	651	20	KILOME	RAJ no se visualiza	
214633	MITSUBISHI	RVR SE FWDI	2000	2015	20180315	651	30	KILOME	RAJ no se visualiza	
134713	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1400	2008	20180205	651	16	KILOME	RAJ no se visualiza	
182060	DUKARE	DK250X	250	2013	20180208	651	10	KILOME	RAJ no se puede visualizar	
40238	CHEVROLET	CORSA EVOL	1400	2005	20180215	651	32	KILOME	RAJ no se puede observar el km	
207589	FACTORY	FX250E	250	2015	20180216	651	13	KILOME	RAJ no posee por modelo	
205629	FACTORY	FX250E	250	2014	20180112	651	11	KILOME	RAJ no posee odometro	
198155	HARLEY DAV	FLHRCI ROAE	1600	2007	20180313	651	10	KILOME	RAJ no posee	
133244	KOSHIN	MOTIGW 125 SA	125	2008	20180206	651	12	KILOME	RAJ no posee	

También existen vehículos cuyos kilometrajes presentan un valor de cero, los cuales afectarán la media del vehículo.

Figura 5.3: Datos con KM 0.

Fuente: Autores.

ID VEHICULO	MARCA	MODELO	CLILINDRAJE	AÑOFABRIG	FECHA PRES	COD MAHA	REVISION	IC DESCRIPCION	IC REVISION	OBSERVACIONES
176982	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1600	2009	20180316	651	30	KILOMETRAJ	k00	0
70399	FORD	EXPLORER LII	4600	2004	20180824	651	19	KILOMETRAJ	k00	0
27460	CHEVROLET	CHEYENNE 4i	2400	2000	20180207	651	18	KILOMETRAJ	k0	0
45409	HINO	GD11PTZ	7961	2006	20180313	651	11	KILOMETRAJ	k0	0
101032	FORD	F150 XL 4X2	2500	2002	20180129	651	33	KILOMETRAJ	k0	0
8185	GMC	SIERRA	1600	1979	20180208	651	31	KILOMETRAJ	k0	0
182988	MERCEDES B	1728/51	6374	2007	20180202	651	11	KILOMETRAJ	k0	0
893209	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2003	20180221	651	27	KILOMETRAJ	k0	0
615467	RENAULT	MEGANE 1.6	1600	2004	20180208	651	33	KILOMETRAJ	k0	0
132889	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1400	2008	20180113	651	32	KILOMETRAJ	k0	0
1813927	HYUNDAI	HD72 LWB 1 T	3907	2013	20180425	651	11	KILOMETRAJ	k0	0
58174	MAZDA	ALLEGRO HA	1600	2006	20180323	651	21	KILOMETRAJ	k0	0
215968	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1600	2009	20180228	651	32	KILOMETRAJ	k0	0
127177	CHEVROLET	CHEVYTAXI	1500	2007	20180125	651	37	KILOMETRAJ	k0	0
95765	CHEVROLET	TROOPER SP	3200	1999	20180412	651	32	KILOMETRAJ	k0	0
230	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2004	20180113	651	33	KILOMETRAJ	k0	0
197852	CHEVROLET	AVEO ACTIVI	1400	2008	20180329	651	34	KILOMETRAJ	k0	0
35611	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2004	20180303	651	32	KILOMETRAJ	k0	0
40708	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2006	20180215	651	31	KILOMETRAJ	k0	0
1810033	KIA	RIO LX 1.4 4P	1368	2018	20180214	651	33	KILOMETRAJ	k0	0
1414659	MERCEDES B	OF 1721/52	1000	2006	20180209	651	12	KILOMETRAJ	k0	0
206052	MARCO POLI	VOLARE VS	3690	2012	20180305	651	11	KILOMETRAJ	k0	0
133330	CHEVROLET	CORSA EVOL	1400	2007	20180210	651	32	KILOMETRAJ	k0	0

Además, algunos vehículos no tenían ningún valor asignado en su kilometraje, razón por la cual se descartaron estos vehículos.

Figura 5.4: Datos sin valores asignados.

Fuente: Autores.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in columns A through I:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
6399	34028	TOYOTA	YARIS 3P	1300	2004	20180816	651	34	KILOMET
6400	5072	MERCEDES B	OF 1721-52	15000	2003	20180707	651	12	KILOMET
6401	220414	CHEVROLET	SPARK AC 1.0	1000	2014	20180911	651	34	KILOMET
6402	127335	CHEVROLET	CORSA EVOL	1400	2007	20180521	651	34	KILOMET
6403	38370	MAZDA	B2200 CABIN	2200	2005	20180315	651	31	KILOMET
6404	66021	CHEVROLET	LUV C/D 4X2	2198	2003	20180911	651	36	KILOMET
6405	1810166	HYUNDAI	ACCENT 1.6 4	1600	2018	20180402	651	31	KILOMET
6406	210256	CHEVROLET	NLR 55E 2.8 2	2800	2016	20180502	651	11	KILOMET
6407	190092	FORD	F150 AC 5.0 C	5000	2013	20180118	651	32	KILOMET
6408	195324	KIA	SPORTAGE R	2000	2012	20180703	651	33	KILOMET
6409	196351	FACTORY	FX250E	250	2014	20180302	651	11	KILOMET
6410	263450	CHEVROLET	CORSA EVOL	1400	2005	20180714	651	34	KILOMET
6411	5242	MERCEDES B	OF 1721-52	8000	2004	20180405	651	11	KILOMET
6412	11658	CHEVROLET	LUV	2000	1986	20180901	651	33	KILOMET
6413	180723	BAJAJ	PULSAR 200	200	2013	20180223	651	10	KILOMET
6414	1798641	HYUNDAI	NEW ACCEN	1600	2012	20180207	651	32	KILOMET
6415	152185	CHEVROLET	SPARK SP STI	1000	2011	20180710	651	34	KILOMET
6416	17750	CHEVROLET	SWIFT	1600	1994	20180403	651	28	KILOMET
6417	189348	CHEVROLET	AVEO FAMIL	1498	2014	20180529	651	32	KILOMET
6418	146458	YAMAHA	DT175	175	2010	20180727	651	11	KILOMET
6419	150387	HYUNDAI	TQ 12P 2.5 TT	2500	2010	20180711	651	19	KILOMET
6420	87531	CHEVROLET	FORSA 1.0LT	1000	1996	20180308	651	32	KILOMET
6421	29220	MITSUBISHI	MONTERO/5	3500	2002	20180711	651	32	KILOMET
6422	144365	CHEVROLET	LUV D-MAX 2	2500	2009	20180424	651	18	KILOMET

Column J contains empty cells, highlighted by a red box. The status bar at the bottom shows 'Recuento: 3520'.

Como se puede observar, la preparación de datos se llevó a cabo con el fin de poder obtener estadísticas como las medias, conteos, etc.

Figura 5.5: Datos preparados.

Fuente: Autores.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in columns A through L:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	MARCA	MODELO	CC	AÑO		KM	KM					
2	CHEVROLET	VITARA 1.6L	1600	2011		106977	106977					
3	BMW	G650 GS	652	2013		1185 millas	1902					
4	BMW	Z4	3000	2008		18982 millas	30466					
5	BMW	BX 3	3000	2007		43959 millas	70554					
6	BMW	XS 3.0i	3000	2005		49494 millas	79438					
7	BMW	X3 3.0	3000	2007		53859 millas	86444					
8	CHEVROLET	TAHOE HIBRI	6000	2010		76023 millas	122017					
9	BMW	X3	3000	2008		85010 millas	136441					
10	BMW	X3	3000	2007		95957 millas	154011					
11	CHEVROLET	LUV C/S 4X2	2300	1995		317890	317890					
12	CHEVROLET	LUV C/D 4X2	2198	2004		123534	123534					
13	CHEVROLET	CORSA EVOL	1800	2004		173526	173526					
14	CHEVROLET	SPARK SP STI	1000	2009		22928	22928					
15	CHEVROLET	VITARA 5P S	1600	1996		85410	85410					
16	CHEVROLET	GRAND VITA	2000	2007		89613	89613					
17	CHEVROLET	LUV C/D 4X2	2254	1993		215080	215080					
18	CHEVROLET	LUV D-MAX C	3500	2007		290151	290151					
19	CHEVROLET	LUV C/S 4X2	2450	1992		446820	446820					
20	CHEVROLET	LUV D-MAX 2	2400	2009		196036	196036					
21	CHEVROLET	RODEO V6 T/	3165	2002		275067	275067					
22	CHEVROLET	FORSA 1.0LT	1000	1998		40712	40712					
23	CHEVROLET	LUV C/S 4X2	2300	1996		6300791	6300791					
24	CHEVROLET	TROOPER UBS16-CLK STD	1993	1993		4055026	4055026					

Columns K and L contain calculated values, highlighted by a red box. The status bar at the bottom shows 'Promedio: 162366.4461', 'Recuento: 57076', and 'Suma: 6925578390'.

5.4. Estadísticas y tabulación de los datos

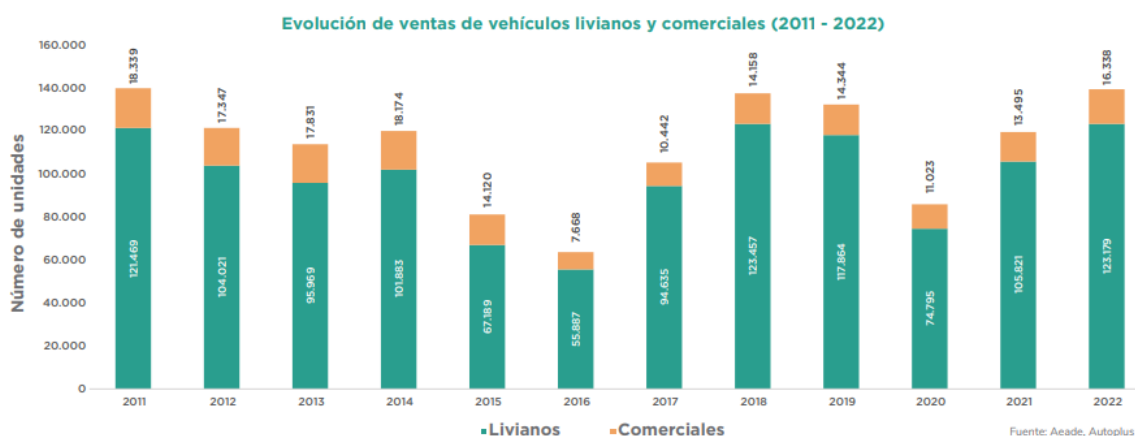
Con los informes anuales de la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) (AEADE, 2023) y con las bases de datos de la EMOV del 2017 y 2018, se comprenderá la tendencia del mercado.

5.4.1. Ventas anuales de tipos de vehículo

En el informe anual de la AEADE se reportó que en el año 2022 hubo un total de 123.179 de ventas de vehículos livianos en el Ecuador, mientras que para los vehículos comerciales se reportó 16.338 unidades vendidas en el año.

Figura 5.6: Ventas anuales de vehículos en el Ecuador.

Fuente: AEADE, 2023.



De este total en ventas, los automóviles tuvieron un total de 34.324 ventas, que es un decremento de 2.16 % con respecto al año anterior.

Figura 5.7: Ventas de automóviles en el Ecuador.

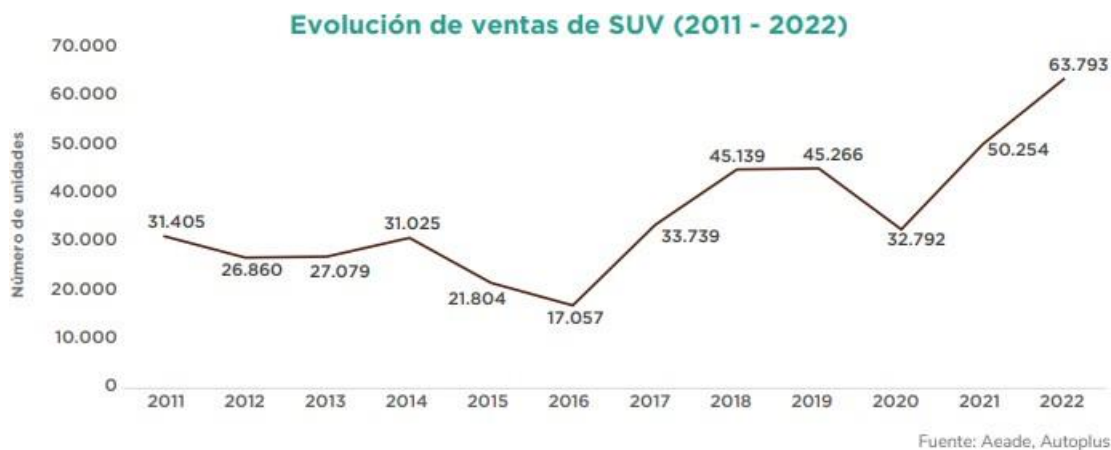
Fuente: AEADE, 2023.



El número de ventas de SUV aumentó en un 26.94 % con respecto al año anterior, sumando un total de 34.324 unidades vendidas.

Figura 5.8: Ventas de vehículos tipo SUV en el Ecuador.

Fuente: AEADE, 2023.



Las camionetas vendidas en el año fueron 25.062, lo cual representa un aumento del 22.34 % frente a las ventas del año pasado.

Figura 5.9: Ventas de camionetas en el Ecuador.

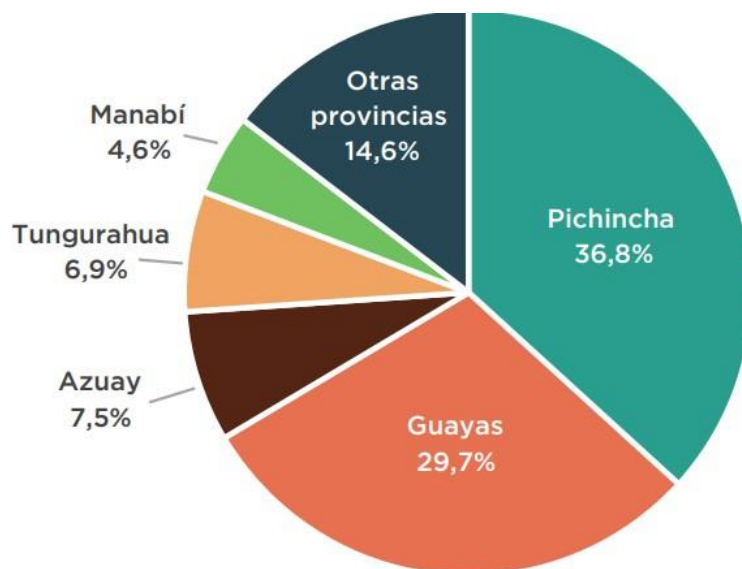
Fuente: AEADE, 2023.



El informe de la AEADE en 2022 indica el total de vehículos vendidos en el Ecuador, siendo así que la provincia del Azuay ocupa el tercer lugar en ventas con un total de 10417 vehículos vendidos, lo que representa el 7.5 %.

Figura 5.10: Venta de vehículos por provincia en el Ecuador.

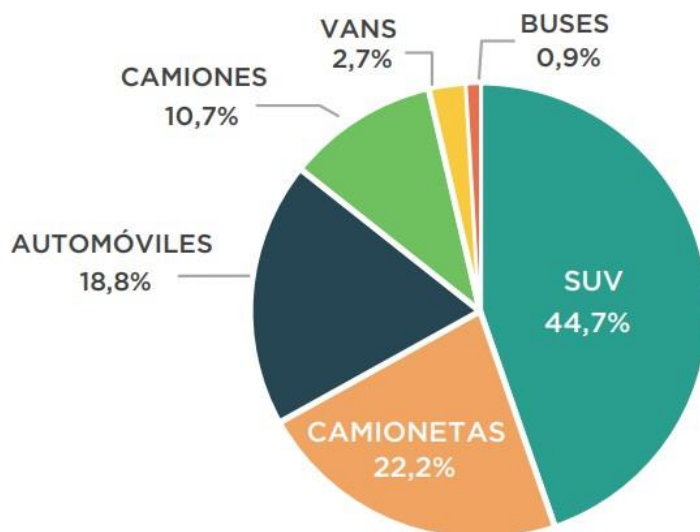
Fuente: AEADE, 2023.



Del 7.5 % de ventas realizadas en el Azuay tenemos que la preferencia del mercado es hacia vehículos tipo SUV con un porcentaje de 44.7 %, seguido de las camionetas que representan un 22.2 %, los automóviles con 18.8 %, los camiones con un 10.7 %, vans con un 2.7 % y por ultimo los buses con un 0.9 %.

Figura 5.11: Venta de vehículos por tipo.

Fuente: AEADE, 2023.



Los vehículos principalmente vendidos en el Azuay en el 2022 fueron:

Tabla 5.2: Vehículos vendidos en el Azuay.

Fuente: Autores.

VEHICULO	MARCA	CANTIDAD
X70 II MT 1.5 T 5P 4x2	JETOUR	395
D-MAX CRDI HI RIDE AC 2.5 CD 4X2 TM DIÉSEL	CHEVROLET	317
GRAND I10 HB GLS AC 1.2 5P 4X2 TM	HYUNDAI	179
X70 I MT 1.5 T 5P 4X2	JETOUR	178
STEPWAY INTENS FASE II AC1.6 5P 4X2 TM	RENAULT	172

Como se dijo anteriormente la preferencia es los vehículos tipo SUV, lo cual indica la inclinación del mercado para el análisis de datos a futuro.

Por otro lado, la base de datos obtenida del EMOV fue trabajada en Excel, lo cual permite tabularlos de una manera más amigable.

5.4.2. Vehículos con mayor kilometraje recorrido

Con la finalidad de determinar el kilometraje anual medio recorrido por los vehículos del sector público o vehículos con un alto kilometraje recorrido en el sector privado para la categoría de vehículos M1 en la ciudad de Cuenca, se filtraron los datos con mayor recorrido anual. Bajo este criterio, se generó la siguiente tabla con el Vehículo del vehículo y el kilometraje anual medio correspondiente.

Tabla 5.3: Vehículos con mayor recorrido en el año 2017

Fuente: Autores.

MARCA	VEHÍCULO	KM MEDIO ANUAL
CHEVROLET	CHEVYTAXI A/C 2011	68694
CHEVROLET	CHEVYTAXI A/C 2005	64090
CHEVROLET	CHEVYTAXI A/C 2009	62966
CHEVROLET	CHEVYTAXI 2011	61880
CHEVROLET	CHEVYTAXI A/C 2007	60385
CHEVROLET	CHEVYTAXI 2009	59230
CHEVROLET	CHEVYTAXI 2007	58519
CHEVROLET	CHEVYTAXI A/C 2008	58402
CHEVROLET	CHEVY TAXI 1.5L AC 2009	57165
CHEVROLET	CHEVY TAXI 1.5L STD 2009	56443

Tabla 5.4: Vehículos con más recorrido anual hasta el año 2018.

Fuente: Autores.

MARCA	VEHÍCULO	KM MEDIO ANUAL
HYUNDAI	ACCENT TAXI 4P 1.6 BLS4A7615 DD246	63191
CHEVROLET	CHEVYTAXI STD	62307
HYUNDAI	ACCENT 4DR 1.4	67654
KIA	RIO R TM 1.4 4P 4X2 LX TAXI DE	64140
HYUNDAI	ACCENT GLS GAA TM S4A7615GG030	66125
KIA	RIO R LX 1.4 4P 4X2 TM	89898
HYUNDAI	ACCENT SP 4P 1.6	76116
CITROEN	C-ELYSEE N1 AC 1.6 5P 4X2 TM	68389
HYUNDAI	ACCENT TM 1.6 4P 4X2	79181
HYUNDAI	ACCENT GLS GXX 4D TM BLFGR65 09 COREA	65344
NISSAN	NP300 FRONTIER CABINA DOBLE TM 2.4 4P 4X2 16V	64224
HYUNDAI	ELANTRA SF AC 1.6 4P 4X2 TM	62852
NISSAN	TIIDA AIRBAG ABS AC 1.6 4P 4X2 TM	62468
FORD	F150 XLT SC AC 3.5 CD 4X2 TA	112492
HYUNDAI	ACCENT TAXI 4P 1.4	92259
CITROEN	C-ELYSEE AC 1.6 4P 4X2 TM	116439
FORD	EXPLORER BASE AC 3.7 4P 4X2 TA	106983
KIA	RIO TAXI 1.4L MT	64691
TOYOTA	4J COROLLA 1.8 TM	64652
HYUNDAI	ACCENT GLS GAA TM BLS4A7615 G	62089
MAZDA	BT-50 VERSION ESPECIAL 2.2 CD 4X2 TM	62068

5.4.3. Marcas más populares

Con la base de datos del EMOV se filtraron, tabularon y ordenaron las marcas fabricantes de vehículos M1 con mayor prevalencia en la ciudad de Cuenca. La tabla obtenida refleja la preferencia de marcas en el año 2018.

Tabla 5.5: Marcas más populares en 2018.

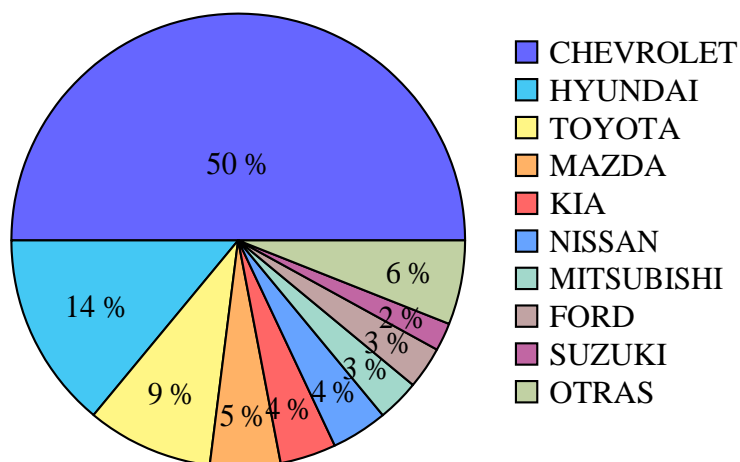
Fuente: Autores.

MARCA	CANTIDAD
CHEVROLET	26779
HYUNDAI	7202
TOYOTA	4829
MAZDA	2865
KIA	2227
NISSAN	2129
FORD	1713
MITSUBISHI	1667
SUZUKI	1065
OTRAS	2734

Según estos datos, Chevrolet es la marca más representativa con un 50 %, seguido de Hyundai con un 14 %, después Toyota con un 9 %, Mazda con 5 % y otras marcas conforman el porcentaje restante.

Figura 5.12: Marcas presentes en la ciudad de Cuenca en el año 2018.

Fuente: Autores.



5.4.4. Vehículos más populares

Los vehículos de categoría M1 de la base de datos fueron filtrados y organizados de mayor a menor en orden de popularidad, de los cuales se generó una lista con los 15 vehículos más populares.

Tabla 5.6: Vehículos más populares hasta el año 2018.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CANTIDAD
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	1422
CHEVROLET AVEO 5P 1.6L	1298
CHEVROLET GRAND VITARA 5P 2.0L	1188
SUZUKI GRAND VITARA SZ 5P 2.0L	1175
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1133
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	950
SUZUKI FORSA 1.0L	934
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	821
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	786
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	768
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	655
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	594
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	556
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	463
NISSAN SENTRA 1.6L	364

5.4.5. Emisiones de los vehículos más populares

Según la base de datos del EMOV, y tabulando los datos mediante el uso del software Excel, se obtuvo la media de emisiones de los vehículos más populares de la ciudad de Cuenca como se puede ver en la tabla 5.8; donde se muestran los valores obtenidos de los gases CO , CO_2 y HC con valores a una media de 800 RPM (BAJAS RPM) y a una media de 2500 RPM (ALTAS RPM) .

Tabla 5.7: Características constructivas de las marcas más populares.

Fuente: Autores.

VEHICULO	PESO KG	PAR NM	RPM PAR MAX	CC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1040	128	3000	1500
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1410	144,1	3600	1600
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	863	93	4800	1000
CHEVROLET AVEO 5P 1.6L	1203	155	4000	1600
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	1070	131	4200	1400
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	1135	165	4600	1800
CHEVROLET AVEO 5P 1.4L	1203	130	3400	1400
SUZUKI FORSA 1.0L	630	83	3000	1000
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	1320	148	4000	1400
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1210	156	4200	1600
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	1508	204	4700	2000
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	1428	192	4500	2000
NISSAN SENTRA 1.6L	1377	146	4400	1600
SUZUKI GRAND VITARA SZ 5P 2.0L	1330	174	4300	2000
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	1330	250	1750	2000

VEHICULO	CO		HC		CO ₂	LAMBDA	LAMBDA	BAJAS	ALTAS
	BAJAS	ALTAS	BAJAS	ALTAS	ALTAS	ALTAS	BAJAS	RPMs	RPMs
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5l	0,093	0,105	36,594	38,108	14,627	1,016	1,031	807	2505
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0,141	0,151	53,128	45,408	14,596	1,019	1,028	810	2493
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	0,329	0,371	96,435	70,011	14,317	1,02	1,03	818	2495
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0,13	0,11	41,655	41,032	14,633	1,016	1,028	821	2494
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0,086	0,092	28,606	33,229	14,69	1,016	1,023	813	2508
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8	0,636	0,802	202,629	97,876	13,818	1,018	1,03	806	2513
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0,264	0,214	70,611	51,525	14,65	1,007	1,017	808	2491
SUZUKI FORSA 1.0L	2,366	4,007	339,534	234,105	11,808	0,929	1,056	943	2516
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4	0,635	0,691	182,483	93,003	13,961	1,019	1,049	821	2507
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	0,313	0,377	110,011	82,38	14,387	1,016	1,025	729	2502
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	0,297	0,505	109,191	75,916	14,238	1,016	1,055	713	2479
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	0,324	0,403	115,125	90,342	14,397	1,013	1,016	690	2492
NISSAN SENTRA 1.6L	0,315	0,499	123,717	82,236	14,158	1,021	1,043	738	2495
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	0,115	0,285	77,054	63,689	14,549	1,01	1,025	723	2487
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	0,238	0,399	101,406	79,009	14,305	1,021	1,041	703	2487

Tabla 5.8: Vehículos más populares en 2018.
Fuente: Autores.

5.4.6. Recorrido anual de los vehículos más populares

Después de haber identificado los vehículos más populares, se procede a obtener el recorrido anual promedio de cada uno de ellos. Este dato sirve para calcular las emisiones generadas en un año por cada vehículo.

Tabla 5.9: Kilometraje anual de los vehículos más populares.

Fuente: Autores.

VEHICULO	KM MEDIO ANUAL
AVEO FAMILY 1.5L	14165
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	16382
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	12934
CHEVROLET AVEO 5P 1.6L	16404
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	14208
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	13383
CHEVROLET AVEO 5P 1.4L	14828
SUZUKI FORSA 1.0L	10981
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	14035
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	40243
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	14145
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	12983
NISSAN SENTRA 1.6L	34737
SUZUKI GRAND VITARA SZ 5P 2.0L	13676
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	12766

6. GENERACIÓN DEL MODELO DE EMISIONES

El modelo de estimación depende de gases medidos en distintos vehículos como CO , CO_2 y HC , siendo así que se debe conocer los valores normales de las emisiones.

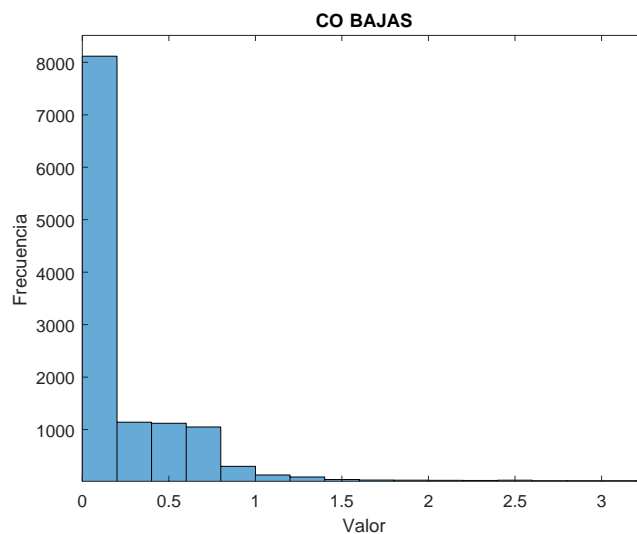
6.1. Histogramas

Con el objetivo de obtener una apreciación visual y rápida de la distribución de la emisión de los gases, se usan los histogramas, mismos que representan de manera gráfica los valores más frecuentes que pueden tomar las emisiones de los 15 vehículos más populares.

Los 15 vehículos más populares constituyen una muestra de 12577 de su población en la ciudad de Cuenca.

Figura 6.1: CO en [%] a 800 RPM.

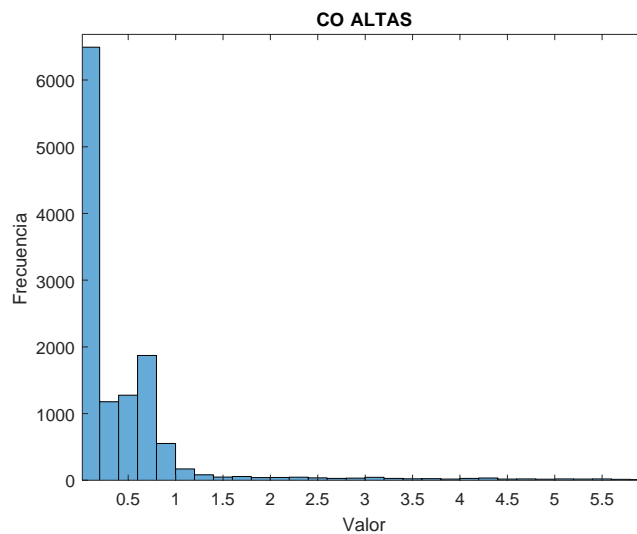
Fuente: Autores.



Los valores para emisiones de CO en 800 RPM se presentan en la figura 6.1, siendo así que el porcentaje de emisión de este gas debe estar entre 0 a 1 % con condiciones de la ciudad de Cuenca.

Figura 6.2: CO en [%] a 2500 RPM.

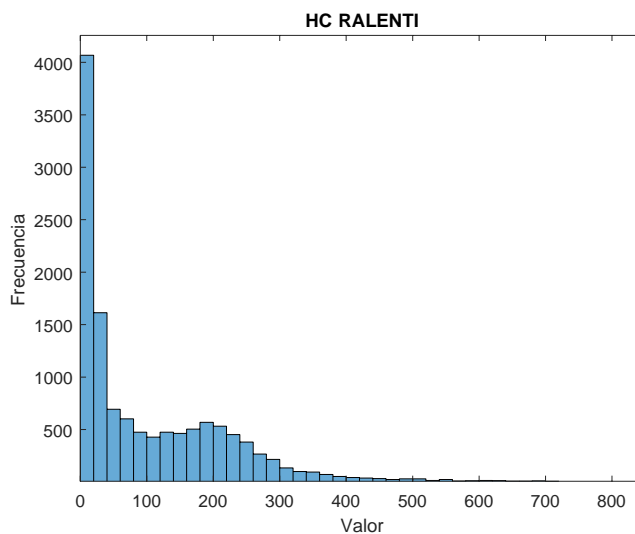
Fuente: Autores.



De la figura 6.2 se puede decir que los valores del CO en 2500 RPM deben mantenerse entre 0 a 1 %, pero a diferencia de CO a 800 RPM hay un aumento de frecuencia en otros valores, lo que debería ser normal, ya que la mezcla que debe ser combustionada debería aumentar, lo que genera que pueda producirse una mayor cantidad de CO.

Figura 6.3: *HC* en [ppm] a 800 RPM.

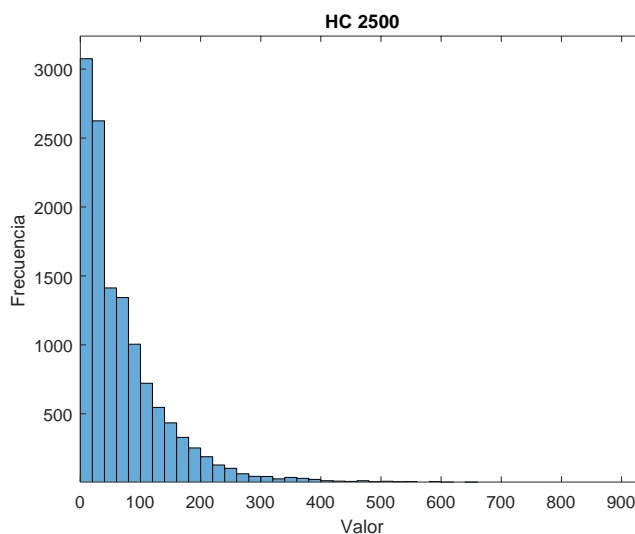
Fuente: Autores.



Por otro lado en relación de los hidrocarburos cuando el régimen motor esta en 800 RPM los valores que debería presentar van desde 0 hasta 400 PPM, en 800 RPM al ser el régimen más bajo de giro debería tener la menor emisión de *HC* o los valores más bajos, ya que para mantener este régimen se necesita menos combustible.

Figura 6.4: *HC* en [ppm] a 2500 RPM.

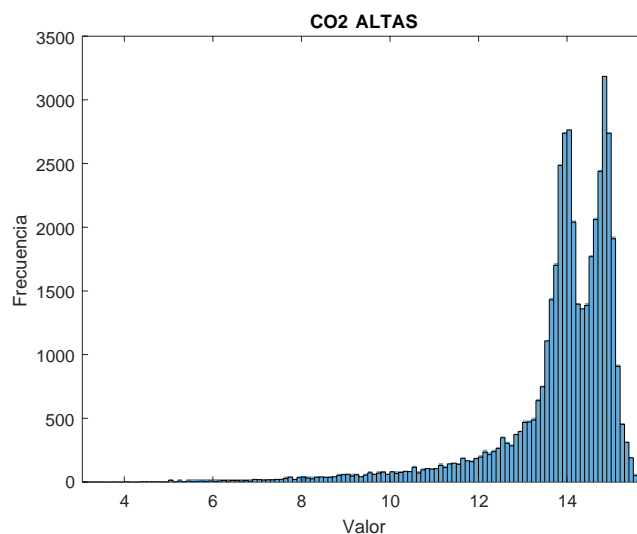
Fuente: Autores.



La emisión de *HC* en 2500 RPM tiene un incremento de frecuencia en los valores más cercanos a 350 PPM, debido al combustible usado para mantener este régimen.

Figura 6.5: CO_2 en [%] a 2500 RPM.

Fuente: Autores.



La emisión con mayores valores es el CO_2 ya que el mismo mantiene valores desde 0 a 15 % siendo más usual que se encuentre en los valores más elevados de su escala mencionada.

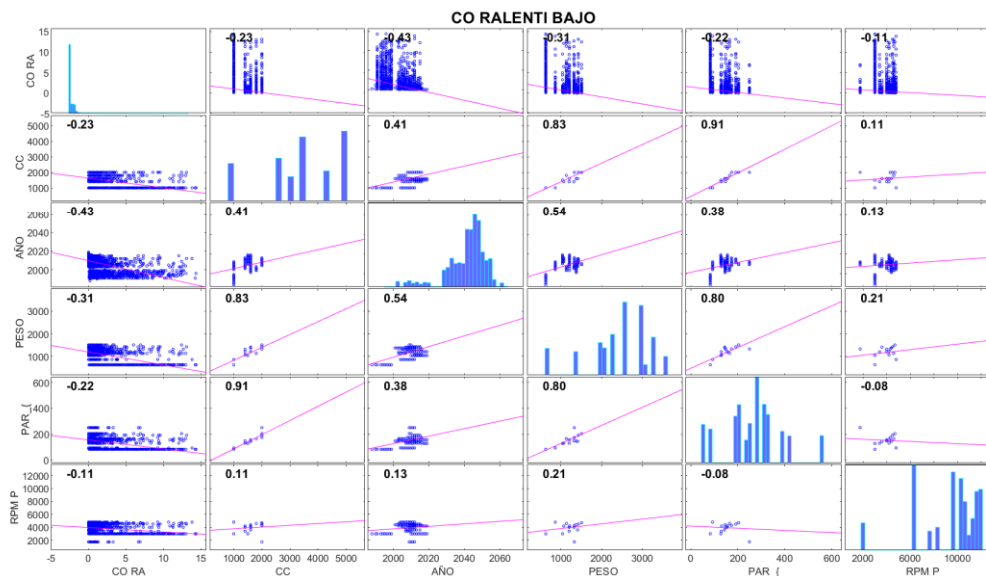
6.2. Correlación

Para determinar el efecto que tiene cada una de las variables independientes (Año de fabricación, RPMs al par máximo, par máximo y cilindraje) sobre la variable dependiente (gases como el CO , CO_2 y HC) se recurre al uso de MATLAB y, usando una matriz de correlación, se conoce cuánto afectan las distintas variables, las mismas que pueden tomar valores desde -1 a 1, siendo los valores más alejados de 0, los que tienen mayor efecto en la variable dependiente.

6.2.1. Matrices de correlación

Figura 6.6: Matriz de correlación de CO en 800 RPM.

Fuente: Autores.

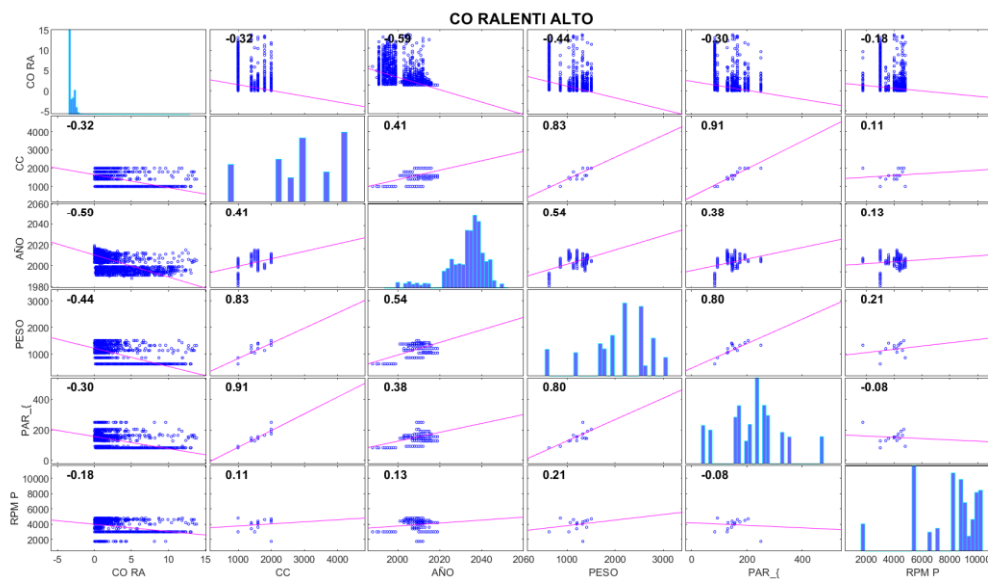


Se debe conocer el efecto de las distintas variables con respecto a las emisiones producidas, para lo cual se realiza las matrices de correlación. Al realizar la matriz de correlación de alguna de las variables, CO en bajas RPM en este ejemplo, se obtienen los gráficos de la figura 6.6.

Se puede observar que el efecto del año de fabricación es un 43 % con respecto CO en 800 RPM, siendo la de mayor efecto seguida del peso en vacío del vehículo con un 31 %, del cilindraje del vehículo con un 23 %, el par máximo con un 22 % y por ultimo el régimen de giro al par máximo con un 11 %.

Figura 6.7: Matriz de correlación de CO en 2500 RPM.

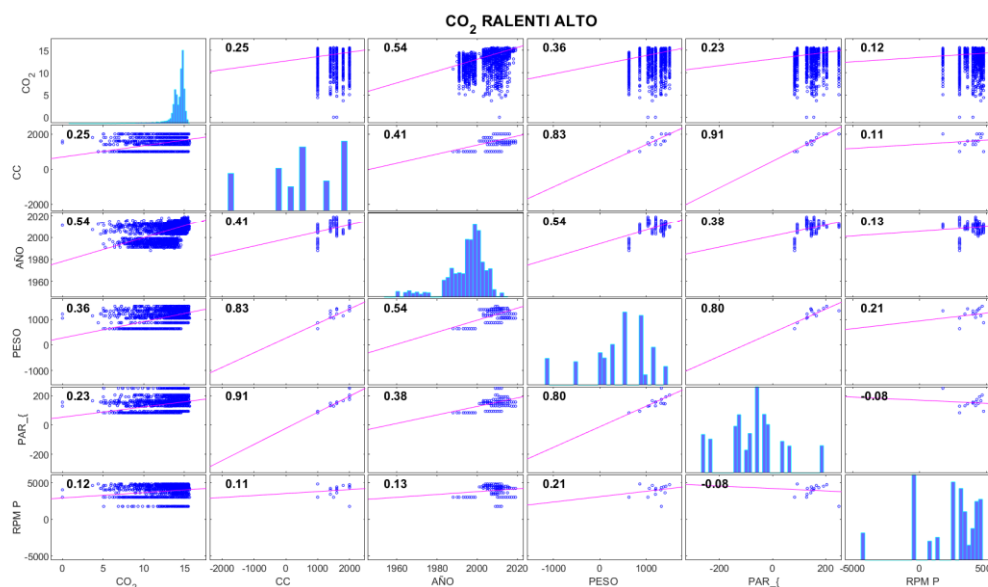
Fuente: Autores.



De la matriz anterior se puede concluir que el efecto del año de fabricación es un 59 % con respecto a CO en 2500 RPM, siendo la de mayor efecto seguida del peso en vacío del vehículo con un 44 %, del cilindraje del vehículo con un 32 %, el par máximo con un 30 % y por último el régimen de giro al par máximo 18 %.

Figura 6.8: Matriz de correlación de CO₂ en 2500 RPM.

Fuente: Autores.

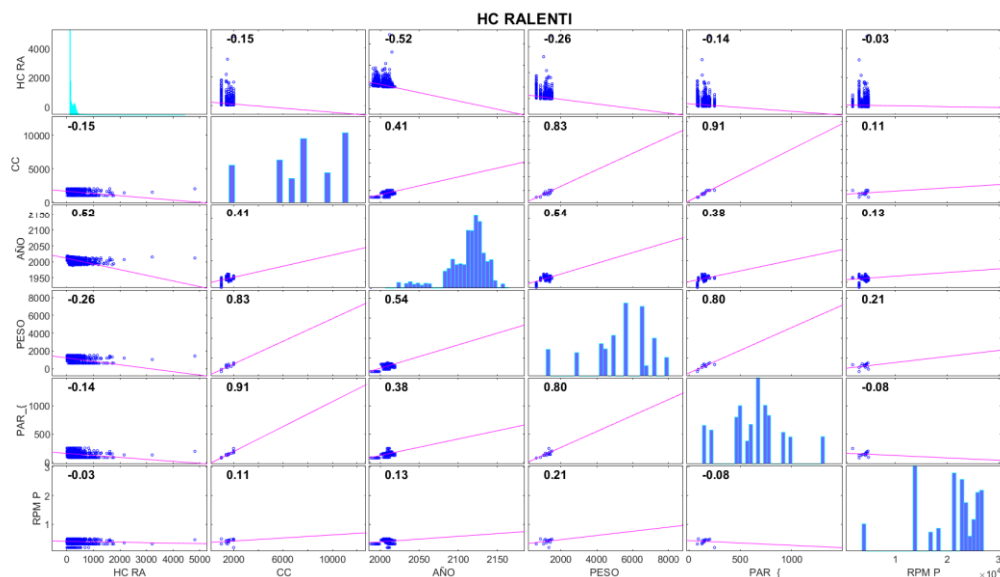


Esta matriz indica que el CO₂ en 2500 RPM tiene el mayor efecto es el año, el cual tiene un 54 %,

luego está el peso con 36 %, después el cilindraje con un 25 %, el par máximo con un 23 % y el régimen de giro al par máximo con un 12 %.

Figura 6.9: Matriz de correlación de *HC* en 800 RPM.

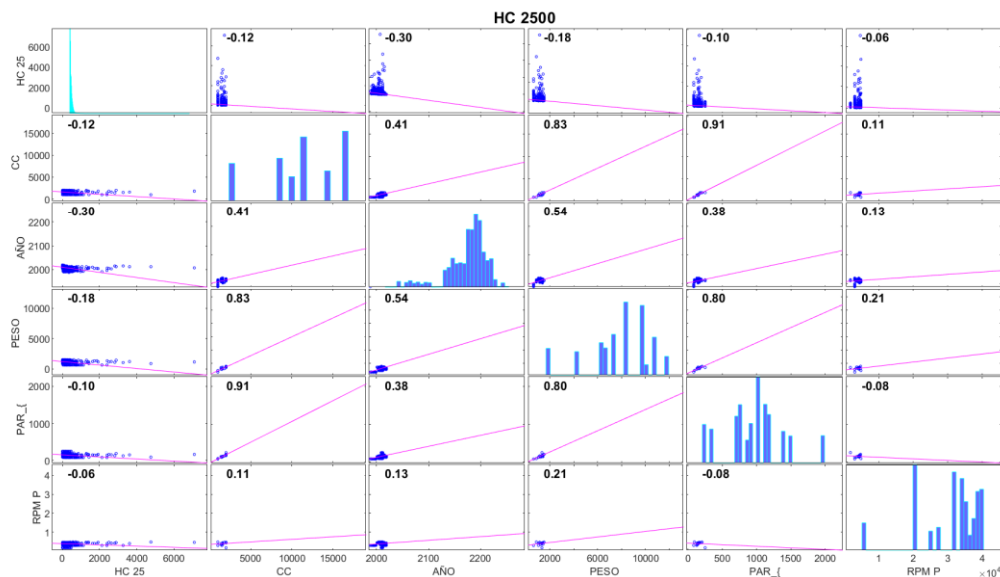
Fuente: Autores.



En el caso del *HC* en 800 RPM, la variable con mayor porcentaje el año con 52 %, luego está el peso con 26 %, después el cilindraje con 15 %, el par máximo con un 14 % y las RPM a par máximo con un 3 %.

Figura 6.10: Matriz de correlación de *HC* a 2500 RPM.

Fuente: Autores.



Las variables con mayor influencia para *HC* en 2500 RPM son, de mayor a menor, primero el año con un 30 %, después está el peso con 18 %, después el cilindraje con un 12 %, el par máximo con un 10 % y el régimen de giro al par máximo con un 6 %.

6.3. Factores de emisión

Con los datos obtenidos y con base a la investigación de Rivera Campoverde et al. (2021) donde se habla sobre como calcular emisiones contaminantes como: *CO*, *CO₂*, *NO_x* y *HC*; las ecuaciones usadas se muestran en apartado 4.7, de esta manera se obtuvo el factor de corrección de base seca a húmeda (*kw*) y los factores de emisión en [g/s] de los gases *CO*, *CO₂* y *HC* para los 15 vehículos más populares en la ciudad de Cuenca. Los factores obtenidos son:

Tabla 6.1: Factor de corrección y factor de emisiones en [g/s] a una media de 800 RPM.

Fuente: Autores.

VEHICULO	<i>kw</i>	<i>m_{CO}</i>	<i>m_{CO₂}</i>	<i>m_{HC}</i>
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0.8430	0.0053	1.3187	1.08E-04
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0.8428	0.0086	1.3964	1.67E-04
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	0.8437	0.0125	0.8577	1.90E-04
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0.8426	0.0079	1.4001	1.31E-04
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.8424	0.0046	1.2362	7.91E-05
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	0.8455	0.0441	1.5041	7.25E-04
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0.8412	0.0140	1.2221	1.94E-04
SUZUKI FORSA 1.0L	0.8481	0.0916	0.7183	6.79E-04
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	0.8441	0.0341	1.1787	5.06E-04
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	0.8432	0.0191	1.3817	3.47E-04
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	0.8447	0.0226	1.6998	4.29E-04
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	0.8430	0.0246	1.7200	4.52E-04
NISSAN SENTRA 1.6L	0.8453	0.0193	1.3609	3.91E-04
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	0.8435	0.0087	1.7368	3.02E-04
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	0.8446	0.0181	1.7117	3.99E-04

Tabla 6.2: Factor de corrección y factor de emisiones en [g/s] a una media de 2500 RPM.

Fuente: Autores.

VEHICULO	kw	m_{CO}	m_{CO_2}	m_{HC}
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0.8429	0.0060	1.3173	1.13E-04
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0.8427	0.0092	1.3954	1.43E-04
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	0.8433	0.0141	0.8568	1.38E-04
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0.8428	0.0067	1.3993	1.29E-04
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.8424	0.0049	1.2355	9.19E-05
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	0.8439	0.0554	1.5001	3.49E-04
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0.8416	0.0114	1.2220	1.41E-04
SUZUKI FORSA 1.0L	0.8328	0.1511	0.6997	4.56E-04
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	0.8436	0.0370	1.1757	2.57E-04
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	0.8426	0.0230	1.3799	2.60E-04
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	0.8428	0.0382	1.6917	2.97E-04
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	0.8422	0.0306	1.7181	3.54E-04
NISSAN SENTRA 1.6L	0.8436	0.0304	1.3562	2.59E-04
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	0.8419	0.0216	1.7318	2.49E-04
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	0.8431	0.0303	1.7064	3.10E-04

Tabla 6.3: Porcentaje de recorrido y de tiempo en cada marcha.

Fuente: Autores.

MARCHAS	TIEMPO %	RECORRIDO %
1 _{ERA}	6.09	0.99
2 _{DA}	13.98	5.63
3 _{ERA}	30.67	19.63
4 _{TA}	16.06	15.44
5 _{TA}	32.22	58.26
<i>RALENTI</i>	0.95	0.05

A continuación, se convierte los factores de emisión en [g/km] para realizar cálculos en base al recorrido.

Para lo cual, con el uso de los porcentajes de recorrido, tiempo en cada marcha, el recorrido anual que se muestra en la tabla 5.9 y la velocidad media de circulación en la ciudad de Cuenca. En base a esta información, se obtiene lo siguiente:

$$KM_{MARCHA} = \frac{KM_{\%MARCHA} * KM_{TOTAL}}{100} \quad (6.1)$$

Donde:

- KM_{MARCHA} = El recorrido en la marcha [km].

- $KM_{\%MARCHA}$ = El porcentaje de recorrido en la marcha [%].
- KM_{TOTAL} = Recorrido total del vehículo [km].

El tiempo total del recorrido es igual:

$$TIEMPO_{TOTAL} = \frac{KM_{TOTAL}}{VEL_{MEDIA}} \quad (6.2)$$

Donde:

- $TIEMPO_{TOTAL}$ = Tiempo total del recorrido [h].
- KM_{TOTAL} = Recorrido total del vehículo [km].
- VEL_{MEDIA} = La velocidad media que es igual a 44,97 [km/h].

El tiempo en cada marcha:

$$TIEMPO_{MARCHA} = \frac{TIEMPO_{\%MARCHA} \cdot TIEMPO_{TOTAL}}{100} \quad (6.3)$$

Donde:

- $TIEMPO_{MARCHA}$ = El tiempo en la marcha [h].
- $TIEMPO_{\%MARCHA}$ = El porcentaje de tiempo en la marcha [%].
- $TIEMPO_{TOTAL}$ = Tiempo total del vehículo [h].

Total de emisiones en cada marcha [g]:

$$EMISION_{MARCHA} = TIEMPO_{MARCHA} \cdot m_{GAS} \cdot 3600 \quad (6.4)$$

Donde:

- $EMISION_{MARCHA}$ = Emisiones de gases en el recorrido [g].
- $TIEMPO_{MARCHA}$ = Tiempo en la marcha [h].
- m_{GAS} = Factor de emisión del gas [g/s].

Emisiones en cada marcha [g/km]:

$$EMISION_{g/km} = \frac{EMISION_{MARCHA}}{KM_{MARCHA}} \quad (6.5)$$

Donde:

- $EMISION_{g/km}$ = Emisiones de los gases [g/km].
- $EMISION_{MARCHA}$ = Emisiones de gases en el recorrido [g].
- KM_{MARCHA} = El recorrido en la marcha [km].

Con los datos obtenidos hasta ahora, es posible calcular la emisión de los tres gases (CO , CO_2 y HC) para los 15 autos más populares. La emisión del gas obtenida se encuentra en gramos emitidos por cada kilómetro recorrido. La siguiente tabla muestra los valores de las emisiones que se presentan en la primera marcha de cada uno de los vehículos.

Tabla 6.4: Emisiones en [g/km] en primera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO ₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	2.963	648.565	5.6E-2
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	4.523	687.046	7.0E-2
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	6.956	421.837	6.8E-2
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	3.296	688.963	6.4E-2
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	2.424	608.324	4.5E-2
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	27.280	738.594	1.72E-1
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	5.593	601.662	7.0E-2
SUZUKI FORSA 1.0L	74.392	344.490	2.25E-1
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	18.232	578.852	1.27E-1
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	11.329	679.395	1.28E-1
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	18.780	832.917	1.46E-1
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	15.069	845.937	1.75E-1
NISSAN SENTRA 1.6L	14.976	667.717	1.28E-1
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	10.629	852.668	1.23E-1
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	14.913	840.168	1.53E-1

En la segunda marcha los valores son los presentados a continuación.

Tabla 6.5: Emisiones en [g/km] en segunda marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1.196	261.800	2.20E-2
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1.826	277.334	2.80E-2
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	2.808	170.279	2.70E-2
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	1.330	278.107	2.60E-2
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.979	245.557	1.80E-2
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	11.012	298.142	6.90E-2
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	2.258	242.868	2.80E-2
SUZUKI FORSA 1.0L	30.029	139.057	9.10E-2
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	7.360	233.660	5.10E-2
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	4.573	274.245	5.20E-2
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	7.589	336.216	5.90E-2
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	6.083	341.472	7.00E-2
NISSAN SENTRA 1.6L	6.045	269.531	5.20E-2
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	4.291	344.189	5.00E-2
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	6.020	339.143	6.20E-2

En la tercera marcha se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 6.6: Emisiones en [g/km] en tercera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0.753	164.727	1.40E-2
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1.149	174.501	1.80E-2
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	1.767	107.141	1.70E-2
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0.837	174.988	1.60E-2
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.616	154.506	1.10E-2
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	6.929	187.593	4.40E-2
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	1.421	152.814	1.80E-2
SUZUKI FORSA 1.0L	18.895	87.496	5.70E-2
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	4.631	147.021	3.20E-2
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	2.878	172.557	3.20E-2
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	4.775	211.550	3.70E-2
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	3.827	214.857	4.40E-2
NISSAN SENTRA 1.6L	3.804	169.591	3.20E-2
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	2.700	216.566	3.10E-2
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	3.788	213.392	3.90E-2

La cuarta marcha presenta los siguientes valores.

Tabla 6.7: Emisiones en [g/km] en cuarta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0.501	109.665	9.40E-03
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0.765	116.172	1.19E-02
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	1.176	71.328	1.15E-02
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0.557	116.496	1.07E-02
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.410	102.861	7.60E-03
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	4.613	124.888	2.91E-02
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0.946	101.734	1.18E-02
SUZUKI FORSA 1.0L	12.579	58.249	3.80E-02
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	3.083	97.877	2.14E-02
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1.916	114.878	2.16E-02
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	3.179	140.837	2.47E-02
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	2.548	143.039	2.95E-02
NISSAN SENTRA 1.6L	2.532	112.904	2.16E-02
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	1.797	144.177	2.07E-02
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	2.522	142.064	2.58E-02

En la quinta marcha se obtienen los valores siguientes.

Tabla 6.8: Emisiones en [g/km] en quinta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0.266	58.3078	5.00E-03
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0.406	61.7673	6.30E-03
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	0.625	37.9243	6.10E-03
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0.296	61.9397	5.70E-03
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0.218	54.6900	4.10E-03
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	2.452	66.4016	1.55E-02
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0.502	54.0911	6.30E-03
SUZUKI FORSA 1.0L	6.688	30.9705	2.02E-02
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	1.639	52.0404	1.14E-02
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1.018	61.0795	1.15E-02
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	1.690	74.8815	1.31E-02
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	1.354	76.0521	1.57E-02
NISSAN SENTRA 1.6L	1.346	60.0296	1.15E-02
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	0.955	76.6572	1.10E-02
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	1.340	75.5334	1.37E-02

En la condición de ralentí para obtener las emisiones se debe usar el factor de emisión en [g/s].

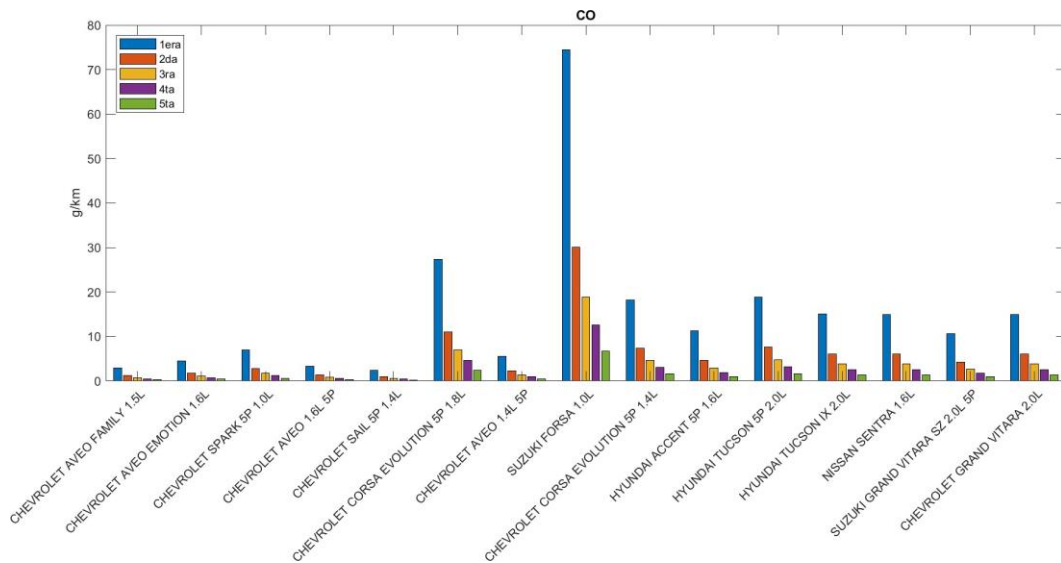
7. RESULTADOS

7.1. Emisiones por marcha

A continuación, se muestran graficas que presentan las emisiones de gases como CO , CO_2 y HC en las distintas marchas.

Figura 7.1: Emisión por marcha en [g/km] de CO

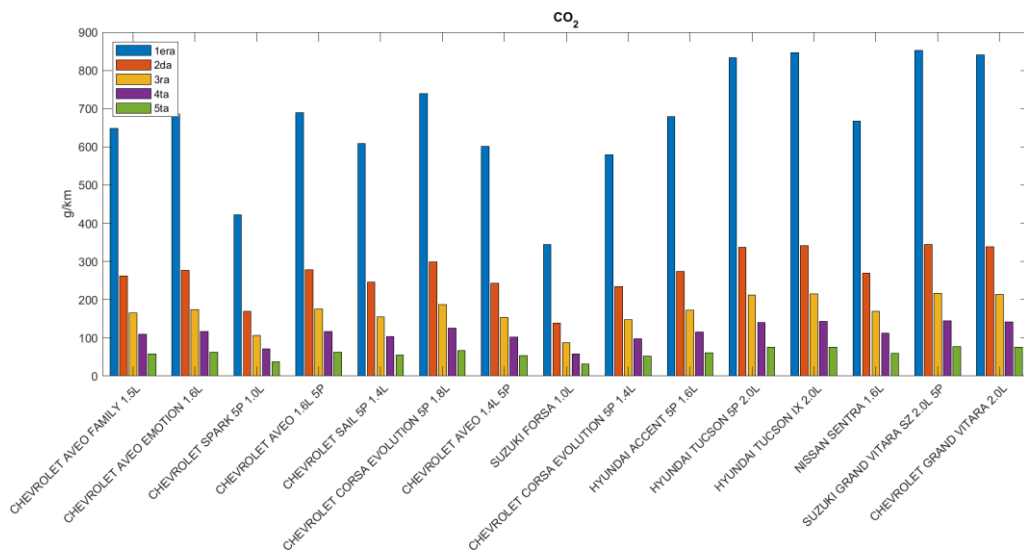
Fuente: Autores.



La mayor emisión producida con respecto a la marcha de CO son del Suzuki Forsa 1.0L en primera marcha.

Figura 7.2: Emisión por marcha en [g/km] de CO_2

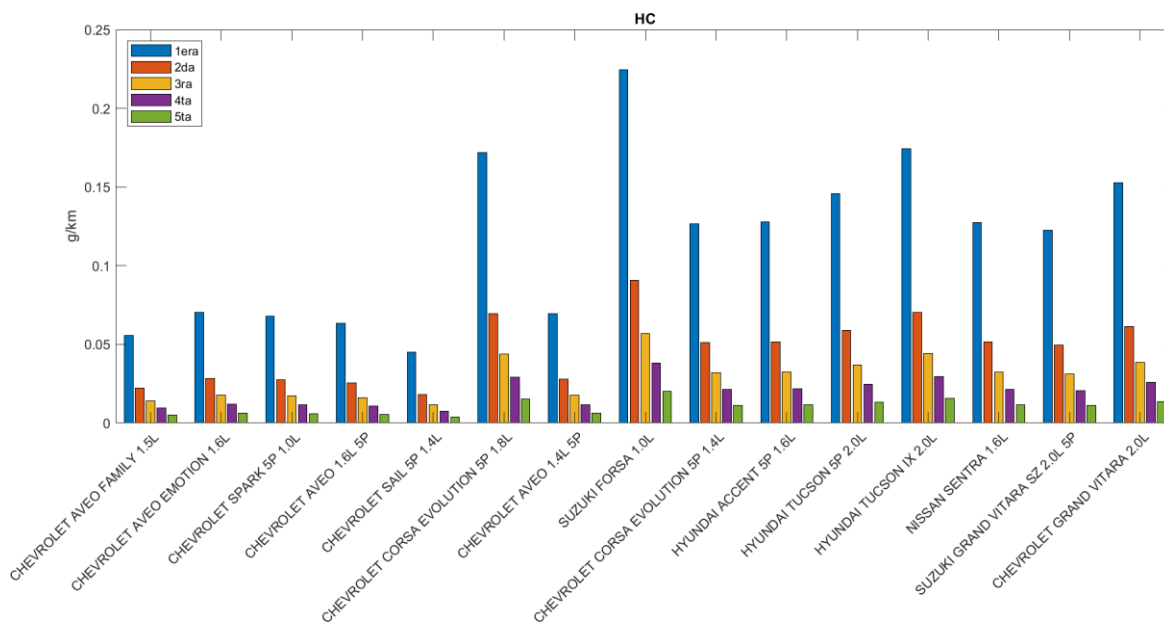
Fuente: Autores.



De la figura anterior podemos decir que las emisiones por marcha de CO_2 de la mayoría de vehículos toman valores similares y se dan en primera marcha.

Figura 7.3: Emisión por marcha en [g/km] de HC

Fuente: Autores.



Las emisiones de hidrocarburos no combustionados se da en más en primera marcha.

7.2. Emisión anual

Con un kilometraje anual de 18000 km y usando el porcentaje de recorrido por marcha en la tabla 6.3, se obtiene la emisión promedio anual de un vehículo por cada marcha.

Para la primera marcha:

Tabla 7.1: Emisiones en [g] en primera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	527,96	115574,27	9,90
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	806,01	122431,58	12,52
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	1239,59	75171,39	12,08
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	587,31	122773,20	11,32
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	432,03	108403,38	8,06
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	4861,25	131617,49	30,65
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	996,65	107216,21	12,40
SUZUKI FORSA 1.0L	13256,59	61388,02	40,01
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	3248,94	103151,43	22,59
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	2018,86	121068,15	22,79
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	3350,09	148425,76	26,01
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	2685,25	150745,97	31,10
NISSAN SENTRA 1.6L	2668,73	118987,10	22,72
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	1894,11	151945,42	21,86
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	2657,45	149717,97	27,18

Para la segunda marcha:

Tabla 7.2: Emisiones en [g] en segunda marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1211,97	265308,41	22,72
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1850,26	281049,84	28,74
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	2845,57	172560,91	27,74
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	1348,21	281834,04	25,98
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	991,75	248847,17	18,50
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	11159,33	302136,71	70,35
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	2287,87	246121,93	28,46
SUZUKI FORSA 1.0L	30431,40	140920,28	91,84
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	7458,17	236790,96	51,85
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	4634,43	277919,99	52,31
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	7690,36	340721,20	59,72
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	6164,16	346047,41	71,38
NISSAN SENTRA 1.6L	6126,24	273142,79	52,15
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	4348,05	348800,82	50,19
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	6100,34	343687,56	62,40

Para la tercera marcha:

Tabla 7.3: Emisiones en [g] en tercera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	2658,87	582046,43	49,85
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	4059,18	616580,73	63,05
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	6242,75	378572,48	60,85
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	2957,77	618301,15	56,99
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	2175,76	545932,96	40,59
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	24481,87	662842,12	154,34
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	5019,25	539954,20	62,43
SUZUKI FORSA 1.0L	66761,87	309157,73	201,49
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	16362,08	519483,46	113,76
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	10167,23	609714,30	114,76
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	16871,49	747490,65	131,01
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	13523,24	759175,53	156,60
NISSAN SENTRA 1.6L	13440,03	599233,87	114,42
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	9538,96	765216,11	110,11
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	13383,23	753998,40	136,90

Para la cuarta marcha:

Tabla 7.4: Emisiones en [g] en cuarta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1392,29	304782,05	26,10
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	2125,54	322865,55	33,02
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	3268,95	198235,21	31,87
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	1548,80	323766,43	29,84
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	1139,31	285871,65	21,26
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	12819,66	347089,81	80,82
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	2628,27	282740,93	32,69
SUZUKI FORSA 1.0L	34959,10	161886,96	105,51
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	8567,82	272021,66	59,57
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	5323,96	319270,03	60,10
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	8834,57	391415,06	68,60
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	7081,29	397533,72	82,00
NISSAN SENTRA 1.6L	7037,72	313782,06	59,91
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	4994,97	400696,80	57,66
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	7007,98	394822,77	71,68

Para la quinta marcha:

Tabla 7.5: Emisiones en [g] en quinta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	2793,24	611461,88	52,37
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	4264,32	647741,47	66,24
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	6558,25	397704,77	63,93
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	3107,25	649548,85	59,87
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	2285,72	573523,32	42,65
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	25719,14	696340,82	162,14
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	5272,91	567242,40	65,58
SUZUKI FORSA 1.0L	70135,88	324781,94	211,67
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	17188,99	545737,10	119,51
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	10681,07	640528,03	120,56
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	17724,14	785267,32	137,64
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	14206,67	797542,74	164,51
NISSAN SENTRA 1.6L	14119,27	629517,94	120,20
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	10021,04	803888,59	115,68
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	14059,59	792103,96	143,81

Para el ralentí:

Tabla 7.6: Emisiones en [g] en ralentí.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO	CO₂	HC
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	360,14	89010,71	7,32
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	579,42	94253,87	11,28
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	846,62	57894,93	12,82
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	534,27	94503,37	8,84
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	310,85	83439,95	5,34
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	2973,55	101521,35	48,94
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	945,97	82490,63	13,07
SUZUKI FORSA 1.0L	6182,35	48485,30	45,83
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	2302,74	79557,83	34,18
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1291,15	93260,23	23,44
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	1523,05	114736,11	28,92
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	1662,64	116096,44	30,52
NISSAN SENTRA 1.6L	1300,53	91855,75	26,39
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	589,66	117228,13	20,41
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	1223,23	115534,97	26,92

7.3. Emisiones totales

Usando la emisión anual de cada vehículo, se procede a obtener la emisión total con el número de vehículos pertenecientes a los 15 modelos más populares presentados en la figura 5.6.

Las tablas muestran los datos calculados para cada marcha.

Para la primera marcha:

Tabla 7.7: Emisiones totales en primera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0,598	130,946	0,011
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0,448	68,072	0,007
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	1,018	61,716	0,010
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0,762	159,360	0,015
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0,410	102,983	0,008
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	6,913	187,160	0,044
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0,461	49,641	0,006
SUZUKI FORSA 1.0L	12,382	57,336	0,037
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	1,930	61,272	0,013
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1,587	95,160	0,018
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	2,194	97,219	0,017
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	2,062	115,773	0,024
NISSAN SENTRA 1.6L	0,971	43,311	0,008
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	2,207	177,016	0,025
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	3,157	177,865	0,032

Para la segunda marcha:

Tabla 7.8: Emisiones totales en segunda marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1,373	300,594	0,026
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1,029	156,264	0,016
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	2,336	141,673	0,023
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	1,750	365,821	0,034
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0,942	236,405	0,018
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	15,869	429,638	0,100
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	1,059	113,954	0,013
SUZUKI FORSA 1.0L	28,423	131,620	0,086
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	4,430	140,654	0,031
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	3,643	218,445	0,041
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	5,037	223,172	0,039
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	4,734	265,764	0,055
NISSAN SENTRA 1.6L	2,230	99,424	0,019
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	5,065	406,353	0,058
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	7,247	408,301	0,074

Para la tercera marcha:

Tabla 7.9: Emisiones totales en tercera marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	3,012	659,459	0,056
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	2,257	342,819	0,035
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	5,125	310,808	0,050
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	3,839	802,555	0,074
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	2,067	518,636	0,039
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	34,813	942,561	0,219
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	2,324	249,999	0,029
SUZUKI FORSA 1.0L	62,356	288,753	0,188
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	9,719	308,573	0,068
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	7,991	479,235	0,090
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	11,051	489,606	0,086
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	10,386	583,047	0,120
NISSAN SENTRA 1.6L	4,892	218,121	0,042
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	11,113	891,477	0,128
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	15,899	895,750	0,163

Para la cuarta marcha:

Tabla 7.10: Emisiones totales en cuarta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	1,577	345,318	0,030
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	1,182	179,513	0,018
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	2,684	162,751	0,026
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	2,010	420,249	0,039
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	1,082	271,578	0,020
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	18,230	493,562	0,115
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	1,217	130,909	0,015
SUZUKI FORSA 1.0L	32,652	151,202	0,099
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	5,089	161,581	0,035
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	4,185	250,946	0,047
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	5,787	256,377	0,045
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	5,438	305,306	0,063
NISSAN SENTRA 1.6L	2,562	114,217	0,022
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	5,819	466,812	0,067
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	8,325	469,049	0,085

Para la quinta marcha:

Tabla 7.11: Emisiones totales en quinta marcha.

Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	3,165	692,786	0,059
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	2,371	360,144	0,037
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	5,384	326,516	0,052
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	4,033	843,114	0,078
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	2,171	544,847	0,041
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	36,573	990,197	0,231
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	2,441	262,633	0,030
SUZUKI FORSA 1.0L	65,507	303,346	0,198
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	10,210	324,168	0,071
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	8,395	503,455	0,095
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	11,609	514,350	0,090
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	10,911	612,513	0,126
NISSAN SENTRA 1.6L	5,139	229,145	0,044
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	11,675	936,530	0,135
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	16,703	941,019	0,171

Para el ralentí:

Tabla 7.12: Emisiones totales en ralentí.

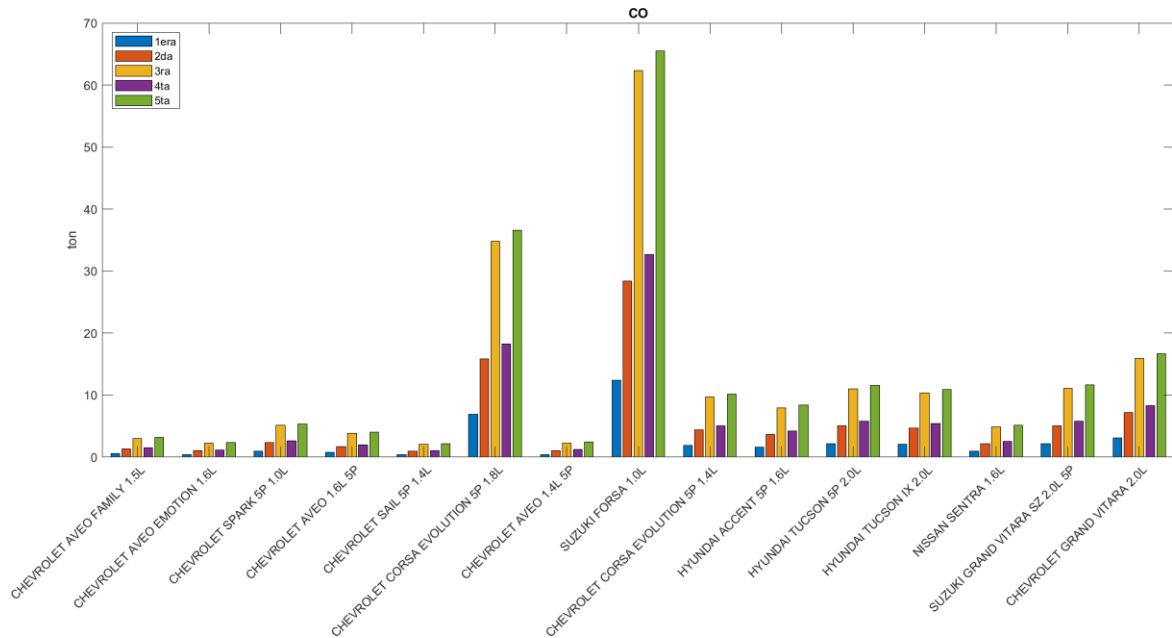
Fuente: Autores.

VEHICULO	CO [ton]	CO₂ [ton]	HC [ton]
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L	0,408	100,849	0,008
CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6L	0,322	52,405	0,006
CHEVROLET SPARK 5P 1.0L	0,695	47,532	0,011
CHEVROLET AVEO 1.6L 5P	0,693	122,665	0,011
CHEVROLET SAIL 5P 1.4L	0,295	79,268	0,005
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.8L	4,228	144,363	0,070
CHEVROLET AVEO 1.4L 5P	0,438	38,193	0,006
SUZUKI FORSA 1.0L	5,774	45,285	0,043
CHEVROLET CORSA EVOLUTION 5P 1.4L	1,368	47,257	0,020
HYUNDAI ACCENT 5P 1.6L	1,015	73,303	0,018
HYUNDAI TUCSON 5P 2.0L	0,998	75,152	0,019
HYUNDAI TUCSON IX 2.0L	1,277	89,162	0,023
NISSAN SENTRA 1.6L	0,473	33,435	0,010
SUZUKI GRAND VITARA SZ 2.0L 5P	0,687	136,571	0,024
CHEVROLET GRAND VITARA 2.0L	1,453	137,256	0,032

7.3.1. Contaminación total de vehículos por cada marcha

Figura 7.4: CO en [ton] del total de los vehículos en cada marcha

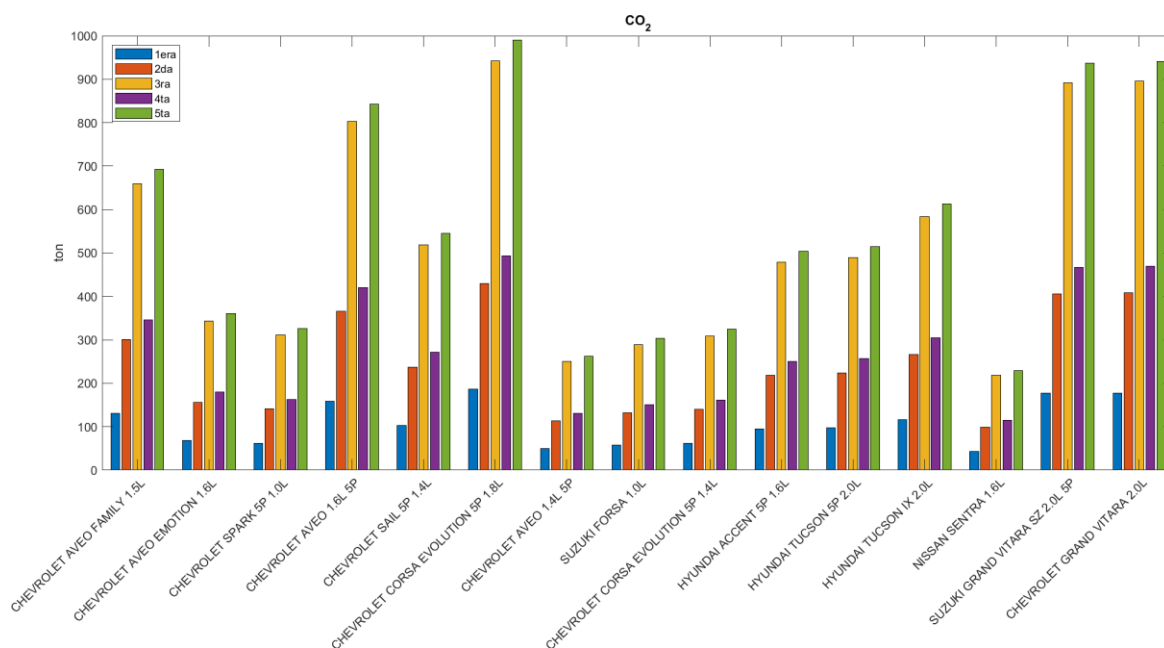
Fuente: Autores.



La mayor generación de emisiones anuales CO en relación con el recorrido, a la variación de marchas y a la cantidad de vehículos se da en los vehículos Suzuki Forsa 1.0L debido a su factor de emisión y cantidad de vehículos (5.6), y Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L lo que se debe a la cantidad de estos vehículos.

Figura 7.5: CO_2 en [ton] del total de los vehiculos en cada marcha

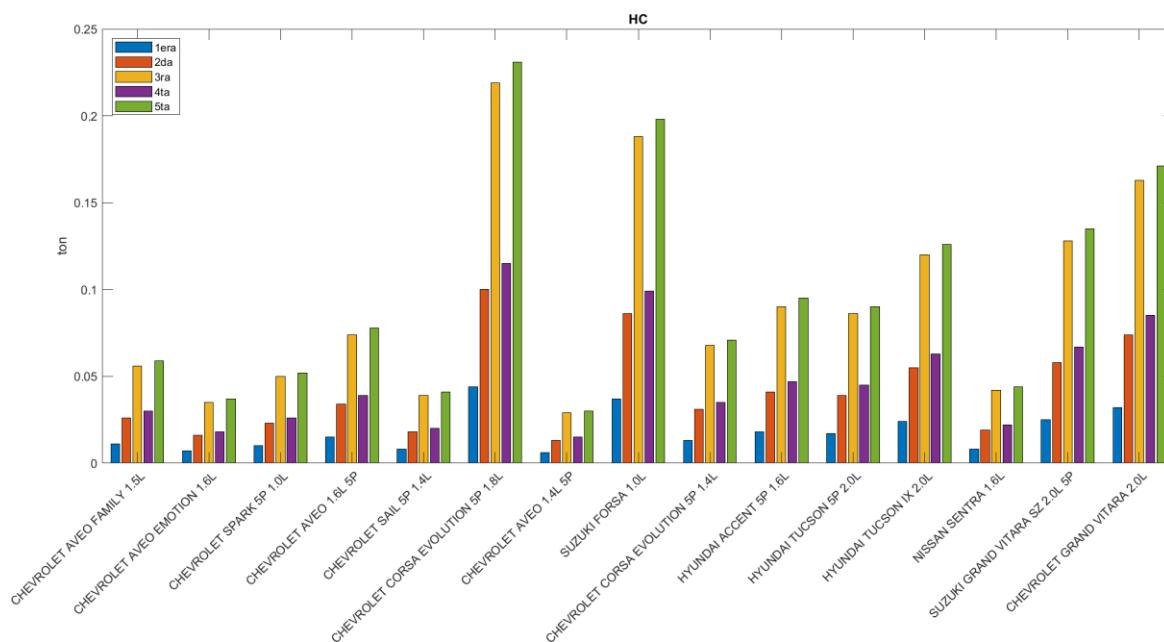
Fuente: Autores.



La emisión de CO_2 anual, dependiendo de la variación de marchas y la cantidad de vehículos, es mayor en la tercera y quinta marcha debido al tiempo que los vehículos circulan en estas marchas; siendo el mayor generador es el Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L.

Figura 7.6: HC en [ton] del total de los vehiculos en cada marcha

Fuente: Autores.



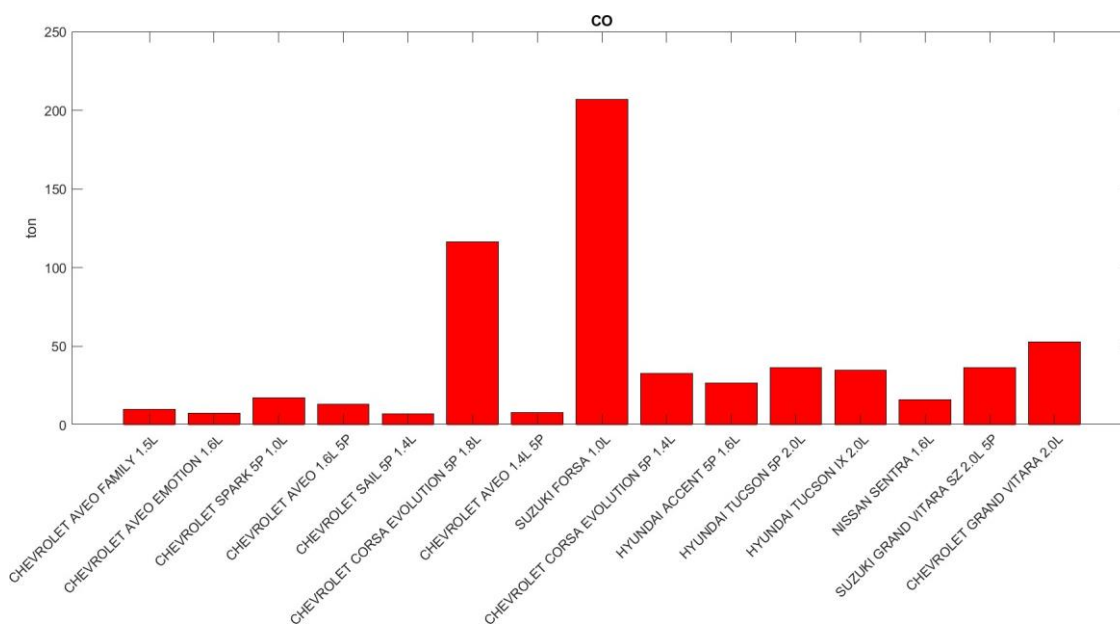
La emisión de HC anual, dependiendo de la variación de marchas y la cantidad de

vehículos, se da en la tercera y quinta marcha siendo el mayor generador es el Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L seguido del Suzuki Forsa 1.0L.

7.3.2. Contaminación total de vehículos

Figura 7.7: CO en [ton] del total de los vehiculos

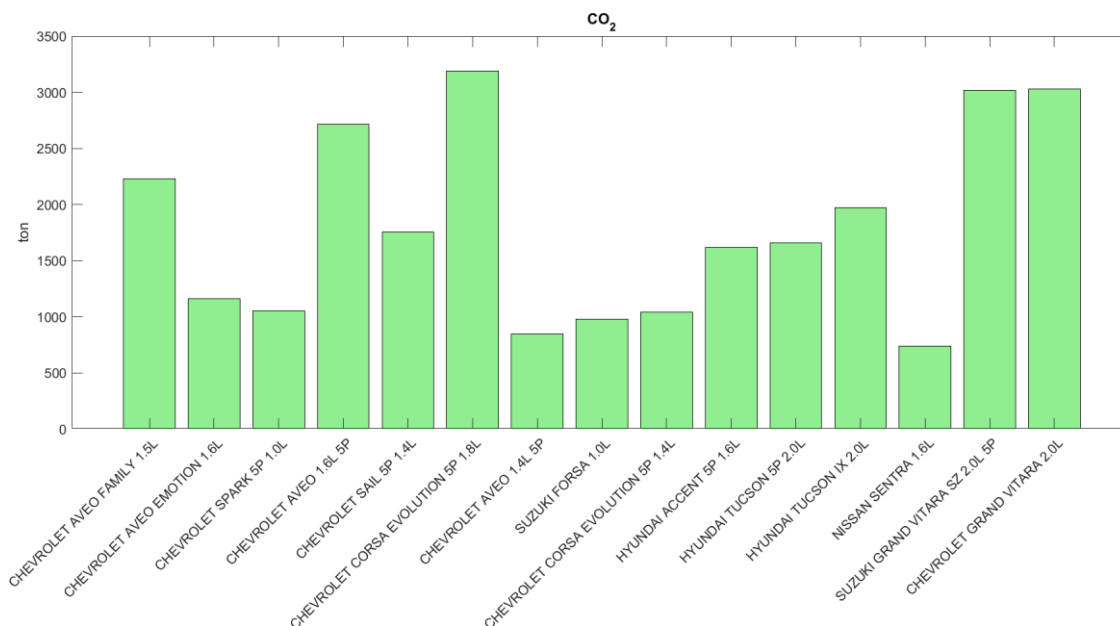
Fuente: Autores.



Después de sumar la emisión de todas las marchas de cada vehículo, se obtiene el total de contaminación anual promedio por cada uno de ellos. En la figura 7.7 se denota que los Suzuki Forsa 1.0L generan la mayor cantidad de emisión de CO, seguido de los Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L.

Figura 7.8: CO₂ en [ton] del total de los vehiculos

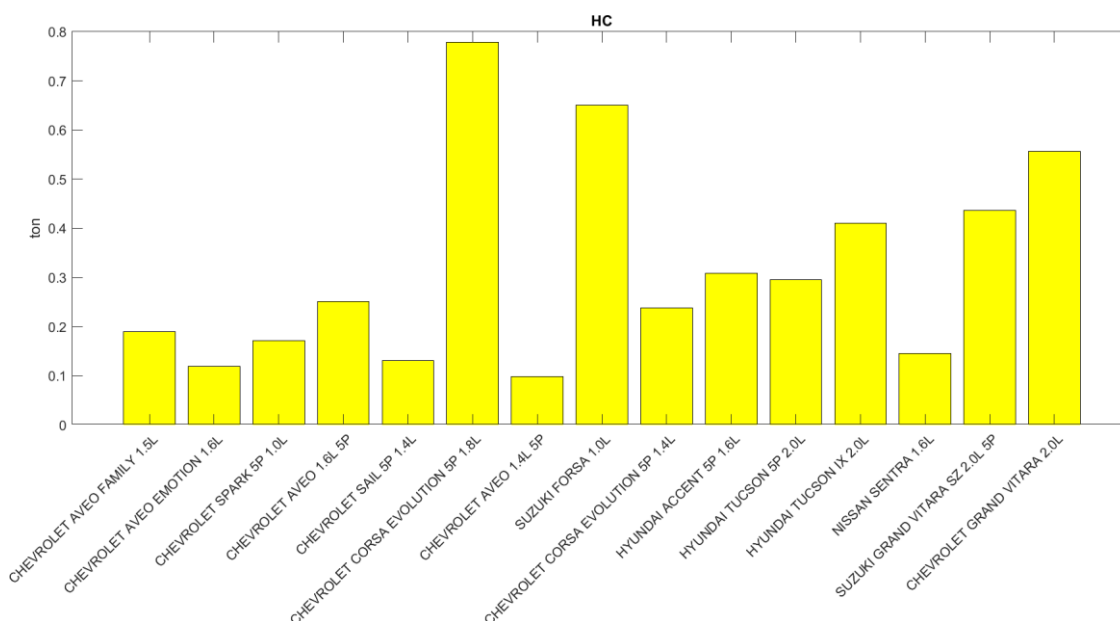
Fuente: Autores.



Las emisiones de CO₂ totales presentes en la figura 7.8 muestran que el Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L es el vehículo que genera más emisiones de este gas, seguido por el Chevrolet Grand Vitara 2.0L y el Suzuki Grand Vitara SZ 2.0L 5P.

Figura 7.9: HC en [ton] del total de los vehiculos

Fuente: Autores.



La figura 7.9 indica que el vehículo que genera más emisiones de HC es el Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L, seguido del Suzuki Forsa 1.0L.

7.4. Evaluación de la incertidumbre

Para la evaluación del factor de emisión, la muestra utilizada es bastante fiable, ya que se cuenta con una muestra de 12577 vehículos, la cual representa la población con un nivel de confianza del 99 % con un margen de error de 1.1 %, de una población según la INEC (2018) de 133934 vehículos a gasolina matriculados. Por esta razón se le otorga una calificación de B, ya que al seleccionar los 15 modelos más usados del parque automotor se generan sesgos.

Para evaluar el nivel de la actividad, al ser nuestra selección de vehículos de categoría M1, estos son vehículos destinados para el transporte de pasajeros que no cuentan con más de 8 asientos y utilizan gasolina como combustible, por lo cual se le da una calificación de C.

Esto posiciona al modelo en una categoría B, lo que significa alta calidad y que la estimación es fiable, pero se pueden tomar acciones para disminuir la incertidumbre.

8. CONCLUSIONES

En conclusión, una de las características constructivas que mayor influencia tienen en las emisiones es el año de fabricación siendo así que el mismo influye sobre las emisiones de *CO* a un régimen de 800 RPM en un 43 % mientras que a 2500 RPM las emisiones de *CO* aumentan a 59 %, en el *CO₂* a 2500 RPM un 54 % y en el *HC* a 800 RPM un 52 % mientras que al aumentar el régimen a 2500 RPM las emisiones disminuyen a 30 %.

Por otro lado, el valor de las emisiones que se producen a las distintas marchas es decreciente, de este modo la marcha que genera mayores emisiones es la primera marcha y la que genera menores emisiones es la quinta marcha.

Adicionalmente, el recorrido en cada marcha influye directamente a la cantidad de emisión de los vehículos por lo que dependen en parte del estilo de conducción.

La cantidad de emisiones de un vehículo puede pasar desapercibida, aunque el factor de emisiones de vehículo sea elevado, ya que también dependerá de la cantidad de los vehículos que circulan anualmente, siendo así que de los 15 vehículos más populares de la ciudad de Cuenca

el Suzuki Forsa 1.0L es el que más emisiones de monóxido de carbono genera anualmente, el vehículo que más emisiones de dióxido de carbono e hidrocarburos no combustionados genera por año Chevrolet Corsa Evolution 5P 1.8L.

El nivel de incertidumbre de este modelo es de categoría B, el cual es una categoría superior al modelo anterior presente en el Inventario de Emisiones de Cuenca 2014. No obstante, este nivel puede ser disminuido al tomar acciones como evitar los sesgos en la muestra. También se puede disminuir la población según distintos factores o características como tipo de combustible, sector público o privado, tipo de vehículo, entre otros.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AEADE. (2023). *Anuario 2022*. Descargado de https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2023/03/ANUARIO-AEADE_2022_comp.pdf
- Agudelo, J. R. (2017, dec). *Factores de emisión reales de vehículos livianos y motocicletas para el Valle de Aburrá*. Descargado de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Factores-de-emision.pdf>
- Arroyo, M., y Ramírez Monroy, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Anales de Química de la RSEQ*, 116(2), 81–87.
- Bencardino, C. M. (2019). *Estadística básica aplicada*. Ecoe Ediciones.
- Caiza Jácome, P. G., y Portilla Aguilar, Á. A. (2011). *Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo otto, de inyección electrónica de gasolina*.
- Chavez Amado, S. (2019). Contaminación por hidrocarburos de las aguas del río Higuera por efecto de lavaderos de vehículos (La Laguna Viña del Río) Huánuco, 2019.
- Díaz Gutiérrez, L. L. (2002). *Estimación de factores de emisión para vehículos automotores de gasolina*.
- EMOV EP. (2016). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca 2014*.
- EMOV EP. (2018). *Informe del muestreo del combustible del año 2018*. Descargado de <https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/INFORME%20COMBUSTIBLES%202018.pdf>
- EMOV EP. (2021). *Calidad del aire 2020*.
- EMOV EP. (2022). *Calidad del aire 2021*.
- EPA. (2002). *Estimación de emisiones de fuentes de la calidad del aire*.

EPA. (2002). *User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2: Mobile Source Emission Model Factor-Final Version*.

EPA. (2021). *Estimación de emisiones de fuentes de la calidad del aire*.

Fierro, R., y Ordóñez, A. (2018). *La ingeniería automotriz clave para el desarrollo sostenible de Ecuador*. Editorial Universitaria Abya-Yala. Descargado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17060>

Gobierno de Ecuador. (2023). *REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios*. <https://www.gob.ec/epmtttsvtt/tramites/revision-tecnica-vehicular>. (Accessed on 06/03/2023)

Google Maps. (2023, 06). *Cuenca - google maps*. <https://www.google.com.ec/maps/place/Cuenca/@-2.8893849,-78.9901588,12.55z/data=!4m6!3m5!1s0x91cd18095fc7e881:0xafd08fd090de6ff7!8m2!3d-2.9001285!4d-79.0058965!16zL20vMDJydmp3?hl=es&entry=ttu>. (Accessed on 08/05/2023)

INEC. (2017). *Conozcamos cuenca a través de sus cifras*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/>. (Accessed on 06/05/2023)

INEC. (2018). *Estadísticas de transporte*. Descargado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-de-transporte-2018/>

INEN. (2002). *NTE INEN 2207:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel*.

INEN. (2003). *NTE INEN 2 2349:2003. Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos [Norma Técnica]*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2349.pdf>. Quito, Ecuador. (Accessed on 06/03/2023)

INEN. (2016). *NTE INEN 2656:2016. Clasificación vehicular*.

INEN. (2017). *NTE INEN 2204:2017. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina.*

ISSRC. (2008). *Manual del usuario del modelo IVE versión 2.0.* Descargado de www.issrc.org/ive.

Li, F., Zhuang, J., Cheng, X., Li, M., Wang, J., y Yan, Z. (2019). Investigation and prediction of heavy-duty diesel passenger bus emissions in Hainan using a COPERT model. *Atmosphere*, 10(3), 106.

Lind, D. A. (2015). *Estadística aplicada a los negocios y la economía.*

McClave, J. T., Benson, P. G., y Sincich, T. (2008). *Statistics for business and economics.* Pearson Education.

Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., y Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of cardiac anaesthesia*, 22(1), 67.

Moya, R. (2007). *Estadística descriptiva.*

Núñez Pérez, C. S. (2019). *Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Parra, R. (2016, 12). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014.*

Portal Díaz, A. M. (2020). Evaluación de modelos de estimación de emisiones vehiculares y selección de un modelo adecuado para el área de Lima Metropolitana.

Rivera Campoverde, N. D., Muñoz Sanz, J. L., y Arenas Ramirez, B. d. V. (2021, Sep). Estimation of Pollutant Emissions in Real Driving Conditions Based on Data from OBD and Machine Learning. *Sensors*, 21(19), 6344. Descargado de <https://doi.org/10.3390/s21196344> doi: 10.3390/s21196344

Téllez, J., Rodríguez, A., y Fajardo, Á. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de salud pública*, 8(1), 108–117.

Urgilés Clavijo, J. S. (2017). *Propuesta metodológica para la obtención de un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres en Cuenca*.

World Health Organization. (2022). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). (Accessed on 06/03/2023)