



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**MODELO PARAMÉTRICO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES  
CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS M1 CICLO OTTO CON OBD-II**

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

**AUTORES: EDISSON JOSÉ JIMÉNEZ LOJANO**

**JOEL SEBASTIÁN CÁRDENAS ORMAZA**

**TUTOR: ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edison José Jiménez Lojano con documento de identificación N° 0105594725 y Joel Sebastián Cárdenas Ormaza con documento de identificación N° 0302324983; 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, 12 de junio del 2023

Atentamente,



---

Edison José Jiménez Lojano

0105594725



---

Joel Sebastián Cárdenas Ormaza

0302324983

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

Nosotros, Edison José Jiménez Lojano con documento de identificación N° 0105594725 y Joel Sebastián Cárdenas Ormaza con documento de identificación N° 0302324983, 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 paramétrico para la estimación de emisiones contaminantes en vehículos M1 ciclo Otto con OBD-II”, 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, 12 de junio del 2023

Atentamente,



---

Edison José Jiménez Lojano

0105594725



---

Joel Sebastián Cárdenas Ormaza

0302324983

## 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 PARAMÉTRICO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS M1 CICLO OTTO CON OBD-II, realizado por Edison José Jiménez Lojano con documento de identificación N° 0105594725 y por Joel Sebastián Cárdenas Ormaza con documento de identificación N° 0302324983, 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, 12 de junio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, MSc.

0103898995

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto está dedicado para las dos personas mas importantes en mi vida, mis padres José y Regina, quienes nunca desistieron por ver y buscar lo mejor para sus hijos.*

*De igual forma a Jessica, quien es mi compañera, amiga y hermana que siempre está presente en cada uno de los proyectos que emprendo como persona, así mismo a Jhon, quién con sus palabras y regocijo saca lo mejor de cada persona en las mañanas.*

*Por último, este proyecto esta dedicado a mi persona, por siempre tener presente que el motivo para seguir es el cambio que puedo lograr, por las tantas madrugadas que, apoyadas de café, dieron como resultado grandes logros y conocimientos.*

***Edisson José Jiménez Lojano***

## DEDICATORIA

*Este proyecto se encuentra impregnado de gratitud y amor, y está dedicado a dos pilares fundamentales de mi vida: mis padres, Juan Cárdenas y Sandra Ormaza. Su paciencia, su apoyo incondicional y su inquebrantable confianza en mí han sido la luz que me ha guiado en mi camino, reflejándose hoy en el logro de mi carrera.*

*A mi hermano, que ha sido mucho más que un simple apoyo. Ha sido una fuente de alegría y fortaleza durante toda esta travesía, y cada paso que doy lleva consigo el eco de su aliento.*

*Un abrazo lleno de amor y recuerdos envío al cielo, dedicado a mis abuelos, que sembraron en mí la inspiración y el amor por el campo automotriz. Su legado continúa*

*guiándome y motivándome en cada momento.*

*Mi agradecimiento se extiende a mis queridas abuelas, a mis tíos y a todos los miembros de mi familia, cuya presencia ha sido un acompañamiento constante y un faro de amor y apoyo en este largo pero gratificante viaje.*

*Finalmente, me dedico este proyecto a mí mismo. Agradezco a esa persona en el espejo que, a pesar de las adversidades y los desafíos, nunca desistió. Que puso todo su esfuerzo y sacrificio para superarse, para crecer y convertirse en una mejor persona. Esta es la prueba tangible de que ese empeño ha valido la pena.*

***Joel Sebastián Cárdenas Ormaza.***

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por siempre ser un sustento en las largas noches transcurridas, por permitirme tener cerca a mi familia y amigos y por alentarme a resistir y no desistir.*

*A mis padres y hermanos por constantemente ser un apoyo fundamental, a los amigos que siempre creyeron en mí y a las personas que permitieron que fuera parte de su vida.*

*También agradezco a Paul y a Danilo, quienes sembraron grandes conocimientos del campo automotriz en mí y siempre estuvieron pendientes de mi carrera.*

*A nuestro tutor Ing. Néstor Rivera por su paciencia y generosidad al compartirnos información valiosa sobre la carrera, pero también por sus grandes consejos de vida, que nos sirvieron cuando todo se ponía gris.*

***Edisson José Jiménez Lojano***



## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, extiendo mi más profundo agradecimiento a Dios, mi fortaleza constante y mi guía incansable. Su presencia me ha sostenido en tiempos de adversidad, me ha dado la resiliencia para afrontar cada obstáculo que se cruzó en mi camino y me ha brindado la sabiduría para culminar mis estudios con éxito. Pero, sobre todo, Le agradezco por el regalo invaluable de la salud, que es el tesoro más valioso que poseo.*

*A mis padres, cuyo generoso obsequio de una educación universitaria ha sido un regalo de amor y sacrificio, les doy mi más sincero agradecimiento. Hoy, todos esos días de estudio, esfuerzo y dedicación se ven recompensados, y el sueño que una vez fue una aspiración distante es ahora una realidad palpable.*

*Finalmente, deseo expresar mi gratitud a nuestro tutor, el Ing. Néstor Rivera. Su apoyo incondicional, su invaluable asesoramiento y su constante disponibilidad han sido fundamentales en todas las etapas de este proyecto de titulación. Sus conocimientos y su guía nos*

*han conducido a través de este proceso, y por ello le estamos profundamente agradecidos.*

***Joel Sebastián Cárdenas Ormaza.***

## RESUMEN

El presente proyecto técnico expone un modelo paramétrico propuesto para estimar las emisiones de gases contaminantes en vehículos con motores ciclo Otto con OBD-II. Este modelo se basa en la adquisición de datos por medio de un diagnóstico a bordo y algoritmos de aprendizaje automático.

Los datos se recopilieron por medio de dispositivos portátiles durante pruebas de Emisiones en Conducción Real (RDE, por sus siglas en inglés) en carretera, para en un posterior análisis, entrenar por medio de redes de aprendizaje automático, validando de esta forma el modelo y así permitiendo calcular los factores de emisión de los gases  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HC$  y  $NO_x$ . Además, se considera el aprendizaje de clasificación Machine Learning para evaluar el comportamiento de cada gas contaminantes en las marchas de los 3 vehículos de prueba.

El modelo se entrena en base a 3 vehículos, los mismos que siguieron 3 rutas diferentes cumpliendo con las condiciones expuestas por las RDE. De esta forma, los factores de emisión obtenidos se compararon con el modelo IVE, el cual presenta características significativas con respecto a la ciudad de Cuenca, tales como altitud y patrones de conducción. De igual manera, este modelo proporciona información crucial que aporta al inventario de emisiones, reflejando las condiciones reales de la flota de vehículos en la ciudad de Cuenca.

**Palabras Claves:** *Modelo paramétrico, emisiones contaminantes, redes neuronales, OBD, factores de emisión.*

## ABSTRACT

This technical project presents a proposed parametric model for estimating pollutant gas emissions in vehicles with Otto cycle engines equipped with OBD-II. This model is based on data acquisition through on-board diagnostics and machine learning algorithms.

Data was collected via portable devices during Real Driving Emissions (RDE) tests on the road, which was then later analyzed, and used to train through machine learning networks, thus validating the model and allowing for the calculation of the emission factors for  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HC$ , and  $NOx$  gases. Moreover, Machine Learning classification learning is considered to evaluate the behavior of each pollutant gas in the gears of the 3 test vehicles.

The model is trained based on 3 vehicles, which each followed 3 different routes complying with the conditions set out by the RDE. In this way, the obtained emission factors were compared with the IVE model, which presents significant characteristics with respect to the city of Cuenca, such as altitude and driving patterns. Similarly, this model provides crucial information that contributes to the emissions inventory, reflecting the real conditions of the vehicle fleet in the city of Cuenca.

**Keywords:** *Parametric model, Pollutant emissions, Neural networks, OBD, emission factors.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>2. PROBLEMA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Importancia y Alcances.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3. Delimitación.....</b>	<b>25</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
3.1. Objetivo General.....	26
3.2. Objetivos Específicos.....	26
<b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>27</b>

<b>5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>30</b>
5.1. MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO.....	30
5.2. EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MOVILES .....	31
<b>5.2.1. MONOXIDO DE CARBONO .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2.2. DIOXIDO DE CARBONO .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2.3. HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2.4. OXIDOS DE NITROGENO.....</b>	<b>32</b>
5.3. PROCESO DE COMBUSTION DE UN MEP .....	33
5.4. PARAMETROS AMBIENTALES QUE INLUYEN EN LA COMBUSTION DE UN MEP	33
5.5. VEHICULOS M1 .....	34
5.6. Protocolo OBD.....	35
<b>5.6.1. OBD I .....</b>	<b>36</b>
<b>5.6.2. Sistema OBD II .....</b>	<b>37</b>
<b>5.6.3. Protocolos de comunicación para OBD II .....</b>	<b>40</b>
5.7. CICLO DE CONDUCCION.....	41

<b>5.7.1. Prueba/Ciclo RDE (Emisiones en condiciones de conducción real)</b>	<b>41</b>
<b>5.8. REDES NEURONALES ARTIFICIALES</b>	<b>42</b>
<b>5.8.1. COMPONENTES DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL (RNA)</b>	<b>43</b>
<b>5.8.2. FUNCIONES DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)</b>	<b>44</b>
<b>5.8.3. ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL</b>	<b>44</b>
<b>5.8.4. VENTAJAS DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES</b>	<b>45</b>
<b>6. MARCO METODOLOGICO</b>	<b>46</b>
6.1. Adquisición de las señales de los PID's	46
6.1.1. Diseño experimental orientado a la adquisición de datos	46
6.1.1.1. Variables de ingreso	47
6.1.2. Progreso en la ejecución experimental para la recolección de información	60
6.2. Verificación de la información adquirida.	62
6.2.1. Representación gráfica de la información recabada	62
6.2.2. Procesamiento de datos	63

<b>7.</b>	<b>Descripción de datos obtenidos y análisis de redes de aprendizaje automático.</b>	<b>65</b>
7.1.	Arquitecturas de aprendizaje.....	65
7.1.1.	Marchas en la ruta establecida. ....	66
7.1.2.	Análisis muestral. ....	69
7.1.3.	Gases contaminantes emitidos por los vehículos de prueba. ....	71
7.1.4.	Emisiones contaminantes – Marchas.....	74
<b>8.</b>	<b>Evaluación de datos mediante software de ingeniería.....</b>	<b>77</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>11.</b>	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>85</b>
<b>12.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Delimitación del proyecto .....	26
Figura 2: Ciclo funcional de un MEP .....	31
Figura 3: Relación OBD I-OBD II.....	36
Figura 4: Tipos OBD-I.....	37
Figura 5: Conector OBD-II.....	39
Figura 6: Conector OBD-II.....	39
Figura 7: Red Neuronal Artificial.....	43
Figura 8: Factores de incidencia .....	46
Figura 9: Vehículo A de prueba.....	50
Figura 10: Vehículo B de prueba .....	51
Figura 11: Vehículo de prueba C.....	52
Figura 12: Banco Dinamométrico.....	53
Figura 13: Freematic One Plus .....	54
Figura 14: Analizador de gases.....	56
Figura 15: Interfaz de Kane live .....	59

Figura 16: Ruta establecida para la adquisición de datos .....	60
Figura 17: Dispositivos para adquirir datos .....	61
Figura 18: Flujograma para la adquisición de datos .....	62
Figura 19: Valores de los gases contaminantes obtenidos por el analizador de gases .....	63
Figura 20: Valores obtenidos de las señales de los PID's por el Frrematic.....	63
Figura 21: Datos freematic.mat.....	64
Figura 22: Datos Kanelive.mat .....	64
Figura 23: Marchas del vehículo A de prueba. ....	65
Figura 24: Marchas de los vehículos B de prueba. ....	66
Figura 25: Marchas en ruta de prueba del vehículo A. ....	67
Figura 26: Marchas en prueba de ruta del vehículo B. ....	67
Figura 27: Marchas en ruta de prueba del vehículo C. ....	68
Figura 28: Segmentación prueba de ruta. ....	68
Figura 29: Densidad muestral vehículo A. ....	69
Figura 30: Densidad muestral vehículo B.....	70
Figura 31: Densidad muestral vehículo C.....	70

Figura 32: Analisis HC vehículos prueba-IVE. ....	71
Figura 33: Análisis CO2 vehículos de prueba-IVE. ....	72
Figura 34: Análisis CO vehículos de prueba-IVE. ....	73
Figura 35: Análisis de NOx vehículos de prueba-IVE. ....	74
Figura 36: Emisión de contaminantes por marcha Hyundai Grand i10. ....	75
Figura 37: Emisión de contaminantes por marcha Hyundai Accent. ....	76
Figura 38: Emisión de contaminantes por marcha Kia Sportage R. ....	77
Figura 39: Error entre lo medido y calculado CO2. ....	78
Figura 40: Error entre lo medido y calculado CO. ....	80
Figura 41: Error entre lo medido y calculado NOx. ....	81
Figura 42: Error entre lo medido y calculado HC. ....	82

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Designación y Denominación de pines del conector OBD-II. ....	38
Tabla 2: Protocolos de comunicación OBD-II.....	40
Tabla 3: Parámetros de validación de un ciclo de conducción. ....	42
Tabla 4: Variables de ingreso .....	47
Tabla 5: Variables de bloqueo .....	48
Tabla 6: Variables de ruido.....	48
Tabla 7: Variables de salida.....	49
Tabla 8: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba A .....	50
Tabla 9: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba B.....	51
Tabla 10: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba C.....	52
Tabla 11:Parámetros de identificación adquiridos.....	55
Tabla 12:Especificaciones del analizador de gases .....	56
Tabla 13: Rangos de medición y precisión del analizador de gases .....	57
Tabla 14: Coeficientes de correlación.....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS.

Figura A- 1: Prueba Banco Dinamométrico vehículo A.....	93
Figura A- 2: Conexión dispositivos de adquisición vehículo A .....	94
Figura A- 3: Consumo de combustible al finalizar prueba de ruta Vehículo A. ....	94
Figura A- 4: Kane conectado .....	95
Figura A- 5: Dispositivos de adquisición conectados en vehículo B.....	95
Figura A- 6: Freematic conectado.....	96
Figura A- 7: Entrenamiento red neuronal .....	96

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental causada por la actividad vehicular es reconocida a nivel mundial como un problema significativo debido a sus graves repercusiones en la salud pública (Palacios Elvira & Espinoza Claudia, 2014)

En consecuencia, se ha vuelto esencial reducir las emisiones de contaminantes como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno (EPA, 2016) promoviendo modelos de movilidad sostenible y no motorizada (Reitz et al., 2020). Actualmente, los modelos respaldados por estándares internacionales como euro 6 permiten evaluar los niveles de contaminación, lo que lleva a la toma de decisiones basadas en datos reales de la flota vehicular a nivel local y nacional. Las pruebas de emisiones en conducción real (RDE) las más representativas del estándar euro 6 (Fraidl et al., 2016), contemplan factores como la carga del vehículo, que difieren entre una prueba de laboratorio y una prueba en carretera. De manera similar, la RDE considera la temperatura ambiente, la diferencia de altitud y el rango de velocidad promedio

Factores como las condiciones de conducción, la calidad del combustible y las características del vehículo influyen en la emisión de gases contaminantes. Un estudio realizado en la ciudad de Quito evaluó la emisión de gases contaminantes de vehículos privados con motores de ciclo Otto (Cedeño et al., 2018). El estudio buscaba determinar las emisiones de CO, HC y NOx de 20 vehículos en condiciones de ralentí y en circulación, utilizando un analizador de gases. Los resultados sugieren que los vehículos evaluados emiten volúmenes significativos de gases contaminantes, especialmente en circulación, lo que contribuye a la degradación de la calidad del

aire en la ciudad. Además, se ha verificado que la emisión de gases contaminantes es mayor en áreas de alto tráfico vehicular. Sin embargo, las características del vehículo, como el peso, modelo, distancia recorrida, calidad del combustible, pendiente de la carretera y aceleración, entre otras, también están directamente relacionadas con la emisión de gases contaminantes.

Esta investigación presenta una metodología innovadora para estimar las emisiones de contaminantes producidas por un vehículo, utilizando datos como la posición del acelerador, la temperatura del refrigerante del motor, la presión absoluta del colector de admisión y la ubicación GPS. Con estos datos obtenidos a través de la prueba RDE, se generó un modelo paramétrico para estimar las emisiones de gases contaminantes. Este modelo se validó frente al modelo IVE, obteniendo resultados precisos. Además, se utilizó el algoritmo de aprendizaje automático para entrenar una red neuronal (ANN), validando el modelo y considerando tres características que identifican cada uno de los vehículos de prueba: desplazamiento, peso y tipo de vehículo. Este modelo paramétrico ofrece la posibilidad de estimar los factores de emisión, lo que puede contribuir a la creación de un inventario nacional de emisiones de vehículos. Además, facilita las pruebas en carretera sin necesidad de utilizar equipos que puedan afectar el rendimiento del vehículo.

## **2. PROBLEMA**

El actual parque automotor ha visto un incremento considerable y acelerado, llegando este último año a 119.316 unidades de vehículos (AEADE,2021); por consiguiente, la contaminación ambiental ha incrementado en mayor proporción, de acuerdo al informe emitido por la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca (EMOV, 2022), la

calidad del aire en Cuenca está condicionada por la clase de vehículos existentes, siendo necesario el análisis de las emisiones contaminantes provocadas por estas fuentes móviles.

Por ello el estudio de datos adquiridos de los vehículos son una alternativa para la estimación de estos contaminantes, debido a la carencia informática de los modelos actuales, los cuales no detallan las condiciones reales de los vehículos en la ciudad de Cuenca, ya que se usan valores de la lista de las emisiones previamente publicadas por la Agencia de Protección Ambiental y estos especifican características de los vehículos distintos a los que se dispone en el Ecuador (Ordoñez,2018).

El análisis de emisiones contaminantes provenientes de vehículos mediante la recopilación de datos en donde se usan elementos on-board GPS y arquitecturas de aprendizaje automático, ha permitido calcular las velocidades, aceleraciones y gases de efecto invernadero, siendo estas metodologías las más factibles en la actualidad para dar un registro del impacto contaminante proveniente de los vehículos (Kancharla y Ramadurai, 2018).

## **2.1.Antecedentes**

Para el año 2021, en la provincia del Azuay se registraron 163.598 vehículos matriculados (INEC, 2021), particularmente en la ciudad de Cuenca circulaban 65.782 vehículos (El MERCURIO, 2022), lo que indican una alta tasa de automóviles, por ende, la saturación de gases contaminantes en el aire incrementó. Por lo que, optar por estrategias que faciliten la toma de datos de cuan peligrosos pueden ser los gases emanados por cada unidad, resulta factible para concientizar el grado de impacto que tienen estos.



Estimar los gases contaminantes de un vehículo por medio de pruebas dinámicas, facilita la implementación de un modelo que funcionará como eje, para la toma de decisiones a partir de un inventario de emisiones, siendo una herramienta funcional para renovar la calidad del aire existente en la ciudad. (Gaitán Varón & Cárdenas Ruíz, 2017).

Los modelos paramétricos, son una estrategia innovadora para estimar los factores de emisión que producen los vehículos, debido a que están relacionados directamente con el comportamiento real de cada uno de ellos. (Rojas, 2018).

## **2.2.Importancia y Alcances**

Este proyecto tiene como objetivo beneficiar a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana al mejorar sus procesos de investigación. Además, se busca que este modelo paramétrico contribuya al inventario de emisiones contaminantes de la ciudad de Cuenca. Para lograrlo, se realizaron pruebas dinámicas en tres categorías distintas de vehículos, lo que permitirá reducir la incertidumbre presente en el inventario.

## **2.3.Delimitación**

El presente proyecto, está desarrollado en el casco urbano de la ciudad de Cuenca, la cual presenta una altitud de 2560 m.s.n.m.



*Figura 1: Delimitación del proyecto*

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Desarrollar un modelo paramétrico para la estimación de emisiones contaminantes en vehículos M1, ciclo Otto que dispongan de OBD-II mediante redes de aprendizaje automático.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Revisar el estado de arte de las emisiones contaminantes a través de revisiones bibliográficas, para la obtención de variables de interés del modelo paramétrico.
- Adquirir datos de las emisiones contaminantes por medio de pruebas normalizadas basadas en adquisición por protocolo OBD-II y rutas RDE.

- Validar el modelo por medio de la adquisición de los datos obtenidos, mediante redes de aprendizaje automático.
- Evaluar los datos obtenidos mediante un software de ingeniería de inteligencia artificial que permita la estimación de las emisiones de gases para vehículos M1 ciclo Otto.

#### **4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL ESTADO DE ARTE**

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) señala que las emisiones de los motores de combustión interna, incluyendo los motores ciclo Otto, son una fuente importante de contaminación atmosférica que puede afectar la salud humana. Las emisiones de los motores ciclo Otto contienen partículas finas, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles que pueden provocar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer.

En Estados Unidos, (Dallmann & Harley, 2019) llevo a cabo una investigación en la ciudad de San Diego para analizar la calidad del aire y la contaminación causada por los vehículos. El objetivo de su estudio fue evaluar la concentración de partículas finas en el aire y compararla con los límites establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. La población de estudio fueron los habitantes de San Diego y los instrumentos utilizados fueron equipos de monitoreo de la calidad del aire. Los principales resultados mostraron que los vehículos eran responsables de más del 50% de las emisiones de partículas finas en la ciudad. La conclusión fue que las emisiones de los vehículos tenían un impacto significativo en la calidad del aire y la salud pública. En India, (Gurjar et al., 2010) realizo una revisión de la literatura sobre las emisiones de los motores de combustión interna en el país. El objetivo de su estudio fue analizar las tendencias y los patrones de emisiones de los vehículos en India y compararlos con otros países.

La población de estudio fue la población india y los instrumentos utilizados fueron artículos de investigación científica y bases de datos electrónicas. Los principales resultados mostraron que las emisiones de los vehículos en India estaban aumentando debido al crecimiento de la población, el aumento de la urbanización y la falta de políticas efectivas de control de emisiones. La conclusión fue que era necesario implementar políticas más efectivas para controlar las emisiones de los vehículos en India. En China, (Huang et al., 2014) llevo a cabo un estudio en la ciudad de Beijing para evaluar las emisiones de los vehículos y su impacto en la calidad del aire. El objetivo de su estudio fue medir las concentraciones de partículas finas y gases contaminantes en el aire y evaluar su relación con el tráfico vehicular. La población de estudio fueron los habitantes de Beijing y los instrumentos utilizados fueron equipos de monitoreo de la calidad del aire. Los principales resultados mostraron que las emisiones de los vehículos eran una fuente importante de contaminación del aire en la ciudad y que la exposición a las emisiones de los vehículos estaba asociada con un mayor riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La conclusión fue que se necesitaban políticas más efectivas de control de emisiones para reducir la contaminación.

(Cadena et al. 2018), en su estudio realizo en la ciudad de Quito, se evaluó la emisión de gases contaminantes de vehículos particulares con motores ciclo Otto. El objetivo fue determinar las emisiones de *CO*, *HC* y *NOx* de 20 vehículos en condiciones de ralentí y en circulación. La muestra consistió en vehículos de diferentes marcas y modelos. Se utilizó un analizador de gases para la medición de las emisiones. Los resultados indicaron que los vehículos evaluados emiten una cantidad significativa de gases contaminantes, especialmente en circulación, lo que contribuye a la mala calidad del aire en la ciudad. En el estudio de (Gaviláñez, 2019), realizado en la ciudad de Guayaquil, se evaluó la emisión de gases contaminantes de vehículos livianos. El objetivo fue

determinar las emisiones de material particulado por fuentes móviles. La muestra consistió en 25 vehículos. Se utilizó un equipo de análisis de gases portátil para la medición de las emisiones. Los resultados mostraron que los vehículos más antiguos y los que utilizan sistemas de inyección de combustible más simples presentaron mayores emisiones contaminantes. Una investigación realizada por (Beltrán Ruiz, 2020) en la ciudad de Quito, Ecuador, tuvo como objetivo evaluar las emisiones contaminantes de gases de escape de vehículos livianos de gasolina. La muestra de estudio incluyó 30 vehículos de diferentes marcas y modelos. Para la medición de emisiones se utilizó un analizador de gases portátil, mientras que para la identificación de los contaminantes se empleó un cromatógrafo de gases. Los resultados mostraron que los vehículos evaluados presentaron emisiones por encima de los límites permitidos por la normativa ambiental vigente. Los autores concluyeron que es necesario establecer políticas públicas que incentiven la renovación del parque automotor, con el fin de reducir la emisión de contaminantes.

Según (Flores & Silva, 2016), el objetivo de su estudio fue evaluar las emisiones de gases de escape de los vehículos en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La población de estudio incluyó vehículos con motor ciclo Otto, que transitaban por diferentes zonas de la ciudad. Para medir las emisiones, se utilizó un analizador de gases de escape. Los resultados indicaron que los vehículos de mayor antigüedad emitían mayores niveles de contaminantes, en particular, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Los autores concluyeron que se requiere una mayor regulación y control de los vehículos que circulan por la ciudad para reducir los niveles de contaminación atmosférica. (Ortiz Jaramillo, 2021), en su investigación mide las emisiones de  $CO_2$ ,  $CO$  y  $NO_x$  producidas por vehículos de combustión interna que circulan por la ciudad de Cuenca, con el fin de evaluar su impacto ambiental. La población de estudio incluyó a vehículos particulares y de

transporte público en distintos horarios y puntos de la ciudad. Los autores utilizaron un analizador de gases portátil para medir las emisiones de los vehículos en movimiento. Los resultados mostraron que la concentración de  $CO_2$ ,  $CO$  y  $NO_x$  en el aire de Cuenca superaba los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, los vehículos de transporte público y de carga fueron los mayores emisores de contaminantes. Los autores concluyen que es necesario tomar medidas para reducir las emisiones de los vehículos en la ciudad y mejorar la calidad del aire para la salud de la población. (Arias & Ludeña, 2018), en la ciudad de Cuenca, provincia de Azuay, los motores ciclo Otto son una de las principales fuentes de emisiones contaminantes. El objetivo de su investigación fue evaluar las emisiones de gases de escape de los vehículos que circulan en la ciudad de Cuenca, con el fin de determinar el nivel de contaminación ambiental. La población de estudio fueron los vehículos que circulan por la ciudad y se seleccionó una muestra de 50 vehículos. Se utilizaron instrumentos de medición de gases de escape y se midieron los niveles de monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarburos ( $HC$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ). Los principales resultados indicaron que los niveles de emisiones de  $CO$  y  $HC$  superan los límites establecidos por la normativa ambiental en algunos casos, mientras que las emisiones de  $NO_x$  se mantienen dentro de los límites permitidos. En conclusión, se evidencia la necesidad de implementar medidas de control y regulación de emisiones de vehículos en la ciudad de Cuenca, con el fin de proteger la calidad del aire y la salud de la población.

## **5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **5.1. MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO**

Es un motor de combustión interna en el que la combustión de la mezcla se inicia mediante una chispa producida por una bujía en la cámara de combustión. (Ganesan, 2018)

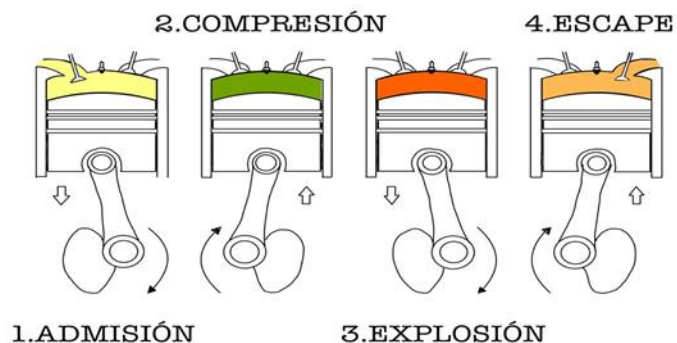


Figura 2: Ciclo funcional de un MEP

El proceso de abastecimiento de combustible en motores de encendido provocado se clasifica en dos tipos principales: por carburador e inyección de combustible. En el método de abastecimiento por carburador, se mezcla el combustible con el aire en el carburador antes de que éstos ingresen a la cámara de combustión. Por otro lado, en el método de inyección combustible, éste se introduce en la cámara de combustión en cantidades medidas y controladas, sin necesidad de mezclarlo previamente con el aire. (Heywood, 2018)

## 5.2. EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MOVILES

Se refiere a las sustancias químicas liberadas por los vehículos de motor que son nocivas para la salud humana y el medio ambiente. Estas emisiones consisten en diversos contaminantes, como compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas y otros elementos nocivos. (The National Academies of SCIENCES-ENGINEERING-MEDICINE, 2017).

### **5.2.1. MONOXIDO DE CARBONO**

Es un gas incoloro y peligroso que se produce cuando los combustibles que contienen carbono se queman de forma incompleta debido a la falta de oxígeno durante la combustión. Este gas tóxico es muy dañino para la salud humana. (Sánchez, 2011)

### **5.2.2. DIOXIDO DE CARBONO**

Es un gas incoloro que se libera cuando se queman combustibles fósiles en diversas formas de transporte. Según la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., las emisiones de dióxido de carbono de fuentes móviles representan alrededor del 29% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero de EE. UU. (Epa et al., 2021)

### **5.2.3. HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS**

Los compuestos orgánicos volátiles, conocidos como hidrocarburos no quemados, se liberan cuando los combustibles fósiles se queman de forma incompleta en los vehículos. Estos compuestos juegan un papel importante en la formación de ozono troposférico y otros contaminantes atmosféricos. (Fristrom, 2000)

### **5.2.4. OXIDOS DE NITROGENO**

Son compuestos liberados cuando se queman combustibles fósiles en diversas formas de transporte. Estos compuestos se consideran precursores del ozono troposférico y su emisión contribuye a la lluvia ácida y la contaminación del aire. (Payri González & Desantes Fernández, 2011)



### **5.3. PROCESO DE COMBUSTION DE UN MEP**

En un motor de combustión interna de ciclo Otto, el proceso de combustión se puede describir como una reacción química exotérmica que ocurre entre el combustible y el oxidante en la cámara de combustión. Esta reacción produce energía térmica y mecánica.

Según (Puri et al., 2015), el motor Otto tiene cuatro etapas de combustión:

Fase de premezcla: Se introduce la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión y se mezcla en la relación estequiométrica necesaria.

Fase de encendido: La chispa de la bujía enciende la mezcla y comienza la reacción de combustión.

Fase de combustión rápida: La llama se propaga rápidamente a través de la mezcla aire-combustible.

Fase de Combustión: La llama se apaga a proporción que se consume el combustible y se expulsan los productos de la combustión.

### **5.4. PARAMETROS AMBIENTALES QUE INLUYEN EN LA COMBUSTION DE UN MEP**

Los parámetros ambientales que afectan la combustión MEP son diversos y pueden afectar significativamente el rendimiento del motor.

Según (Akhil et al., 2016) algunos parámetros ambientales clave que afectan la combustión de un MEP:

1. Temperatura ambiente: La temperatura ambiente afecta directamente la densidad del aire y por lo tanto la cantidad de oxígeno disponible para la combustión.
2. Humedad relativa: La humedad relativa del aire también afecta la densidad del aire y, por lo tanto, la cantidad de oxígeno disponible para la combustión.
3. Altitud: La altitud afecta la densidad del aire y, por lo tanto, la cantidad de oxígeno disponible para la combustión.
4. Presión atmosférica: La presión atmosférica afecta la densidad del aire y, por lo tanto, la cantidad de oxígeno disponible para la combustión.
5. Contaminantes del aire: La presencia de contaminantes del aire, como partículas y gases, puede afectar la calidad del aire y la combustión MEP.

## **5.5. VEHICULOS M1**

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2016) la clasificación de vehículos se establece con el fin de garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de los automóviles. La categoría M1 está diseñada para el transporte de pasajeros, generalmente con fines particulares, en la que se tiene una capacidad máxima de ocho asientos (excluyendo al conductor).

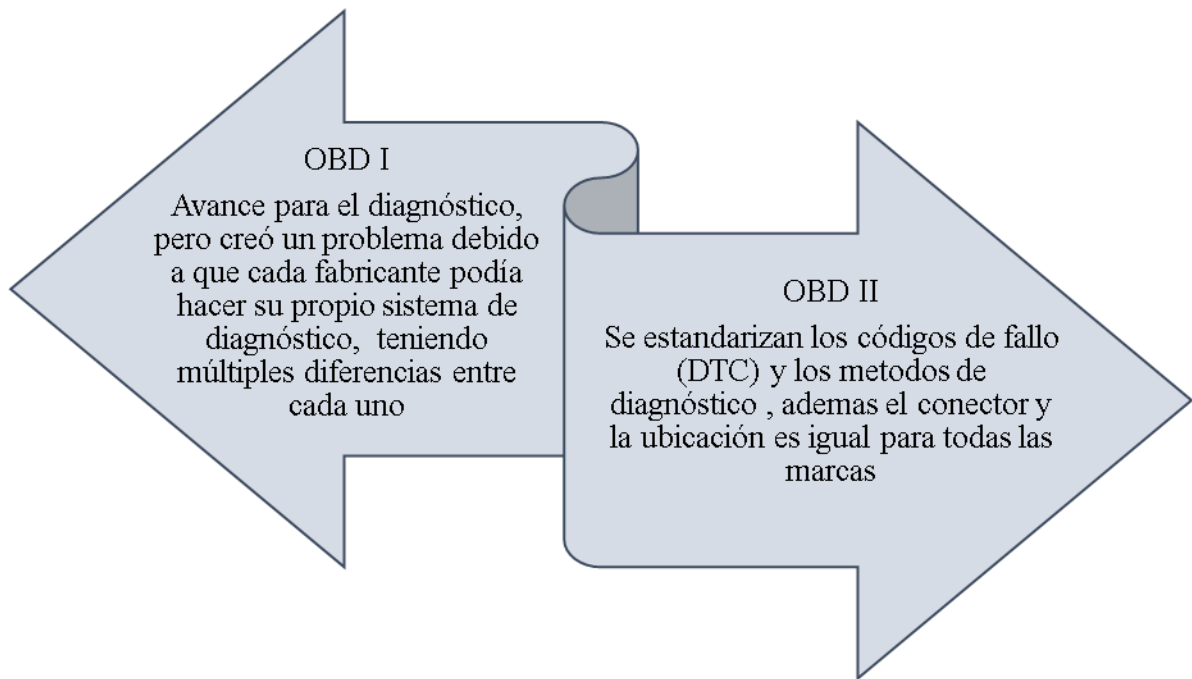
Los vehículos que se encuentran dentro de la categoría M1:

- Autos sedán: Vehículos de cuatro puertas y capacidad para 4-5 pasajeros, con un compartimento separado para el equipaje.

- Hatchback: Vehículos con una puerta trasera que se abre hacia arriba y el área de carga se encuentra en el mismo compartimento que los asientos traseros. Por lo general, tienen una capacidad para 4-5 pasajeros.
- Coupé: Vehículos de dos puertas con capacidad para 2-4 pasajeros. Generalmente tienen un diseño deportivo y elegante.
- Convertible: Vehículos con un techo desmontable o plegable.
- Vehículos familiares o station wagon: Vehículos con mayor espacio de carga que un sedán y capacidad para 5-7 pasajeros.
- Crossover o SUV compacto: Vehículos que combinan características de automóviles y vehículos todoterreno. Estos modelos suelen tener una mayor altura libre al suelo y capacidad para 4-5 pasajeros.
- Monovolumen o minivan: Vehículos con un diseño más espacioso que los vehículos tradicionales, lo que permite una mayor capacidad de pasajeros y carga. Capacidad para 6-8 pasajeros.

## **5.6. Protocolo OBD**

On Board Diagnostics (OBD), surgió gracias a la California Air Resources Board, de Estados Unidos en 1988, con la finalidad de monitorear las emisiones contaminantes emanadas por un vehículo. Es un sistema encargado de realizar mediciones, verificaciones y monitoreo del motor y sistemas aledaños. (Blasco, 2014)



*Figura 3: Relación OBD I-OBD II.*

### **5.6.1. OBD I**

Además, para OBD I se tiene un sistema de diagnóstico a bordo conocido como Assembly Line Diagnostic Link (ALDL), el cual incluye 12 pines, sin embargo, son usados solamente 9, teniendo un protocolo no estandarizado para cada marca.



*Figura 4:Tipos OBD-I.*

*Fuente:(Alibaba, 2023)*

### **5.6.2. Sistema OBD II**

En 1966, debido a la implementación de medidas más tajantes contra la contaminación surge OBD II, que está encargado de inspeccionar el comportamiento del catalizador mediante sensores de oxígeno, al igual que guarda un registro de la falla que ocurrió permitiendo visualizar posteriormente al técnico de servicio. (Globaltech, 2017)

Este sistema estandarizó varios particulares como:

- Conector de diagnóstico tipo DLC
- Códigos de diagnóstico
- Denominación de los terminales
- Protocolo de comunicación

### 5.6.2.1. Conector OBD II

(Ortiz López, 2014) se refiere al conector estandarizado para el sistema OBD-II, denominado conector DLC o Data Link Connector por sus siglas en inglés, además está descrito bajo la norma SAE J196, la cual tiene como misión permitir la conexión entre los módulos del vehículo y la herramienta de diagnóstico. (SAE, 2002)

El conector posee 16 pines, los mismos que se detallan en la tabla inferior a partir de la norma SAE-J1962

*Tabla 1: Designación y Denominación de pines del conector OBD-II.*

*Fuente: (Ortiz, Lopez, 2014) & (McCord, 2011)*

<b>Pin #</b>	<b>Denominación</b>	<b>Pin #</b>	<b>Denominación</b>
1	Designado por el fabricante del vehículo	9	Designado por el fabricante del vehículo
2	SAE-J1850 PWM y VPW (+)	10	
3	Designado por el fabricante del vehículo	11	Designado por el fabricante del vehículo
4	Tierra del chasis (-)	12	Designado por el fabricante del vehículo
5	Tierra de la señal (-)	13	Designado por el fabricante del vehículo

6	SAE-J2284 e ISO 15764-4	14	SAE-J2284 e ISO 15765-4
	CAN BUS. Señal Alta		CAN BUS. Señal Baja
7	ISO 9141-2 E ISO 14230-4	15	ISO 9141-2 e ISO 14230-4
	Línea K		Línea L
8	Designado por el fabricante del vehículo	16	Voltaje de la batería

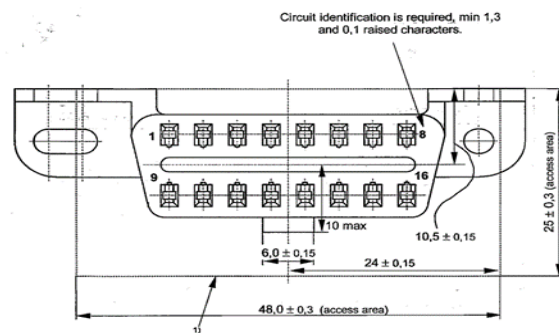


Figura 5: Conector OBD-II.

Fuente: (SAE, 2002)

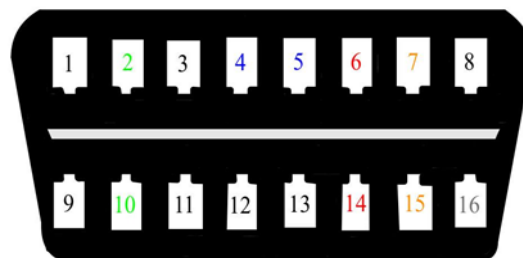


Figura 6: Conector OBD-II

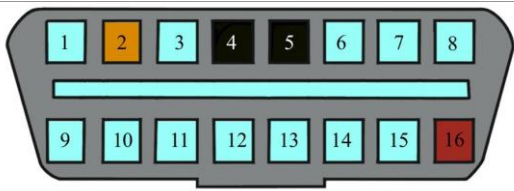
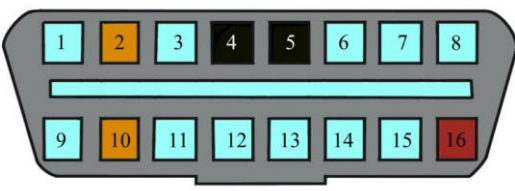
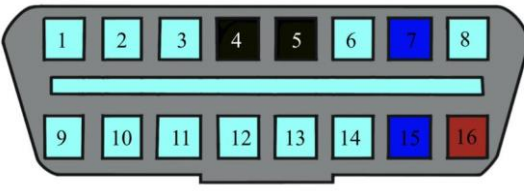
### 5.6.3. Protocolos de comunicación para OBD II

De acuerdo con (Ortiz López Julio César, 2014) indica que los protocolos de comunicación son diseñados por cada fabricante de vehículos, los cuales son un grupo de reglas que posibilitan la comunicación entre diferentes dispositivos para el intercambio de información.

En la tabla 2 se indican los protocolos aprobados por la Unión Europea y la Agencia de protección del ambiente.

Tabla 2: Protocolos de comunicación OBD-II.

Fuente: (McCord, 2016) & Autor.

Protocolo	Pin	Ilustración
SAE J1850 PWM	2,4,5,16	
SAE J1850 VPW	2,4,5,10,16	
ISO 9141-2 ISO 14230 KWP2000	4,5,7,16	



ISO 15765-4      4,5,6,14,16

CAN BUS



## 5.7. CICLO DE CONDUCCION

Consiste en una serie de condiciones de funcionamiento que simulan patrones de conducción típicos de la vida real, como arrancar, detener, acelerar y desacelerar, se utiliza para evaluar el rendimiento y la eficiencia del vehículo y del motor

Se pueden clasificar en dos categorías: ciclos de conducción dinámicos y ciclos de conducción estáticos. Los ciclos dinámicos se basan en datos recopilados en la carretera y simulan patrones de conducción más realistas, mientras que los ciclos estáticos están diseñados para realizar mediciones y, en general, son más simples. (Zhao et al., 2015).

### 5.7.1. Prueba/Ciclo RDE (Emisiones en condiciones de conducción real)

Es un procedimiento ocupado por la Unión Europea (UE) desde el 2017 como un complemento a las pruebas realizadas en laboratorio, ya que se consideran factores como altitud, carga útil, temperatura ambiente, diferentes vías de conducción (urbano, rural, autopista), los mismos que aseguran que los resultados obtenidos sean semejantes a cuando un vehículo funcione en condiciones de operación real.(Varella et al., 2017)

Para que un ciclo de conducción sea válido es necesario que cumpla, ciertos parámetros los mismos que se detallan en la tabla 3.

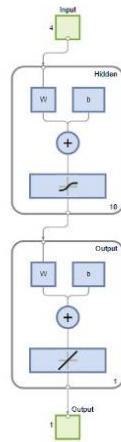
*Tabla 3: Parámetros de validación de un ciclo de conducción.*

*Fuente: (Ramos et al., 2016)*

Parámetros	Zona			Unidad de medida
Distancia:	58.37			m
Temperatura ambiente:	17 °C			
Tiempo de duración:	90-120			minutos
Variación de Altitud:	<100			m
	Urbana	Rural	Autopista	
Velocidad	<60	60-90	>90	km/h
Velocidad media	15-30	60-90	>90	km/h

## 5.8. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Es un modelo matemático basado en el cerebro humano para realizar tareas de aprendizaje automático. Esta técnica, conocida como red neuronal, consiste en grupos de unidades de procesamiento llamadas neuronas que están interconectadas para procesar información y producir resultados. Cada neurona de la red recibe información de otras neuronas, la procesa mediante una función de activación y produce una salida que se utiliza como entrada para otras neuronas de la red. Las conexiones entre neuronas también tienen pesos asociados que ajustan cómo cada entrada afecta la salida de la neurona. (Dell'Aversana, 2019)



*Figura 7: Red Neuronal Artificial.*

### **5.8.1. COMPONENTES DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL (RNA)**

Una red neuronal artificial según (Aggarwal, 2018), está formada por varios componentes.

- Neuronas: son las principales unidades de procesamiento que reciben información, realizan cálculos y generan resultados.
- Capas: son grupos de neuronas que reciben entradas y producen una salida intermedia. Una red neuronal puede tener varias capas.

• Pesos: Es el valor asignado a las conexiones entre neuronas en una red neuronal. Los pesos determinan cuánto contribuye una neurona a la salida de otra neurona en la red.

- Funciones de activación: Estas funciones son herramientas matemáticas no lineales utilizadas para generar neuronas en redes neuronales. Además, se indica que las funciones de

activación desempeñan un papel importante en la introducción de la no linealidad en las redes neuronales.

### **5.8.2. FUNCIONES DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)**

El funcionamiento de las redes neuronales artificiales se basa en el procesamiento de la información mediante una serie de capas neuronales interconectadas. En este proceso, la información de entrada se introduce en la capa de entrada y cada neurona recibe una parte de la entrada y realiza cálculos para producir una salida. La salida de cada neurona luego pasa a la siguiente capa, donde se vuelve a procesar para generar una nueva salida, y el proceso se repite en las capas ocultas hasta llegar a la capa de salida, que produce la salida final de la red.

Durante el entrenamiento, una red neuronal ajusta los pesos de conexión entre las neuronas para minimizar la función de pérdida, que mide qué tan bien la salida de la red coincide con la salida esperada. Este ajuste de peso se realiza mediante un algoritmo de optimización que tiene como objetivo encontrar un conjunto de pesos que minimice la función de pérdida.

Una vez que la red está entrenada, se puede usar para predecir nuevas entradas. En este proceso, la información de entrada se introduce en la capa de entrada, se procesa a través de las capas ocultas y la capa de salida produce la salida final de la red. (Goodfellow et al., 2016).

### **5.8.3. ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL**

Es el proceso de ajustar los pesos y sesgos de la red para lograr que la función de costo asociada con el conjunto de datos de entrenamiento sea lo más baja posible. La función de costo mide la diferencia entre la salida de la red y la salida deseada, y el objetivo del entrenamiento es encontrar

los pesos y sesgos que minimicen esta diferencia y permitan que la red produzca la salida exacta. (Nielsen, 2015)

#### **5.8.4. VENTAJAS DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

Según (Brunton & Kutz, 2019) Las redes neuronales artificiales tienen varias ventajas sobre otros métodos de aprendizaje automático. Algunas ventajas son:

- **Capacidad de aprender patrones complejos:** Las redes neuronales tienen la capacidad de aprender patrones complejos a partir de datos de entrada. Por lo que, son muy efectivos en tareas relacionadas con la clasificación de imágenes, procesamiento de lenguaje natural, detección de fraudes, etc.
- **Adaptabilidad:** La capacidad de las redes neuronales para adaptarse a los cambios en los datos de entrada las convierte en una herramienta invaluable en aplicaciones que requieren actualizaciones constantes, como el monitoreo de datos en tiempo real.
- **Tolerancia al ruido:** La utilidad de las redes neuronales radica en su capacidad para procesar información que puede ser incompleta o inconsistente, lo que las hace ideales para aplicaciones que manejan datos ruidosos o incompletos.
- **Paralelismo y escalabilidad:** Las redes neuronales son altamente paralelas, lo que les permite procesar datos simultáneamente en múltiples procesadores. Esto les permite procesar grandes cantidades de datos en tiempo real.

- Flexibilidad: Las redes neuronales se pueden diseñar y adaptar para realizar una variedad de tareas de aprendizaje automático. Debido a esta característica, se consideran de uso muy general en comparación con otros métodos de aprendizaje automático que pueden limitarse a tareas específicas.

## 6. MARCO METODOLOGICO

### 6.1. Adquisición de las señales de los PID's

#### 6.1.1. Diseño experimental orientado a la adquisición de datos.

Primero, es necesario identificar el problema que se busca abordar a través de la implementación del diseño experimental, así como entender los factores que influyen en las respuestas del sistema en análisis.

La figura 8 muestra los elementos que impactan en el rendimiento y operación de un motor de encendido provocado, clasificados en: variables de entrada, variables de ruido, variables de bloqueo y variables de salida.

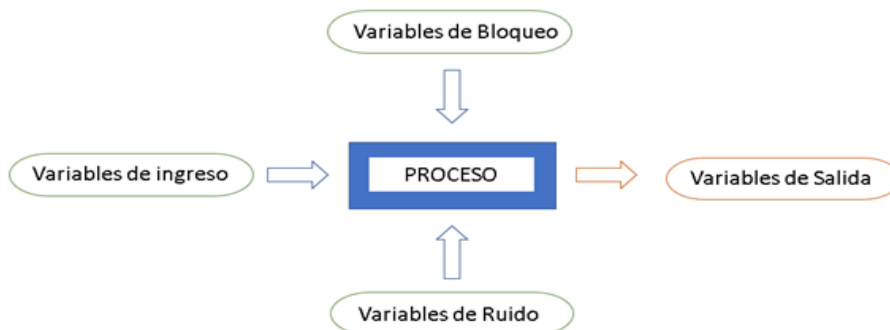


Figura 8: Factores de incidencia

### 6.1.1.1. Variables de ingreso

Llamadas variables de estudio, intervienen directamente en las variables de resultado o de salida, de manera que dichas variables deben ser autónomas entre ellas. En otras palabras, la modificación de un elemento de entrada no debe afectar la alteración de otro componente de entrada, pues esto provocaría complicaciones en la ejecución del experimento. En la tabla 4, se especifican las variables de ingreso.

Tabla 4: Variables de ingreso

<b>Variables de ingreso</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
Monóxido de carbono	(CO)	[%]
Dióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )	[%]
Hidrocarburos	(HC)	[ppm]
Oxígeno	(O <sub>2</sub> )	[%]
Óxidos de nitrógeno	(NO <sub>x</sub> )	[ppm]
Flujo másico del aire	(MAF)	[g/s]
Presión absoluta del colector	(MAP)	[kPa]
Régimen de giro del motor	(n)	[rpm]
Posición del acelerador	(TPS)	[%]
Velocidad del vehículo	(VSS)	[Km/h]
Sensor de oxígeno	(O2)	[V]
Ruta	(d)	[Km]

### 6.1.1.2. Variables de bloqueo

Llamadas elementos controlables, son variables de entrada que se establecen en un nivel específico de funcionamiento, cuya relevancia en las variables de salida no tiene como fin ser evaluada. En la tabla 5, se especifican las variables de bloqueo.

Tabla 5: Variables de bloqueo

<b>Variables de bloqueo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura del refrigerante	$T_{ref}$	85-95	[°C]
Temperatura del lubricante	$T_{lub}$	90-105	[°C]

### 6.1.1.3. Variables de ruido

Durante el proceso de experimentación y recolección de datos en la ciudad de Cuenca, existen variables complicadas de controlar, las cuales el investigador no tiene la capacidad de alterar. Por consiguiente, es posible que las variables resultantes fluctúen debido a la influencia de estos elementos. En la tabla 6, se especifican las variables de ruido.

Tabla 6: Variables de ruido

<b>Variables de ruido</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
Humedad relativa del aire	$H_{rel}$	60-65	[%]
Presión atmosférica	$P_{atm}$	70-80	[kPa]
Temperatura del aire	$T_{aire}$	15-25	[°C]



#### 6.1.1.4. Variables de salida

Este tipo de variable exhibe los resultados obtenidos de cada muestra, es decir, son las variables de respuesta del experimento cuyo valor se busca ajustar, con el objetivo de analizar su comportamiento. El consumo de combustible y los gases contaminantes representan las variables de salida. En la tabla 7, se especifican las variables de salida.

Tabla 7: Variables de salida

<b>Variables de salida</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>
Monóxido de carbono	(CO)	[%]
Dióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )	[%]
Hidrocarburos	(HC)	[ppm]
Oxígeno	(O <sub>2</sub> )	[%]
Óxidos de nitrógeno	(NO <sub>x</sub> )	[ppm]

#### 6.1.1.5. Unidad experimental

Consiste en todos los elementos que se emplean en el proceso de creación y adquisición de datos a lo largo del experimento.

##### 6.1.1.5.1. Vehículos de prueba

- Vehículo A

En la figura 9. Se presenta el primer vehículo para la adquisición de datos, Hyundai Grand i10 Hb 2015



Figura 9: Vehículo A de prueba

En la tabla 8. Se presentan las especificaciones técnicas del vehículo.

Tabla 8: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba A

<b>Ficha Técnica Hyundai Grand i10 HB, 2015, 1200cm<sup>3</sup></b>	
<b>Motor</b>	1.2 DOHC
<b>Peso</b>	1000 kg
<b>Inyección</b>	MPI
<b>Número de válvulas</b>	16
<b>Potencia Máxima (hp/rpm)</b>	87/6,000
<b>Torque Máximo (Kg*m/rpm)</b>	12.23/4,000
<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	1,240
<b>Tipo de Combustible</b>	Gasolina
<b>Transmisión / Nro. De velocidades</b>	Manual de 5 velocidades

- Vehículo B

En la figura 10. Se presenta el primer vehículo para la adquisición de datos, Hyundai Accent 2016



Figura 10: Vehículo B de prueba

En la tabla 9. Se presentan las especificaciones técnicas del vehículo.

Tabla 9: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba B

<b>Ficha Técnica Hyundai Accent, 2016, 1600cm<sup>3</sup></b>	
<b>Motor</b>	1.6 DOHC
<b>Peso</b>	1134 kg
<b>Inyección</b>	MPI
<b>Número de válvulas</b>	16
<b>Potencia Máxima (hp/rpm)</b>	137/6,300
<b>Torque Máximo (Kg*m/rpm)</b>	17.00/4,500
<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	1,600
<b>Tipo de Combustible</b>	Gasolina
<b>Transmisión / Nro. De velocidades</b>	Manual de 6 velocidades

- Vehículo C

En la figura 11. Se presenta el primer vehículo para la adquisición de datos, Kia Sportage 2018



*Figura 11: Vehículo de prueba C*

En la tabla 10. Se presentan las especificaciones técnicas del vehículo.

*Tabla 10: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba C*

<b>Ficha Técnica Kia Sportage 2018, 2000cm<sup>3</sup></b>	
<b>Motor</b>	2.0 DOHC
<b>Peso</b>	1482 kg
<b>Inyección</b>	MPI
<b>Número de válvulas</b>	16
<b>Potencia Máxima (hp/rpm)</b>	156/6,200
<b>Torque Máximo (Kg*m/rpm)</b>	19.49/4,000
<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	2,000
<b>Tipo de Combustible</b>	Gasolina
<b>Transmisión / Nro. De velocidades</b>	Manual de 6 velocidades

### **6.1.1.5.2. Banco Dinamométrico marca MAHA LPS-3000**

El Banco Dinamométrico MAHA LPS-3000, es un instrumento de pruebas específicamente para la recolección de información como potencia, torque, entre otros a través de ensayos dinámicos. Este banco puede medir hasta 650 kW y una velocidad máxima de 250 km/h. Utiliza un juego de rodillos autoportante y un freno de corrientes parasitas. (Heredia & Chalan, 2020)

Está conformado por dos juegos de rodillos, seguridad para anclaje, control remoto, computador y un ventilador.



*Figura 12: Banco Dinamométrico*

### **6.1.1.5.3. Freematics One Plus**

Es un dispositivo creado por la empresa australiana Freematics, la cual permite crear modelos de telemetría de vehículos por medio de codificación tipo Arduino, además posee un software de código abierto en donde se incorpora kit de desarrollo de software (SDK). (Danilo Abelardo Gárate Montalvo, 2018)

Este dispositivo puede ser usado en diferentes aplicaciones dentro del campo automotriz, tales como:

- Telemetría automotriz
- Adquisición de datos
- Dispositivo GPS

Acepta información de geolocalización de alta exactitud proveniente de un receptor GNSS externo conectado al puerto de 4 pines. El receptor GNSS opcional M8030 de 10 Hz ofrece una precisión elevada (hasta 2 metros) y una frecuencia de actualización rápida (10 Hz). (freematics, 2023)

- Monitoreo del motor



*Figura 13: Freematic One Plus*

- Identificación de los parámetros de identificación (PID's).

Un extracto de los parámetros de identificación adquiridos por medio del dispositivo de recolección, se presentan en la tabla 11, con su respectivo identificador y valor.

*Tabla 11: Parámetros de identificación adquiridos*

<b>PID</b>	<b>Valor</b>	<b>Señal</b>	<b>Unidad</b>
<b>105</b>	98	Temperatura del refrigerante del motor	[°C]
<b>10B</b>	25	Presión absoluta del múltiple de admisión	[kPa]
<b>10C</b>	800	RPM del motor	[rpm]
<b>10D</b>	10	Velocidad del vehículo	[km/h]
<b>111</b>	14	Posición del acelerador	[%]
<b>0</b>	283031	Temporizador	[--]
<b>A</b>	-2.891444	Latitud	[° x 10 <sup>5</sup> ]
<b>B</b>	-78.993637	Longitud	[° x 10 <sup>5</sup> ]
<b>C</b>	2549	Altitud	[m]
<b>D</b>	10.11	Velocidad	[km/h]
<b>F</b>	12	Numero de satélites en uso	[--]
<b>24</b>	1372	Voltaje de la batería	[cV]

#### 6.1.1.5.4. KANE Autoplus Analizador de gases

Kane Autoplus es un analizador de gases portátil el cual permite medir gases contaminantes como hidrocarburos no quemados (*HC*), oxígeno (*O<sub>2</sub>*), monóxido de carbono (*CO*), dióxido de carbono (*CO<sub>2</sub>*), óxidos nitrosos (*NO<sub>x</sub>*) provenientes del escape del vehículo, la obtención de estos gases es directa y no calculada, sin embargo, también brinda el factor lambda el cual si es calculado. (Globaltech, 2019)



*Figura 14: Analizador de gases*

Los datos que el equipo brinda son guardados en formato .csv y pueden ser transportados vía Bluetooth o por medio de cable USB. El dispositivo tiene las siguientes especificaciones:

*Tabla 12: Especificaciones del analizador de gases*

---

### **Especificaciones del dispositivo Kane AutoPlus 5-2**

---



Dimensiones Dispositivo	220 x 55 x 120 mm
Dimensiones de la sonda	4 metros
Conexión	Bluetooth o USB/serie mediante cable
Peso	1 kg
Uso	Vehículos a Gasolina, GLP, GNC y Diesel
Temperatura ambiente	5 – 45 °C
Alimentación de la batería	100-240 V
Carga	12 VDC
Tiempo de calentamiento	Inferior a los 2 minutos

Los rangos de medición y precisión se observan en la tabla 13.

*Tabla 13: Rangos de medición y precisión del analizador de gases*

<b>Parámetro</b>		<b>Rango</b>	<b>Precisión</b>
<b>Monóxido de Carbón (sistema infrarrojo)</b>	<i>CO</i>	0 – 10%	± 5% de lectura ±0.06% volumen
<b>Oxígeno (celda electroquímica)</b>	<i>O<sub>2</sub></i>	0 – 21%	± 5% de lectura ±0.01% volumen
<b>Hidrocarburos (sistema infrarrojo)</b>	<i>HC</i>	0 – 5000 PPM	± 5% de lectura ±12 ppm volumen
<b>Lambda (calculado)</b>	$\lambda$	0.8 – 1.2	
<b>AFR Gasolina (calculado)</b>		11.76 – 17.64	
<b>AFR GLP (calculado)</b>		12.48 – 18.72	
<b>Dióxido de carbono (sistema infrarrojo)</b>	<i>CO<sub>2</sub></i>	0 – 16%	± 5% de lectura ±0.5% volumen

<b>Óxido nítrico (con sensor opcional)</b>	$NO_x$	0 – 5000 PPM	0-1500ppm ± 5% o 25ppm
--	--------	--------------	---------------------------

---

#### **6.1.1.5.5. KANE Live**

Es un software que permite la transferencia de datos del medidor de gases portátil Kane Autoplus hacia un dispositivo, tal como teléfonos móviles o computadoras portátiles. La conexión puede ser vía inalámbrica o mediante un cable. La lectura de los datos puede vista de forma numérica o mediante una representación gráfica que es generada por este sistema. (KANE live, 2023)

Además, desde la interfaz de la aplicación se puede:

- Realizar la selección de los puertos para los cables USB
- Guardar los datos recolectados en formato .csv
- Descargar los registros de acuerdo con las pruebas realizadas
- Encender/apagar y purgar la bomba
- Imprimir las muestras obtenidas en la prueba

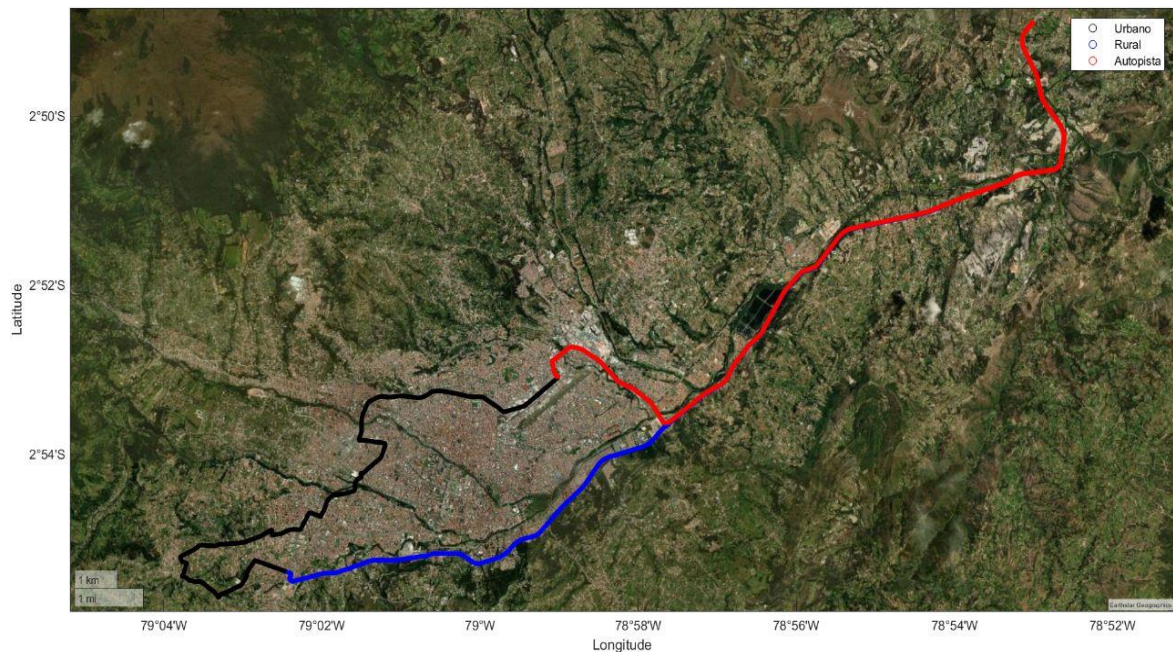


*Figura 15: Interfaz de Kane live*

#### **6.1.1.5.6. Selección de rutas**

Las rutas fueron establecidas con la finalidad de representar la conducción de los cuencanos en condiciones reales, las rutas seleccionadas están conformadas por 3 tipos: urbana, rural y autopista. La zona urbana está conformada por el centro de la ciudad de Cuenca-Ecuador, la zona rural por Baños-Panamericana Sur y la última etapa por la Autopista Cuenca-Azogues.

Además, estas rutas cumplen con los parámetros establecidos por el ciclo de pruebas RDE (Real Driving Emissions), en donde no permiten una diferencia entre la altitud del punto A al punto B de la prueba superior a los 700 m (Mock, 2017).



*Figura 16: Ruta establecida para la adquisición de datos*

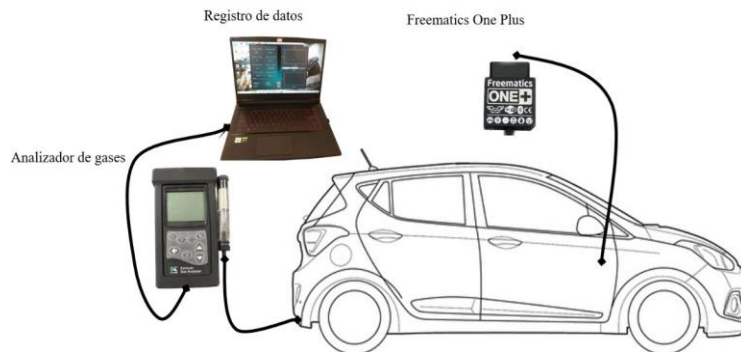
## **6.1.2. Progreso en la ejecución experimental para la recolección de información**

### **6.1.2.5. Procedimiento para obtener datos**

El proceso de evaluación para adquirir datos se lleva a cabo durante ciclos de conducción en la ciudad de Cuenca.

Las pruebas para obtener datos serán realizadas en los vehículos expuestos anteriormente, los cuales están equipados con los siguientes dispositivos, Figura 17: el freematics ONE +, el

analizador de gases (kane) y una laptop que posee el software Kane live, por lo que se sigue una secuencia de medición ordenada.



*Figura 17: Dispositivos para adquirir datos*

### **6.1.2.2. Protocolo de medición**

Para garantizar una recopilación adecuada de datos durante el experimento, se debe seguir un procedimiento de medición estructurado que se describe a continuación en la figura 18.

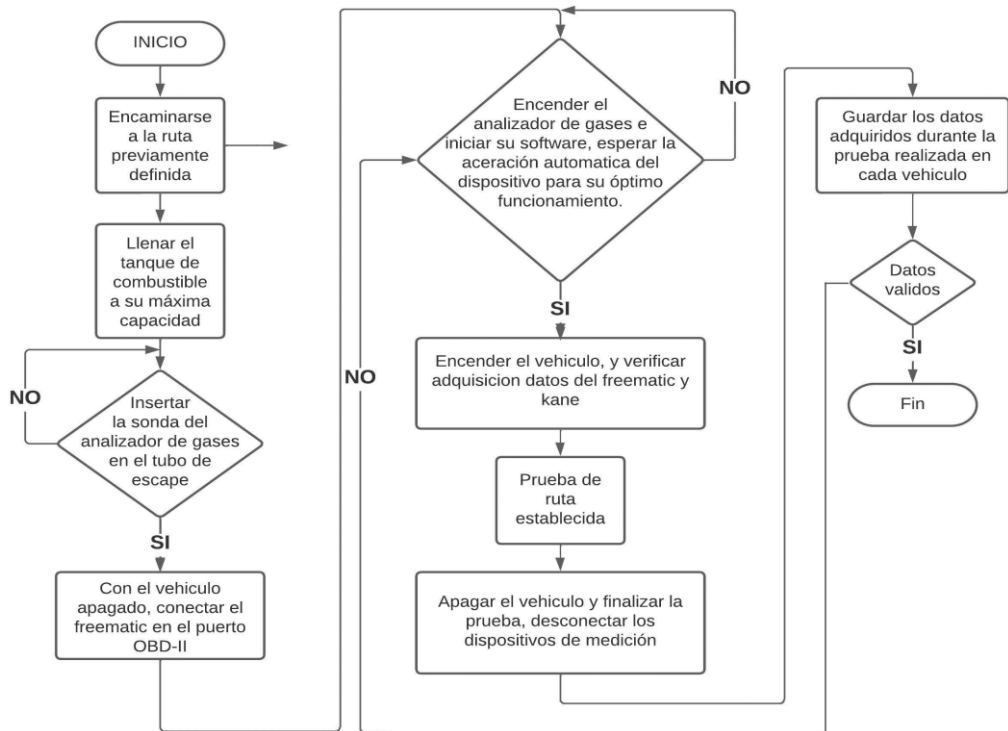


Figura 18: Flujograma para la adquisición de datos

## 6.2. Verificación de la información adquirida.

### 6.2.1. Representación gráfica de la información recabada

Las emisiones contaminantes medidas por el analizador de gases, así como las señales de los PID's obtenidas por el Freematic de los distintos vehículos durante las pruebas, se guardan en hojas de cálculo. Estos datos se generan al encender, arrancar y apagar el vehículo. El período aproximado de toma de muestras del analizador de gases Kane es de 2 segundos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Live Readings				accent_p1					
3											
4		Unit Name:	AUTOplus			User Name:					
5		Serial No:	964022011			Company Name:					
6		SW No:	19067			Company Address:					
7		Version No:	V1,11								
8		Details:	Set spacing (1s) Inter-Command delay (100ms)								
9											
10		File Saved:	lunes, 17 de abril de 2023 - 21:39:51								
11		Start Time:	lunes, 17 de abril de 2023 - 20:17:49								
12											
13											
14	Log No	Log Time	O2 (%)	CO2 (%)	CO (%)	NO (ppm)	HC (ppm)	Lambda / AFR COK (%)	NOx (ppm)	Battery (%)	
15	1	20:17:51	1,58	6,9	0,49	113	289	1,08	1	118	57
16	2	20:17:53	1,19	8,9	0,87	123	289	1,018	1,43	136	57
17	3	20:17:55	1,04	11,1	1,19	144	266	0,999	1,45	151	57
18	4	20:17:57	0,84	12,1	1,18	156	242	0,994	1,3	169	57
19	5	20:18:00	0,73	13	1,09	175	240	0,99	1,16	184	57
20	6	20:18:02	0,62	13,4	0,98	188	214	0,993	0,95	203	57
21	7	20:18:04	0,57	13,8	0,77	203	212	0,995	0,72	213	57
22	8	20:18:07	0,51	13,8	0,64	212	210	0,996	0,66	223	57
23	9	20:18:09	0,49	14,1	0,63	221	207	0,997	0,58	232	57
24	10	20:18:11	0,46	14,3	0,51	225	202	0,998	0,51	240	57
25	11	20:18:13	0,44	14,6	0,51	232	196	0,998	0,5	245	57
26	12	20:18:16	0,43	14,6	0,46	234	193	0,998	0,46	246	56
27	13	20:18:18	0,41	14,7	0,46	235	188	0,999	0,43	247	57
28	14	20:18:20	0,42	14,7	0,44	233	187	1,001	0,43	245	57
29	15	20:18:23	0,54	14,9	0,59	254	190	0,999	0,62	279	58

Figura 19: Valores de los gases contaminantes obtenidos por el analizador de gases

	A
6475	0,100214
6476	11,180423
6477	10,119375
6478	A,-2.886675
6479	B,-78.985695
6480	C,2535.10
6481	D,13.39
6482	F,12
6483	10B,24

Figura 20: Valores obtenidos de las señales de los PID's por el Frrematic

### 6.2.2. Procesamiento de datos.

El programa MATLAB® es utilizado en el manejo de datos, permitiendo ubicar posiciones específicas a través de coordenadas de longitud y latitud. Los archivos .csv obtenido por los



dispositivos de adquisición de datos deben ser convertidos a una extensión “.mat”, después de esto MATLAB® puede procesar la información proporcionada.

The screenshot shows a MATLAB workspace window titled 'PIDsj' with a variable '55915x18 double'. The variable contains a 25x17 matrix of numerical data. The first column contains values from 0 to 25, and the remaining columns contain various numerical values, including integers, decimals, and scientific notation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	734.8333	15.0000	95.1667	73	30.1667	30.1667	-0.1667	-9.0000	-50000000	0.3167	-5.3833	-8.5833	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	7506
2	0	682.3333	15	94.6667	73	32.6667	32.6667	1.3333	-9	-50000000	0.3667	-5.4333	-8.5333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	8315
3	0	649.6667	15	94.6667	73	34.6667	34.6667	1.6667	-9	-50000000	0.2667	-5.3667	-8.4333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	8875
4	0	653.6667	15	94.3333	73	35.3333	35.3333	1.3333	-9	-50000000	0.1667	-5.4333	-8.4000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	9434
5	0	658.3333	15	94.3333	73	35	35	0.3333	-9	-50000000	0.1667	-5.4000	-8.4000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	9984
6	0	658	15	94	73	34	34	-0.3333	-9	-50000000	0.2667	-5.5333	-8.4333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	10544
7	0	653.6667	15	94	73	33.3333	33.3333	-1	-9	-50000000	0.3000	-5.5667	-8.4333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	11115
8	0	652	15	94	73	32.6667	32.6667	-2	-9	-50000000	0.2000	-5.6667	-8.5000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	11676
9	0	652	15	94	73	32	32	-2.6667	-9	-50000000	0.2000	-5.6000	-8.6667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	12234
10	0	653	15	93.6667	73	31	31	-3.3333	-9	-50000000	0.2667	-5.4667	-8.6000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	12794
11	0	651.6667	15	93.3333	73	30.3333	30.3333	-3	-9	-50000000	0.4333	-5.4333	-8.4667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	13355
12	0	653.6667	15	93	73	30	30	-2.3333	-9	-50000000	0.4333	-5.5333	-8.3667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	13923
13	0	655.6667	15	93.3333	73	30	30	-1.0000	-9	-50000000	0.3667	-5.6667	-8.5333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	14477
14	0	658.6667	15	93.3333	73	30	30	-0.3333	-9	-50000000	0.2667	-5.5667	-8.6333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	15035
15	0	659.6667	15	93.3333	73	30	30	0	-9	-50000000	0.3000	-5.5667	-8.7000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	15595
16	0	661	15	93	73	30	30	0.3333	-9	-50000000	0.3333	-5.5333	-8.6000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	16156
17	0	661.3333	15	93	73	30	30	0.3333	-9	-50000000	0.3000	-5.6000	-8.6333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	16723
18	0	660.6667	15	93	73	30	30	-1.1102e-16	-9	-50000000	0.3000	-5.6000	-8.6333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	17275
19	0	658.3333	15	93	73	30	30	-1	-9	-50000000	0.2667	-5.6000	-8.6667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	17836
20	0	657.6667	15	93	73	30	30	-1.0000	-9	-50000000	0.2667	-5.5333	-8.7000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	18396
21	0	659	15	93	73	30	30	-0.6667	-9	-50000000	0.2000	-5.4667	-8.7333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	18956
22	0	662.3333	15	93	73	30	30	0	-9	-50000000	0.2333	-5.4000	-8.7000	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	19523
23	0	662.6667	15	93	73	30	30	-0.3333	-9	-50000000	0.3000	-5.4667	-8.6667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	20075
24	0	660.6667	15	93	73	30	30	-1	-9	-50000000	0.3667	-5.5000	-8.6333	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	20637
25	0	657.6667	15	93	73	30	30	-2	-9	-50000000	0.3333	-5.5667	-8.6667	-2.8850e-06	-7.8984e-05	2.5571e+03	21196

Figura 21: Datos freematic.mat

The screenshot shows a MATLAB workspace window with a variable containing a 25x9 matrix of numerical data. The first column contains values from 1 to 25, and the remaining columns contain various numerical values, including integers, decimals, and scientific notation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1.5800	6.9000	0.4900	113	289	1.0800	1	118
2	2	1.1900	8.9000	0.8700	123	289	1.0180	1.4300	136
3	3	1.0400	11.1000	1.1900	144	266	0.9990	1.4500	151
4	4	0.8400	12.1000	1.1800	156	242	0.9940	1.3000	169
5	5	0.7300	13	1.0900	175	240	0.9900	1.1600	184
6	6	0.6200	13.4000	0.9800	188	214	0.9930	0.9500	203
7	7	0.5700	13.8000	0.7700	203	212	0.9950	0.7200	213
8	8	0.5100	13.8000	0.6400	212	210	0.9960	0.6600	223
9	9	0.4900	14.1000	0.6300	221	207	0.9970	0.5800	232
10	10	0.4600	14.3000	0.5100	225	202	0.9980	0.5100	240
11	11	0.4400	14.6000	0.5100	232	196	0.9980	0.5000	245
12	12	0.4300	14.6000	0.4600	234	193	0.9980	0.4600	246
13	13	0.4100	14.7000	0.4600	235	188	0.9990	0.4300	247
14	14	0.4200	14.7000	0.4400	233	187	1.0010	0.4300	245
15	15	0.5400	14.9000	0.5900	254	190	0.9990	0.6200	279
16	16	0.6400	14.9000	0.5600	303	194	1.0080	0.5400	318
17	17	0.6200	14.9000	0.4900	339	197	1.0060	0.4800	374
18	18	0.4900	14.8000	0.4900	393	198	1	0.4800	413
19	19	0.5800	14.7000	0.6000	420	201	1	0.6500	454
20	20	0.6000	14.6000	0.7400	466	205	0.9950	0.7600	489
21	21	0.4300	14.6000	0.8800	492	206	0.9850	0.8600	531
22	22	0.3700	14.6000	0.9900	531	206	0.9790	0.9500	557
23	23	0.4400	14.6000	0.9300	549	205	0.9860	0.9000	588
24	24	0.5400	14.6000	0.8400	575	200	0.9910	0.8100	612
25	25	0.4000	14.6000	0.7600	598	196	0.9870	0.7400	627

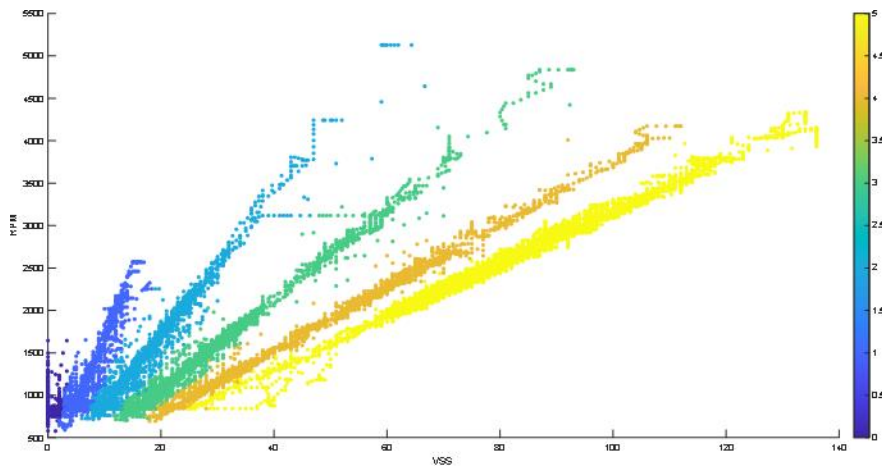
Figura 22: Datos Kanelive.mat



## 7. Descripción de datos obtenidos y análisis de redes de aprendizaje automático.

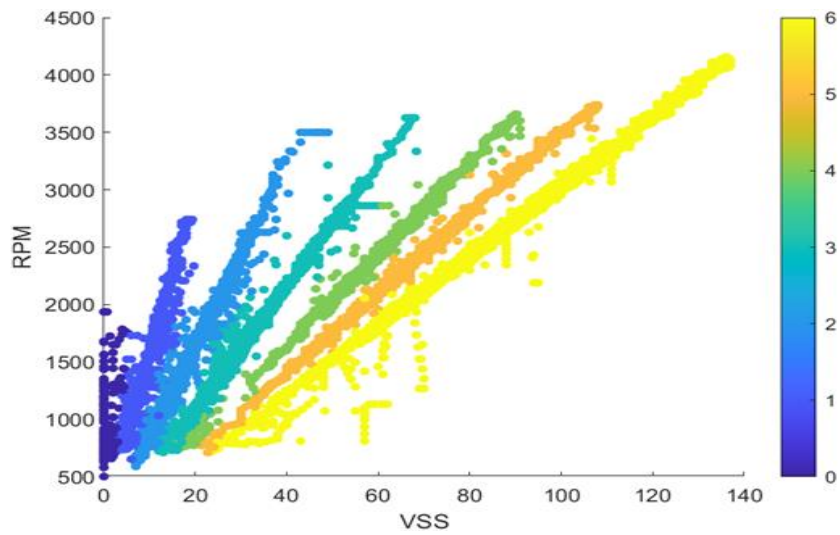
### 7.1.Arquitecturas de aprendizaje

Al aplicar estructuras de aprendizaje automático, se determinan las marchas del vehículo. Estas se derivan de la relación entre la velocidad y el régimen de giro del motor (RPM), y se basan en el ciclo de conducción llevado a cabo durante el ensayo. En la figura 23, se representa las marchas del vehículo Hyundai Grand i10 2015.



*Figura 23: Marchas del vehículo A de prueba.*

En la figura 24, se representa las marchas de los vehículos Hyundai Accent 2016 y Kia Sportage 2018 ocupados para la prueba, la barra de colores representa 6 marchas, ya que estos vehículos están equipados con una caja de cambios de seis velocidades.

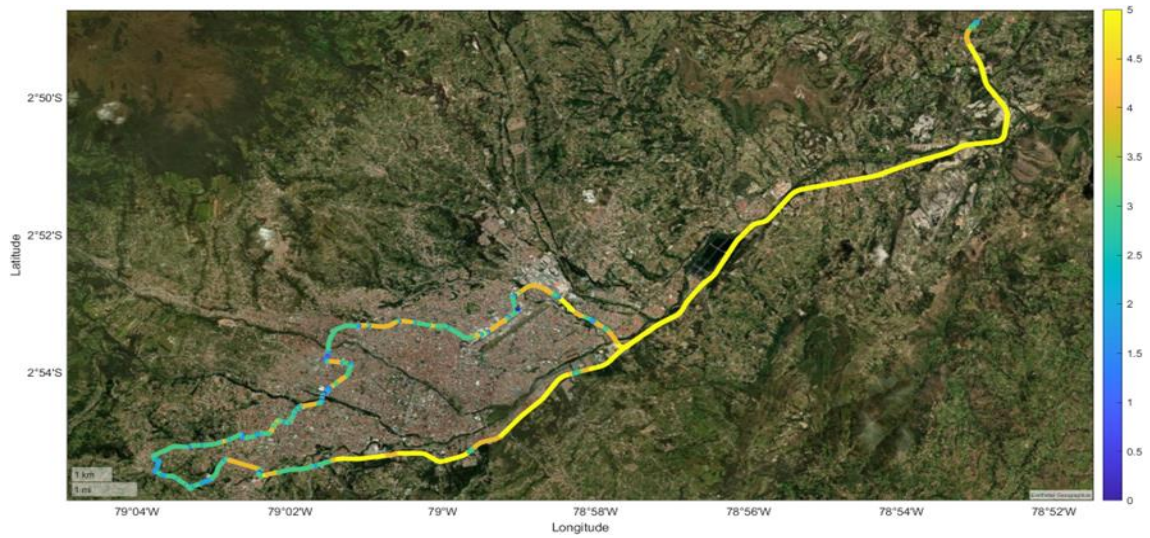


*Figura 24: Marchas de los vehículos B de prueba.*

### **7.1.1. Marchas en la ruta establecida.**

- Vehículo A

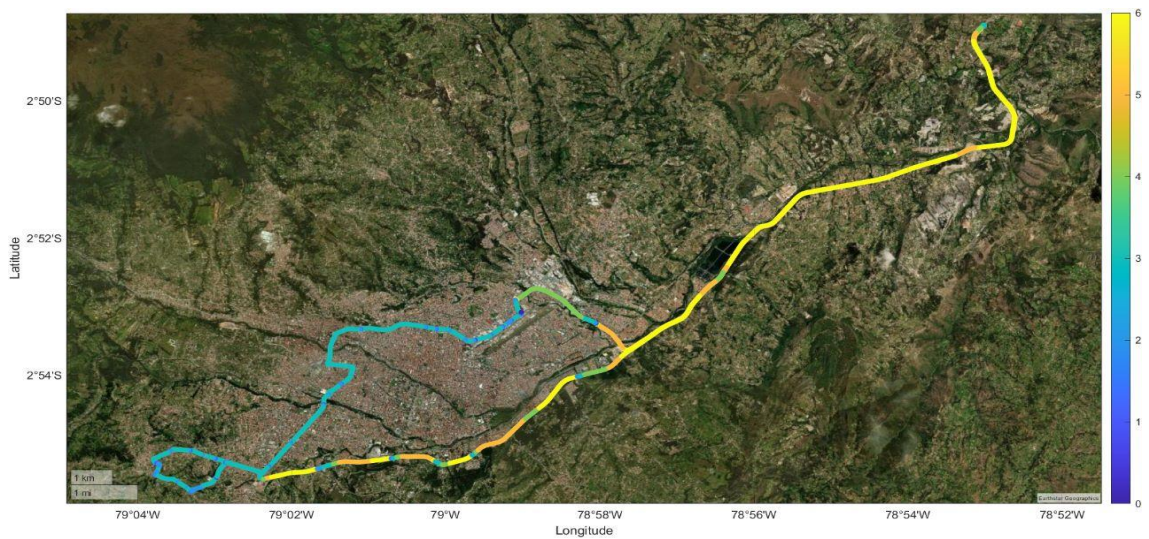
En la figura 25, se indica el mapa por el cual se realizó la ruta en el vehículo Hyundai Grand i10, la misma que cumple con los parámetros establecidos en la tabla 3, englobando las 3 zonas a estudiar: urbana, rural y autopista.



*Figura 25: Marchas en ruta de prueba del vehículo A.*

- Vehículo B

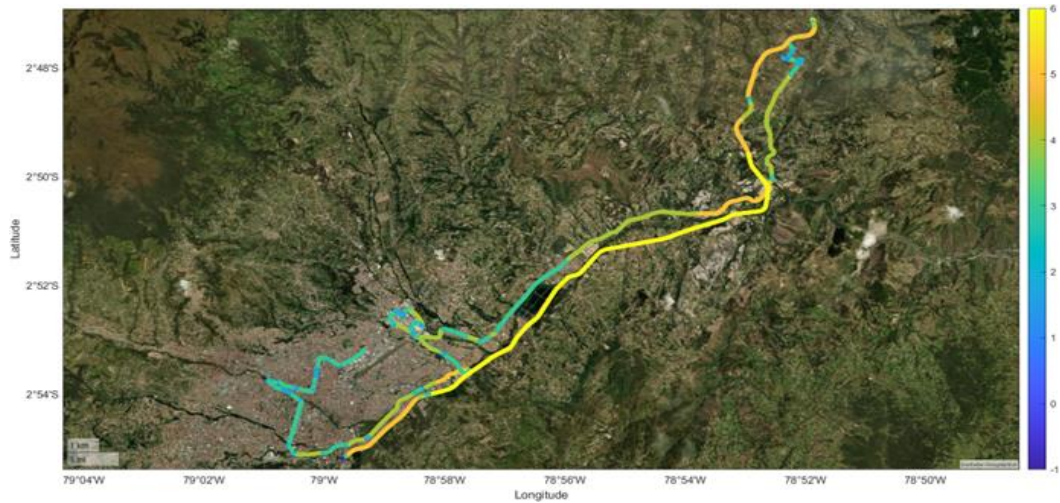
En la figura 26, se indica el mapa por el cual se realizó la ruta en el vehículo Hyundai Accent, la misma que cumple con los parámetros establecidos en la tabla 3.



*Figura 26: Marchas en prueba de ruta del vehículo B.*

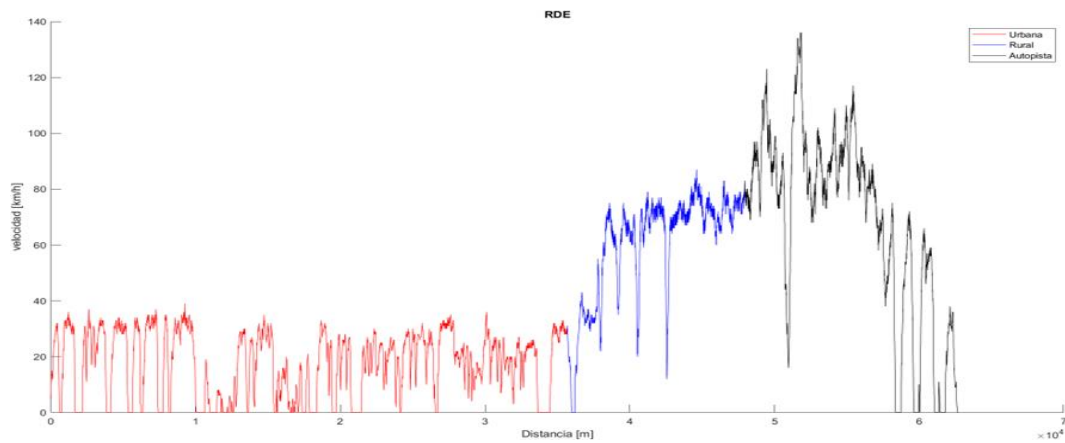
- Vehículo C

En la figura 27, se indica el mapa por el cual se realizó la ruta en el vehículo Kia Sportage R, la misma que cumple con los parámetros establecidos en la tabla 3.



*Figura 27: Marchas en ruta de prueba del vehículo C.*

En la Figura 28, se constata que se satisface la mayoría de los parámetros definidos para un ciclo de prueba RDE en relación con la distancia entre segmentos y la duración del ensayo.



*Figura 28: Segmentación prueba de ruta.*

### 7.1.2. Análisis muestral.

- Vehículo A

La ruta realizada por el vehículo Hyundai Grand i 10, tiene una densidad muestral superior en la zona urbana en relación con la zona rural y autopista, tal como se puede apreciar en la figura inferior.

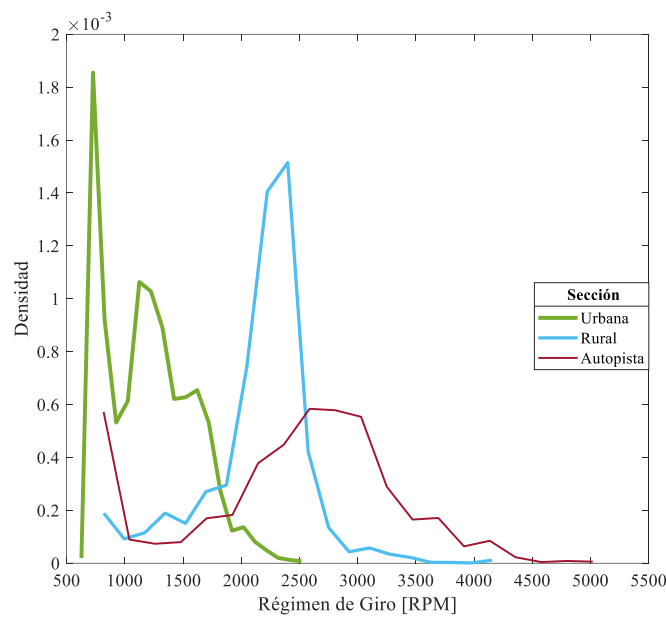


Figura 29: Densidad muestral vehículo A.

- Vehículo B

La ruta realizada por el vehículo Hyundai Accent, tiene una densidad muestral superior en la zona urbana en relación con la zona rural y autopista, tal como se puede apreciar en la figura 30.



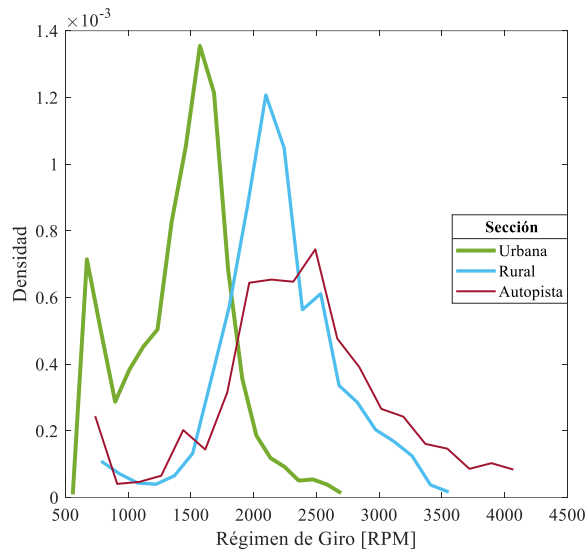


Figura 30: Densidad muestral vehículo B.

- Vehículo C

En la figura 31 se aprecia la ruta realizada por el vehículo Kia Sportage R, tiene una densidad muestral superior en la zona urbana en relación con la zona rural y autopista.

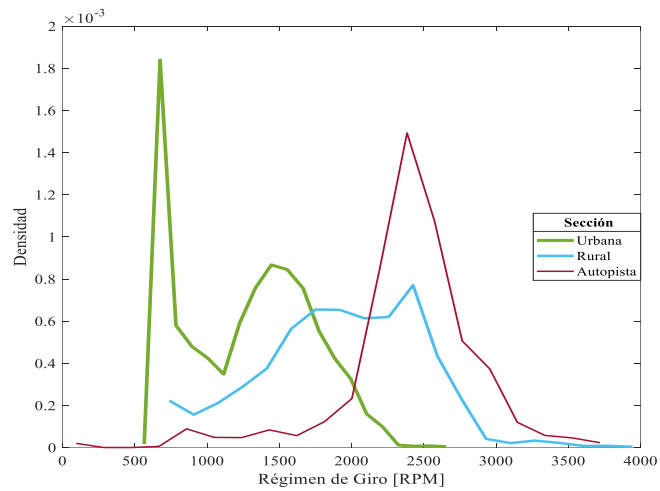


Figura 31: Densidad muestral vehículo C.

### 7.1.3. Gases contaminantes emitidos por los vehículos de prueba.

- Hidrocarburos ( $HC$ )

En la Figura 32, se evidencia el comportamiento del HC de los distintos vehículos de prueba con relación al modelo IVE. Se destaca que el comportamiento de la mayoría de estos vehículos es relativamente similar al modelo establecido, con una excepción notable: el vehículo de prueba C. Este vehículo particular presenta una producción de HC significativamente menor en comparación con el modelo IVE.

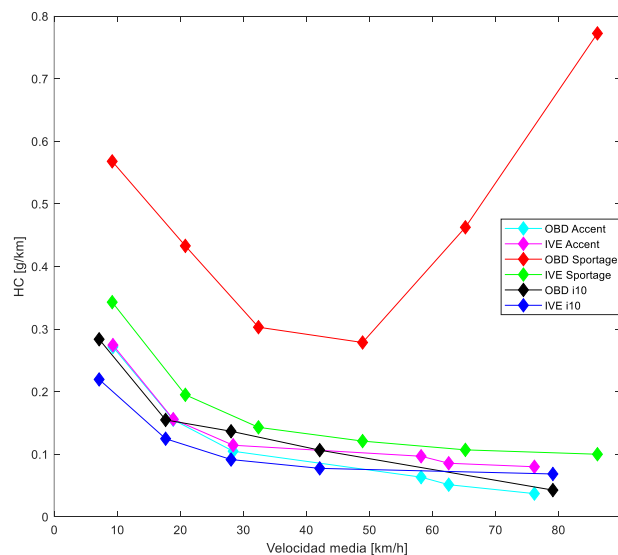


Figura 32: Análisis HC vehículos prueba-IVE.

- Dióxido de carbono ( $CO_2$ )

La Figura 33 muestra la producción de  $CO_2$  de varios vehículos de prueba en comparación con el modelo IVE. En términos generales, se observa un comportamiento similar entre los vehículos de

prueba y el modelo. Sin embargo, hay una notable excepción: el vehículo de prueba A. Cuando opera a velocidades bajas, este vehículo demuestra una discrepancia con respecto al modelo. En dicho rango de velocidad, el vehículo de prueba A produce una cantidad de  $CO_2$  superior a la predicción del modelo IVE.

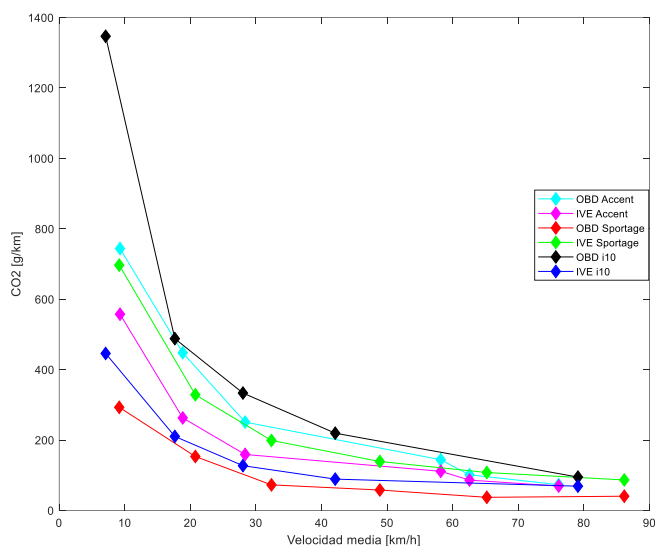


Figura 33: Análisis  $CO_2$  vehículos de prueba-IVE.

- Monóxido de carbono ( $CO$ )

En la Figura 34, se muestra el comportamiento de la producción de  $CO$  de los vehículos de prueba en comparación con el modelo IVE. En el caso del vehículo de prueba A, se destaca una producción de  $CO$  menor a las velocidades bajas en comparación con las predicciones del modelo. El vehículo de prueba B, por otro lado, muestra un comportamiento bastante similar al modelo, aunque se detecta una excepción a velocidades medias, donde este vehículo exhibe una producción de  $CO$  mayor que la proyectada por el modelo. Por último, el vehículo de prueba C sigue un



comportamiento comparable al del modelo, pero merece mención que este vehículo genera una cantidad de *CO* ligeramente inferior en comparación con lo previsto por el modelo IVE.

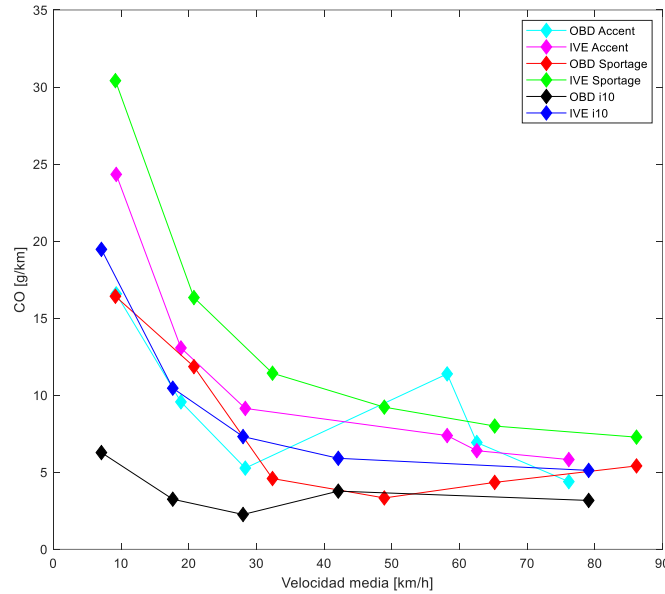


Figura 34: Análisis *CO* vehículos de prueba-IVE.

- Óxidos nitrosos ( $NO_x$ )

La Figura 35 muestra un comportamiento comparable entre los distintos vehículos de prueba y el modelo IVE. Sin embargo, se destaca un aspecto peculiar en el vehículo de prueba C: este vehículo genera una mayor cantidad de  $NO_x$  a bajas velocidades en comparación con las estimaciones del modelo.

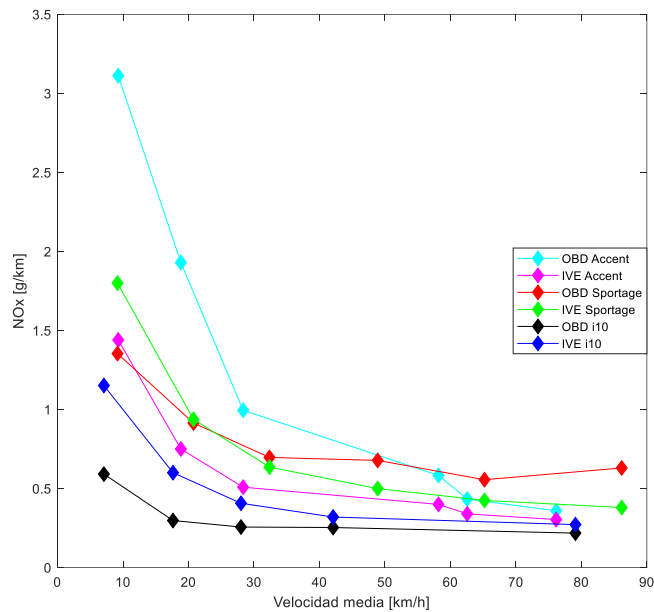


Figura 35: Análisis de NOx vehículos de prueba-IVE.

#### 7.1.4. Emisiones contaminantes – Marchas.

- Vehículo A

La emisión de gases contaminantes tiende a incrementarse a medida que la velocidad aumenta. Por lo tanto, la mayor emisión se produce en quinta marcha, especialmente cuando el vehículo se encuentra en autopista y alcanza altas velocidades. En estas circunstancias, la mezcla de combustible es rica y el motor opera a su máxima eficiencia. Sin embargo, esta tendencia no se aplica a la emisión de *HC* a bajas velocidades. Esto se debe a los arranques graduales y velocidades reducidas que son típicos en áreas urbanas.

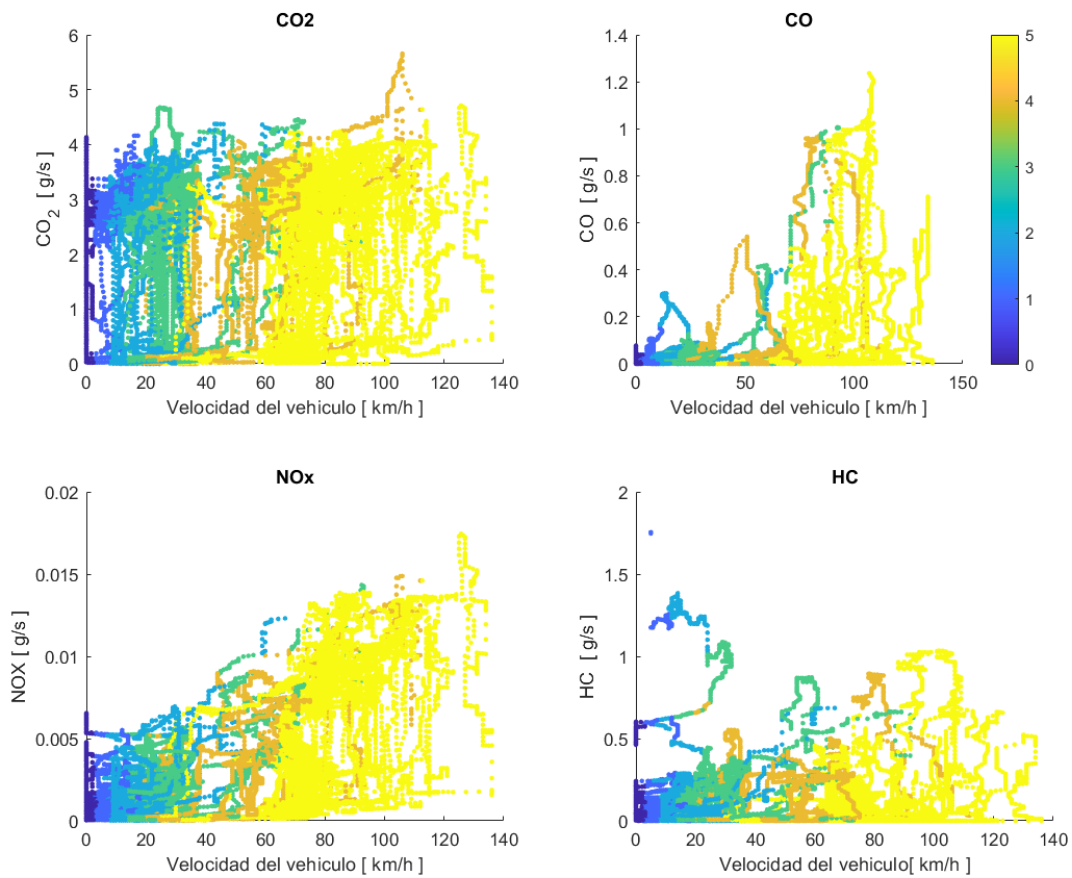


Figura 36: Emisión de contaminantes por marcha Hyundai Grand i10.

- Vehículo B

La figura 37 muestra la emisión de gases por marcha en el vehículo de prueba B. Es notable que hay un comportamiento de emisión constante para cada marcha, ya sea a altas o bajas velocidades. Esto puede atribuirse a que el motor ha recorrido un alto kilometraje, en particular, las emisiones de  $CO_2$  y  $NO_x$ .

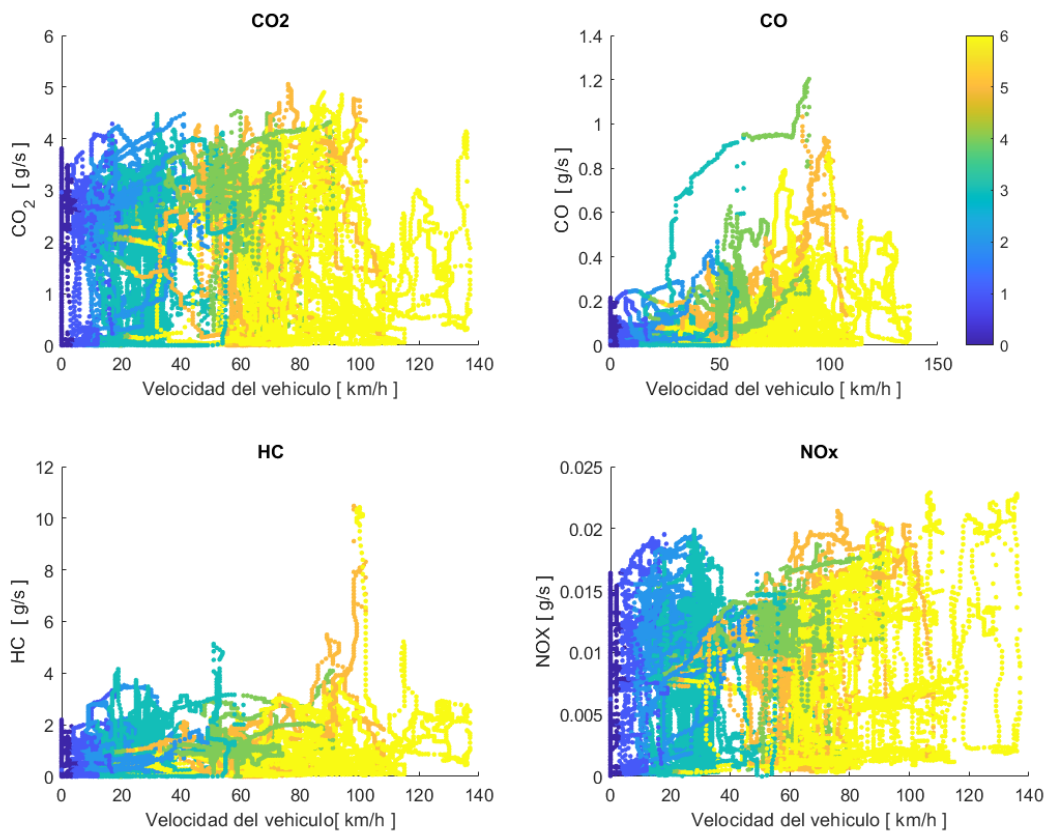


Figura 37: Emisión de contaminantes por marcha Hyundai Accent.

- Vehículo C

Las emisiones de gases contaminantes del vehículo de prueba C muestran que las primeras marchas, es decir, 1, 2 y 3, se utilizan para recorridos cortos en áreas urbanas y rurales, lo que resulta en un bajo nivel de contaminación por *HC* y *CO<sub>2</sub>*. En cuanto a los hidrocarburos no quemados, su cantidad aumenta proporcionalmente con la velocidad. Sin embargo, es notable que el monóxido de carbono presenta un alto grado de contaminación en la tercera marcha, lo cual podría deberse a fallos en el sistema de encendido, afectando el comportamiento del vehículo. En

el caso de los óxidos de nitrógeno, se observa una disminución cuando la velocidad se incrementa por encima de los 90 km/h.

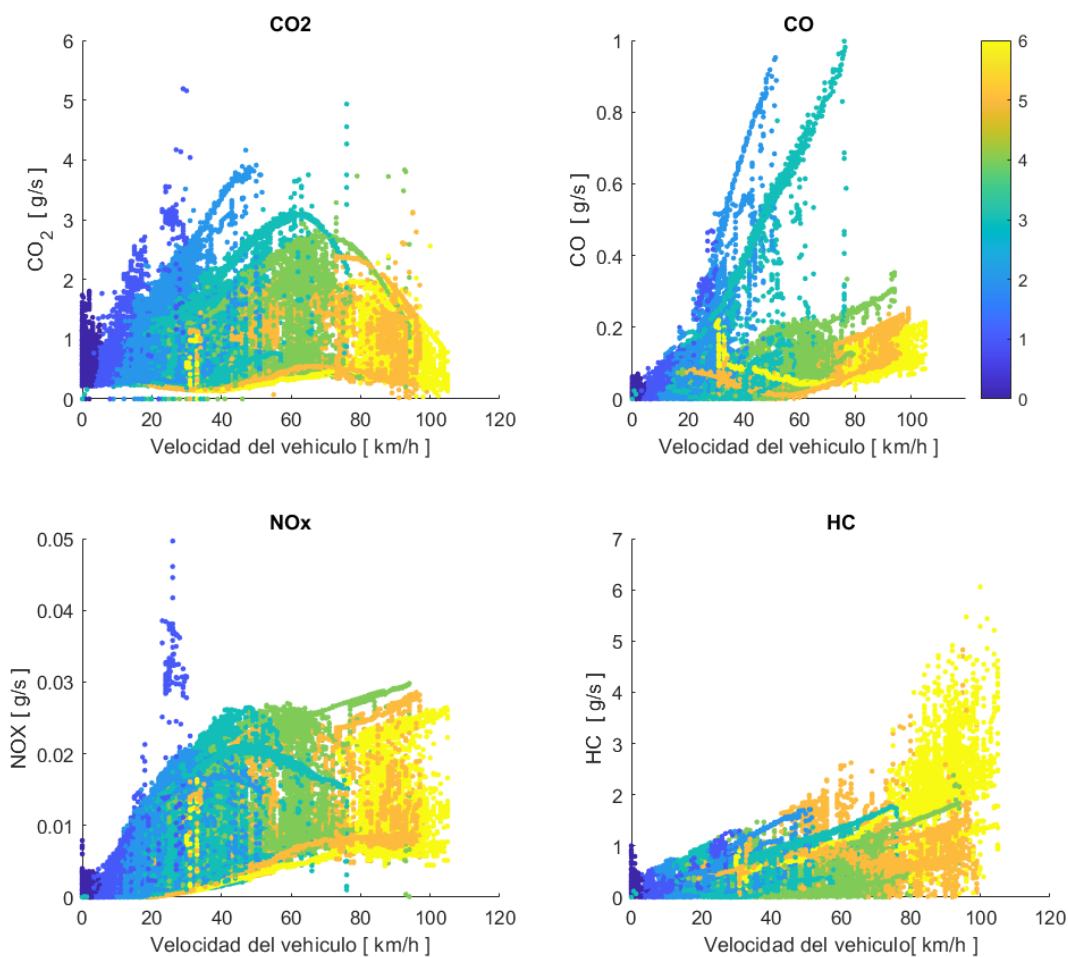


Figura 38: Emisión de contaminantes por marcha Kia Sportage R.

## 8. Evaluación de datos mediante software de ingeniería.

Para la evaluación de los datos obtenidos, se implementó una prueba utilizando una ruta distinta a las que se habían estudiado previamente, bajo condiciones de conducción aleatoria. Esta nueva

metodología produjo resultados favorables para la estimación de los gases contaminantes como el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarburos ( $HC$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ). Esta variación en la estrategia de evaluación resultó en un avance significativo en la precisión y fiabilidad de las estimaciones.

El comportamiento del dióxido de carbono evidenció una adaptación favorable del modelo. La relación entre los datos adquiridos y los valores calculados por las redes de aprendizaje automático reveló un bajo índice de error. Este índice, que tiende a cero, muestra una precisión significativa del modelo, demostrando su capacidad de estimar de manera confiable las emisiones de dióxido de carbono.

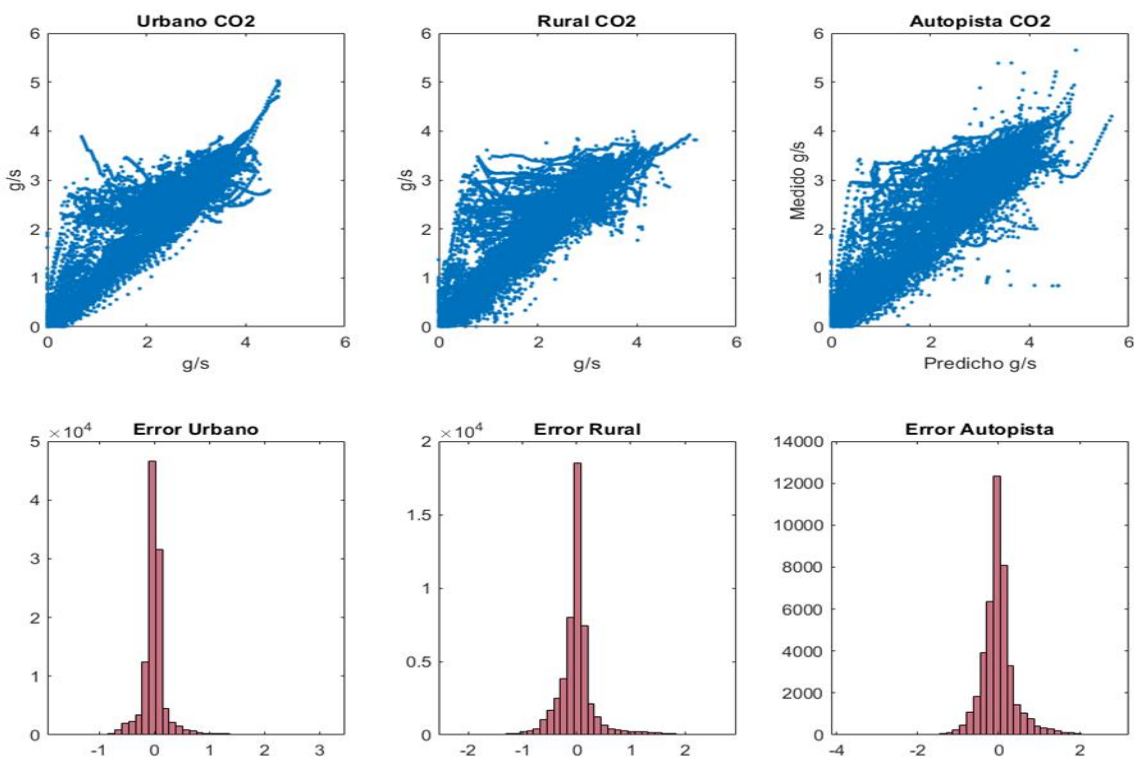


Figura 39: Error entre lo medido y calculado  $CO_2$ .

Es fundamental tener en cuenta el error que presentan las figuras 39, 40, 41 y 42, que exhiben un comportamiento simétrico alrededor del cero y de carácter aleatorio. Esta característica favorece al modelo debido a su alto índice de confiabilidad, demostrando su robustez y precisión en la estimación de las emisiones.

Como se puede observar en la Figura 40, el monóxido de carbono exhibe un comportamiento lineal tanto en zonas urbanas como rurales. No obstante, en las autopistas, se nota una dispersión de los datos. A pesar de esta variación, el índice de error se mantiene bajo y cercano a cero, lo que refuerza la fiabilidad del modelo en la estimación de emisiones, incluso en condiciones de tráfico variable.

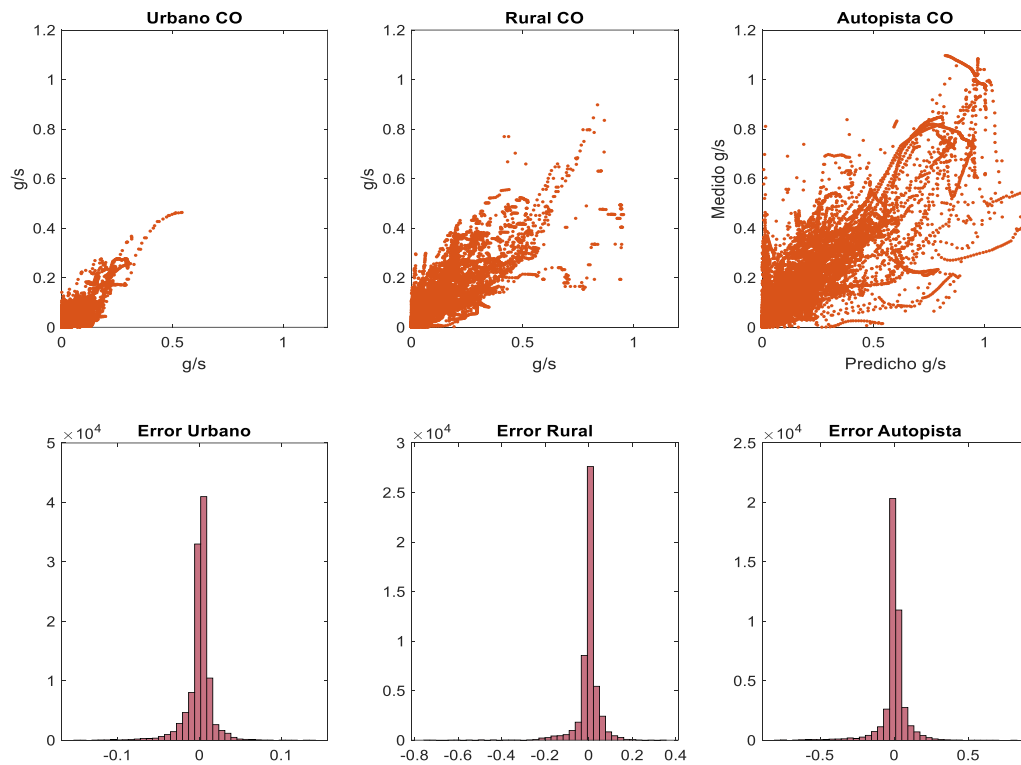


Figura 40: Error entre lo medido y calculado CO.

En la Figura 41, se puede apreciar claramente el alto grado de precisión del modelo para estimar las emisiones de óxidos nitrosos de los tres vehículos estudiados. Con un valor de error inferior a 0.01, esta métrica es indicativa de la alta fiabilidad del modelo. Esta precisión es crucial para garantizar la efectividad del modelo en la identificación y cuantificación de emisiones, y su potencial aplicación en estrategias de mitigación de contaminantes.



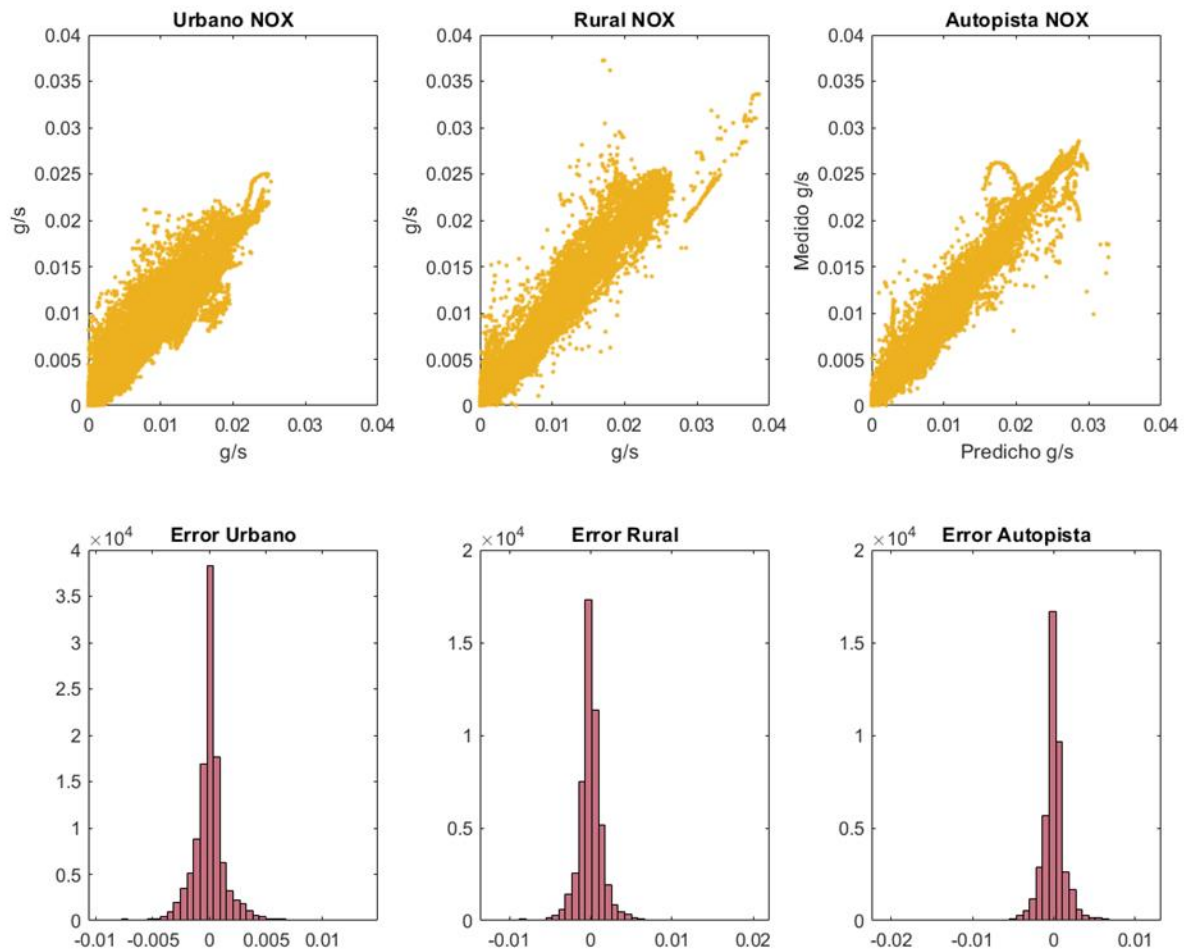


Figura 41: Error entre lo medido y calculado NOx.

La Figura 42 ofrece una visión esencial del comportamiento de los hidrocarburos no combustionados. En esta figura se pueden apreciar eventos similares en las zonas urbanas y rurales. No obstante, en lo referente a las autopistas, se nota un error con una tendencia hacia 3. Este valor sugiere la posibilidad de un error en la estimación de este gas específico para esta zona en particular. Esto refuerza la necesidad de una evaluación y ajuste constante del modelo para asegurar su precisión en todas las condiciones y ubicaciones.

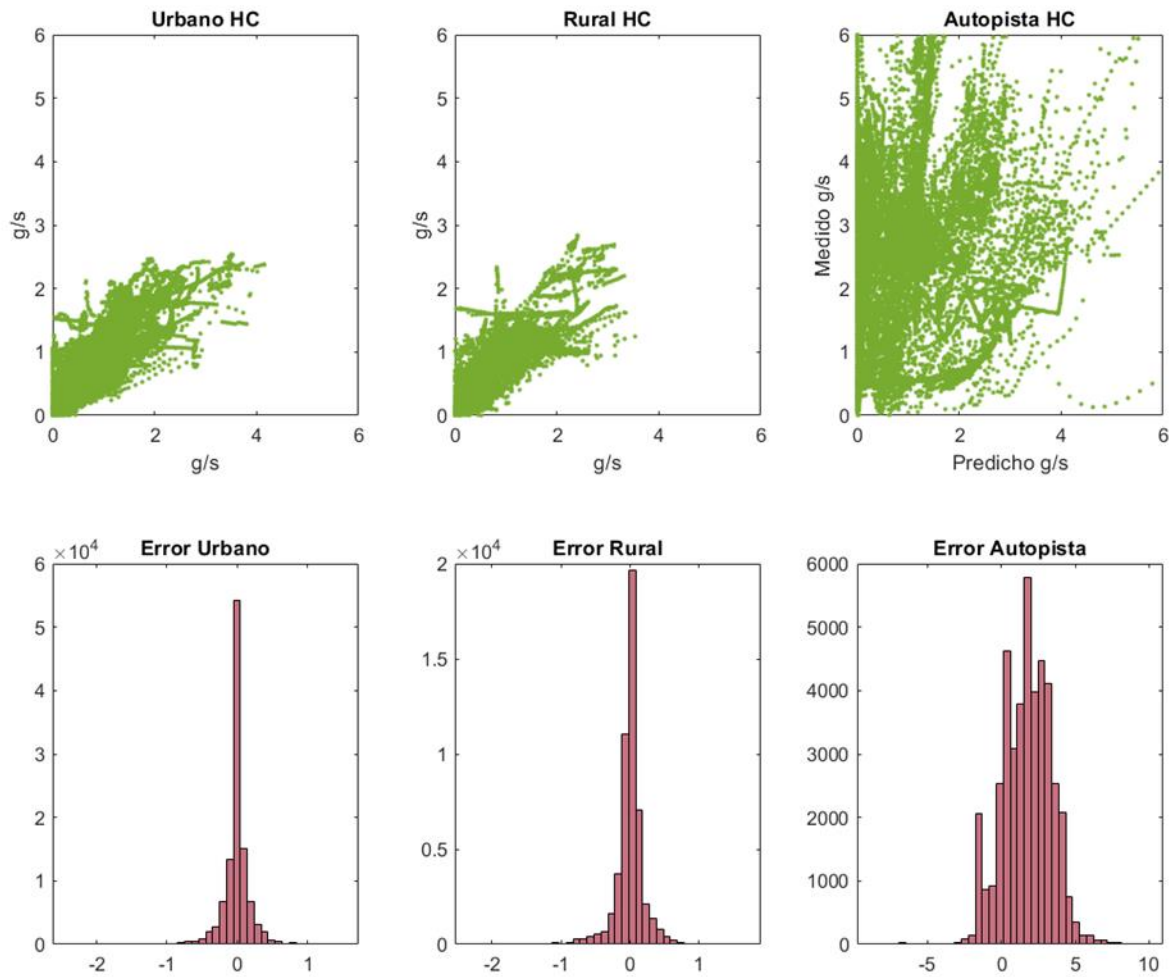


Figura 42: Error entre lo medido y calculado HC.

En la Tabla 14, se evidencian los valores que demuestran la relación entre las emisiones medidas y calculados. Es crucial considerar que dichos valores se acercan a 1, lo cual indica un alto grado de correlación. Adicionalmente, se observa el valor del error de los cuatro gases analizados. Estos

errores se encuentran cercanos a cero, con un valor máximo de 0.34 y un mínimo de 0.0016. Ambos valores se sitúan por debajo de 0.5, lo que permite prever que el modelo es eficiente.

*Tabla 14: Coeficientes de correlación.*

<b>Gas contaminante</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>
<b>R value</b>	0.91	0.75	0.77	0.92
<b>MSE</b>	0.34	0.049	0.28	0.0016

## 9. CONCLUSIONES

La presente investigación ha llevado a cabo el desarrollo de un modelo paramétrico para la estimación de emisiones contaminantes en vehículos M1, ciclo Otto equipados con OBD-II, mediante el uso de redes de aprendizaje automático. Este objetivo general se alcanzó a través de la consecución de varios objetivos específicos.

En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva del estado del arte de las emisiones contaminantes. A través de revisiones bibliográficas meticolosas, se identificaron y adquirieron variables de interés para el desarrollo del modelo paramétrico.

En segundo lugar, se adquirieron datos de emisiones contaminantes a través de pruebas normalizadas. Estas pruebas dinámicas están basadas en la adquisición por protocolo OBD-II y rutas RDE, proporcionando un conjunto de datos robusto y fiable para la formación del modelo de aprendizaje automático.

A continuación, se validó el modelo utilizando las redes de aprendizaje automático. El uso de estas redes permitió que el modelo aprendiera de los datos obtenidos, mejorando así su capacidad para estimar con precisión las emisiones de gases contaminantes.

Finalmente, se evaluaron los datos obtenidos con el apoyo de un software de ingeniería de inteligencia artificial. Esta evaluación permitió afinar aún más el modelo y garantizar su capacidad para estimar con precisión las emisiones de gases para vehículos M1 ciclo Otto.

El modelo paramétrico desarrollado demostró ser una herramienta eficaz y precisa para la estimación de emisiones contaminantes, debido a que se obtuvieron valores de error (MSE) cercanos al cero, con un valor máximo de 0.34 y un factor de determinación  $R^2$  de 0.92.

Sin embargo, se observó un error en la estimación de los hidrocarburos en zonas de autopistas. Futuras investigaciones deberían centrarse en mejorar la estimación de *HC* en estas áreas y ajustar aún más el modelo a las condiciones específicas bajo las cuales se realizan las pruebas RDE.

En general, esta investigación proporciona un avance significativo en la estimación de emisiones contaminantes. El modelo paramétrico desarrollado tiene el potencial de influir en políticas y prácticas de mitigación de emisiones, contribuyendo a esfuerzos más amplios para proteger la salud pública y el medio ambiente.

## **10. RECOMENDACIONES**

Se recomienda ampliar el alcance de las pruebas del modelo paramétrico. Para mejorar aún más la precisión del modelo, sería beneficioso incluir una gama más amplia de vehículos M1 de ciclo

Otto con diversas cilindradas. Esta ampliación del conjunto de datos de entrenamiento ayudaría a mejorar la capacidad del modelo de generalizar y estimar las emisiones de gases contaminantes de manera precisa en una variedad aún mayor de vehículos y condiciones.

Además, se destaca la necesidad de un enfoque más detallado en la estimación de hidrocarburos en zonas de autopistas. La recolección de más datos en estas zonas y el ajuste del modelo en consecuencia podría abordar el error identificado en la estimación de este gas en esta área.

Finalmente, aunque el modelo ha demostrado ser robusto y fiable, se recomienda continuar con la evaluación y validación del modelo utilizando nuevos conjuntos de datos y aplicaciones de ingeniería de inteligencia artificial, al igual que hacer las corridas experimentales con más vehículos, cubriendo un campo más amplio. Esta práctica de evaluación continua ayudará a mantener y mejorar la eficacia del modelo en el tiempo, permitiendo ajustes y mejoras a medida que se disponga de nueva información y tecnología.

En definitiva, el compromiso con la recopilación de datos más diversificados, un enfoque más concentrado en las áreas problemáticas identificadas y la evaluación continua promoverán la eficacia y precisión del modelo paramétrico en la estimación de emisiones de gases contaminantes.

## **11. Referencias Bibliográficas**

Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning*.

- Akhil, S., Suryanarayanan, S., Ramesh, A., & Reddy, R. P. (2016). Effect of environmental parameters on spark ignition engine combustion—A review. *Alexandria Engineering Journal*, 55(4), 3347-3367.
- Air pollution. (2022). Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Arias Montaña, E. I., & Ludeña Ayala, J. A. (2018). Estimación del consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes de un vehículo de categoría M1 en rutas con mayor grado de saturación en la ciudad de Cuenca.
- Beltrán, R. (2020). "ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN MPFI Y GDI, USANDO DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLES CON. Edu.ec.  
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4218/1/Beltr%C3%A1n%20Ruiz%20Jos%C3%A9%20Andr%C3%A9s.pdf>
- Blasco, V. (2014). SISTEMA DE DIAGNOSTICO OBD II ¿Qué es el OBD?
- Brunton, S. L., & Kutz, J. N. (2019). Neural Networks and Deep Learning. In *Data-Driven Science and Engineering* (pp. 195–226). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/9781108380690.007>
- Cadena Viteri, C., Gallardo Villacres, G., & Masapanta Chilig, C. (2018). Análisis de Contaminación Atmosférica en la ciudad de Quito. QUITO/UIDE/2018.

- Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., & Milla, J. C. L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.
- Dallmann, T. R., & Harley, R. A. (2010). Evaluation of mobile source emission trends in the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D14).
- Dell'Aversana, P. (2019). ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND DEEP LEARNING. A SIMPLE OVERVIEW. <https://www.researchgate.net/publication/337678793>
- EPA. (2016). Learn about how mobile source pollution affects your health. <https://www.epa.gov/mobile-source-pollution/learn-about-how-mobile-source-pollution-affects-your-health>
- Epa, U., of Transportation, O., & Quality, A. (2021). The 2021 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975 (EPA-420-R-21-003, November 2021).
- EU: Light-duty: Real-driving emissions (RDE). (s/f). [Transportpolicy.net](https://www.transportpolicy.net). Recuperado el 26 de marzo de 2023, de <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-real-driving-emissions/>
- Flores Jarrín, J. F., & Silva Romero, B. A. (2016). Desarrollo de una base de datos de los mecanismos de formación de monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados de los vehículos pertenecientes al parque automotor de la ciudad de Cuenca.

- Fraidl, G., Kapus, P., & Vidmar, K. (2016). The gasoline engine and RDE challenges and prospects (pp. 257–283). [https://doi.org/10.1007/978-3-658-13255-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-658-13255-2_20)
- Freematics – freematics ONE+ model A. (s/f). Freematics.com. Recuperado el 17 de abril de 2023, de <https://freematics.com/pages/products/freematics-one-plus/>
- Freematics packed data format. (2016). Freematics.com. Recuperado el 23 de abril de 2023, de <https://freematics.com/pages/hub/freematics-data-logging-format/>
- Fristrom, R. (2000). Fire Research Abstracts and Reviews, Volume 8. In Fire Research Abstracts and Reviews, Volume 8. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18857>
- Ganesan, V. (2018). INTERNAL COMBUSTION ENGINES. In V. Ganesan.
- Gárate, M. D. A. (2018). Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16587>
- Gavilánez, W. F. G. (2019). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR. Edu.ec. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GAVILANES%20GAVILANEZ%20WILMER%20FABRICIO.pdf>
- GlobalTech. (31 de octubre de 2017). Teoría, Conectividad OBDI y OBDII. Obtenido de [https://www.globaltechla.com/eBusiness/fichas\\_tecnicas/TEORIA-CONECTIVIDAD-OBDD.pdf](https://www.globaltechla.com/eBusiness/fichas_tecnicas/TEORIA-CONECTIVIDAD-OBDD.pdf)
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.



Gurjar, B.R., A.S. Nagpure, P. Kumar, and N. Sahni. 2010. Pollutant emissions from road vehicles in megacity Kolkata, India: past and present trends. *Indian Journal of Air Pollution Control* 10 (2): 18–30

Heredia, A. G., & Chalan, W. A. (2020). DIAGNOSTICO DEL MOTOR HYUNDAI D4BH MEDIANTE DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL SISTEMA DE INYECCION PARA EL MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO Y DISMINUCION DE OPACIDAD. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.

Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*.

Huang, R. J., Zhang, Y., Bozzetti, C., Ho, K. F., Cao, J. J., Han, Y., ... & Zhu, T. (2014). High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*, 514(7521), 218-222.

INEN. (2016). CLASIFICACIÓN VEHICULAR.

[https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2656-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2656-1.pdf)

Jaramillo, L. D. O. (2021). Desarrollo de una propuesta metodológica en base a las características del parque automotor y las condiciones de la ciudad de Cuenca para la estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20562>

Juego Completo Obd1 Product on Alibaba.com. (2023). <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Full-62336726636.html?spm=a2700.7724857.0.0.1eca178bHVDCAf>

Kane live. (2023). Kane International Limited. Recuperado el 12 de junio de 2023, de

<https://www.kane.co.uk/products/software/kane-live>

López, J. (2014). Diseño De Escáner Automotriz Obdii Multiprotocolo. Universidad de San Carlos de

Guatemala. [https://docplayer.es/1287942-Diseno-de-escanerautomotriz-obdii-multiprotocolo.](https://docplayer.es/1287942-Diseno-de-escanerautomotriz-obdii-multiprotocolo.html)

html.

MAURICIO GAITÁN VARÓN & PAULA ANDREA CÁRDENAS RUÍZ. (2017). GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.

[http://\(https://www.minambiente.gov.co/wp-](http://(https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

[content/uploads/2022/03/GUIA\\_PARA\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_INVENTARIOS\\_DE\\_EMI](http://(https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

[SIONES\\_ATMOSFERICAS.pdf](http://(https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

Mendieta, C. S. (2022, septiembre 10). Hay 64.199 vehículos matriculados en Cuenca. Com.ec;

Diario el Mercurio. <https://elmercurio.com.ec/2022/09/10/vehiculos-matriculados-en-cuenca/>

McCord, K. (2011). Sistemas de diagnóstico automotriz: comprensión de OBD I y OBD II . cartech

inc.

Mock, P. (2017). Real-driving emissions test procedure for exhaust gas pollutant emissions of cars

and light commercial vehicles in Europe.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). Review of the Research

Program of the U.S. DRIVE Partnership: Fifth Report. The National Academies Press.

- National Research Council. (2000). Air pollution and greenhouse gases: From basic concepts to engineering solutions. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18857>
- Nielsen, M. (2015). Neural Networks and Deep Learning. <http://neuralnetworksanddeeplearning.com>
- Ortiz López Julio César. (2014). DISEÑO DE ESCÁNER AUTOMOTRIZ OBDII MULTIPROTOCOLO.
- Palacios Elvira, & Espinoza Claudia. (2014). CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR. CUENCA - ECUADOR, 2009- 2013. POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD. 32(2), 6–17.
- Payri González, Francisco., & Desantes Fernández, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Universitat Politècnica de València.
- Pisani, M., Tronconi, E., & Di Iorio, S. (2015). On-board diagnostics systems: An overview. SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 8(2), 355-366. <https://doi.org/10.4271/2015-01-0043>
- Puri, S., Kumar, R., & Kumar, A. (2015). Analysis of Combustion Process in Spark Ignition Engine. International Journal of Engineering Research and Applications, 5(12), 97-104.
- Ramos, Á., García-Contreras, R., & Armas, O. (2016). Performance, combustion timing and emissions from a light duty vehicle at different altitudes fueled with animal fat biodiesel, GTL and diesel fuels. Applied Energy, 182, 507-517. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.159>
- Red Neuronal Artificial. (2021, 17 agosto). IBM. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model>

Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., Agarwal, A. K., Arcoumanis, D., Assanis, D., Bae, C., Boulouchos, K., Canakci, M., Curran, S., Denbratt, I., Gavaises, M., Guenther, M., Hasse, C., Huang, Z., Ishiyama, T., ... Zhao, H. (2020). IJER editorial: The future of the internal combustion engine. In *International Journal of Engine Research* (Vol. 21, Issue 1, pp. 3–10). SAGE Publications Ltd.  
<https://doi.org/10.1177/1468087419877990>

Rojas Romero, R. A. Emitier: Una propuesta de un aplicativo en Visual Basic for Applications para la estimación de emisiones de gases contaminantes generados por fuentes móviles. Tercer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación de Ingeniería Industrial (ENSIII)-2019, 28.

SAE. (2002). SAE J1962: Diagnostic Connector Equivalent to ISO/DIS 15031.

Sánchez, E. (2011). *Sistemas Auxiliares del Motor*.

The National Academies of SCIENCES-ENGINEERING-MEDICINE. (2017). *Review of the Research Program of the U.S. DRIVE Partnership*. National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/24717>

Varella, RA, Duarte, G., Baptista, P., Sousa, L., & Villafuerte, PM (2017). Comparación de métodos de análisis de datos para la regulación europea de emisiones de conducción real (No. 2017-01-0997). Documento técnico SAE.

Zhao, F., An, F., & Saxena, S. (2015). *Automotive engines: Control, estimation, statistical detection*. John Wiley & Sons.

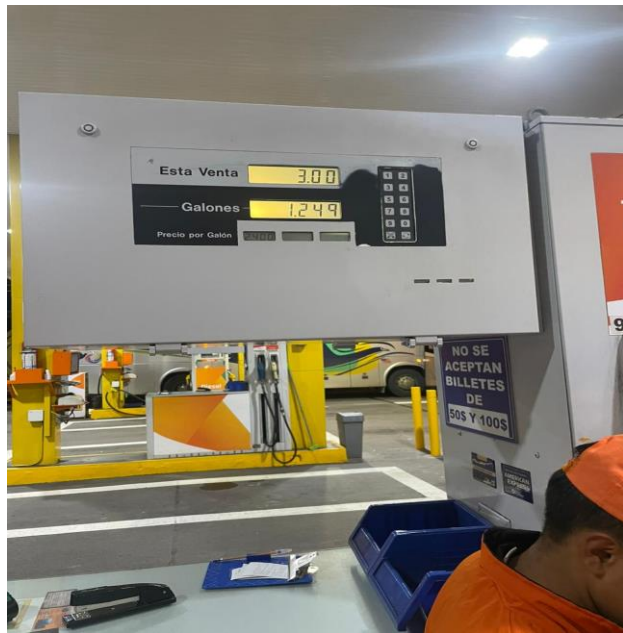
## 12. ANEXOS



*Figura A- 1: Prueba Banco Dinamométrico vehículo A*



*Figura A- 2: Conexión dispositivos de adquisición vehículo A*

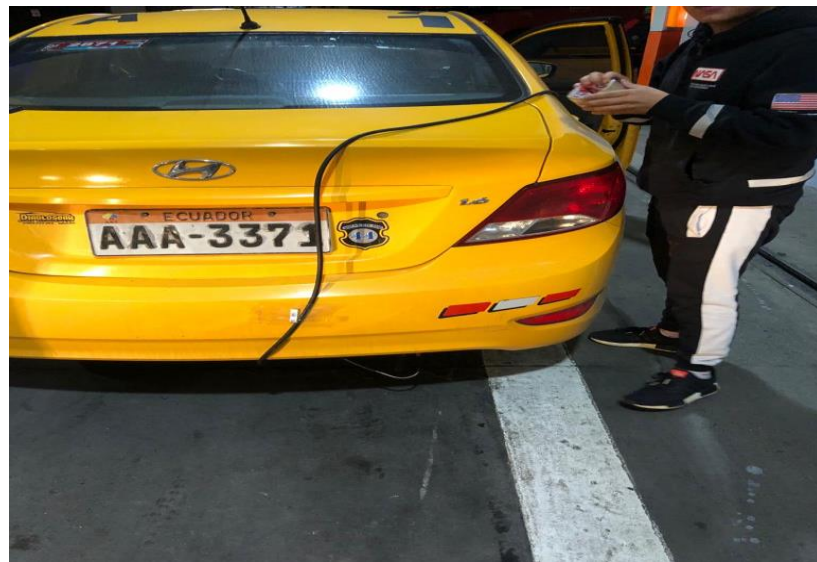


*Figura A- 3: Consumo de combustible al finalizar prueba de ruta Vehículo A.*





*Figura A- 4: Kane conectado*



*Figura A- 5: Dispositivos de adquisición conectados en vehículo B*



Figura A- 6: Freematic conectado

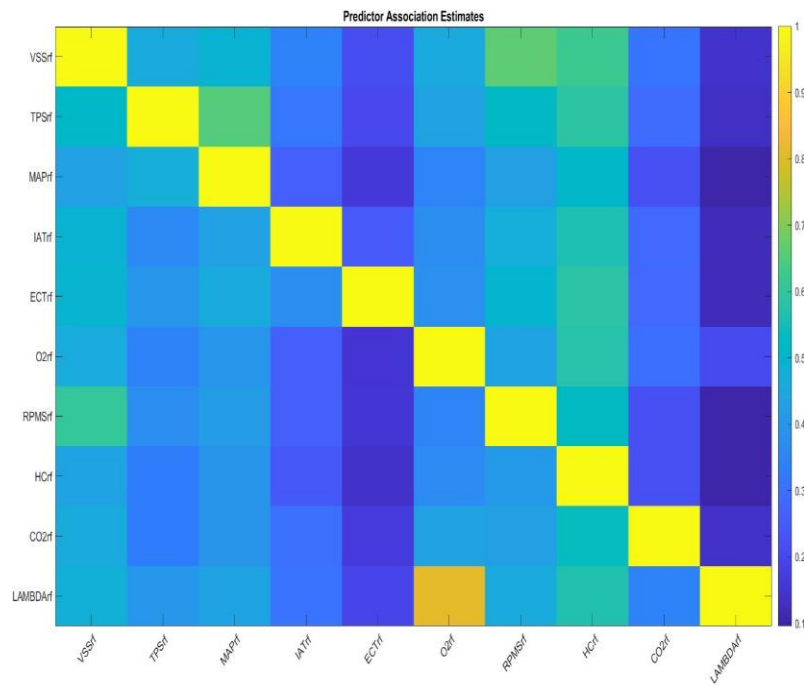


Figura A- 7: Entrenamiento red neuronal