



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención del
título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

AUTORES:

CARLOS DAVID
MURILLO VITERI
ALEXANDER
SEBASTIAN TORRES
TUPIZA

TUTOR:


ING. GORKY REYES
ING. DENNY
GUANUCHE

**COMPARATIVA DEL MATERIAL PARTICULADO EN
VEHÍCULOS CRDI CON DIFERENTES TECNOLOGÍA**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **CARLOS DAVID MURILLO VITERI**, y **ALEXANDER SEBASTIÁN TORRES TUPIZA**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Carlos David Murillo Viteri



Alexander Sebastián Torres Tupiza

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Denny Javier Guanuche Larco**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Ing. Denny Javier Guanuche Larco, Msc.

DEDICATORIA

“A mis padres, cuyo amor y sacrificio han sido la fuerza impulsora detrás de cada logro en mi vida. A ustedes, que han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento.

A mis amigos, cuya amistad ha iluminado los días oscuros y ha hecho que las alegrías sean aún más vibrantes. A través de risas compartidas y momentos desafiantes, ustedes han sido la red de seguridad que me ha sostenido. Este logro es también suyo.

A todos aquellos que han compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de este viaje académico, gracias por contribuir a mi crecimiento personal y profesional.

Este trabajo representa no solo el fruto de mi esfuerzo, sino también el reflejo de las numerosas manos que me han ayudado a llegar hasta aquí. A medida que concluye esta etapa, celebro no solo el logro individual, sino también las relaciones significativas que han enriquecido mi trayectoria.

Que este trabajo sirva como un testimonio de gratitud a aquellos que han formado parte de mi viaje. ¡A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento!"

Carlos David Murillo Viteri

DEDICATORIA

“Dedico este trabajo, fruto de esfuerzo, constancia y compromiso, a mis padres, quienes con su ejemplo de integridad, sacrificio y amor incondicional han sido el pilar fundamental de mi formación. Su apoyo silencioso pero constante ha sido el motor que me ha impulsado a superar cada desafío a lo largo de este proceso académico.

Agradezco profundamente a los docentes y tutores que me guiaron con profesionalismo, exigencia y generosidad intelectual, y que contribuyeron de manera decisiva al desarrollo de mis capacidades investigativas. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi vida académica.

A mi familia, por su paciencia y comprensión durante las largas jornadas de estudio, y a quienes, con pequeños gestos de apoyo, contribuyeron silenciosamente al cumplimiento de este objetivo.

Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que creen en la educación como herramienta de transformación, y que cada día, desde su espacio, aportan al desarrollo del conocimiento y del pensamiento crítico en nuestra sociedad.”

Alexander Sebastián Torres Tupiza

AGRADECIMIENTO

“Agradezco sinceramente a mis padres y familiares por su apoyo inquebrantable. Sus palabras alentadoras, amor constante y sacrificios han sido el motor que me impulsó a alcanzar este logro. Cada hito en este viaje ha sido posible gracias a su firme respaldo.

A mis amigos, quienes han compartido risas, desafíos y momentos de aliento a lo largo de este camino, les agradezco por ser mi red de apoyo. Su amistad ha hecho que los desafíos sean más llevaderos y las victorias más significativas.

A todos mis profesores y compañeros de clase que compartieron conocimientos y experiencias, gracias por enriquecer mi aprendizaje y brindarme perspectivas valiosas.

Finalmente, agradezco a todos aquellos cuya contribución, ya sea grande o pequeña, ha dejado una marca en este proyecto. Este logro no es solo mío; es el resultado del esfuerzo colectivo de aquellos que creyeron en mí y me alentaron a seguir adelante.

Gracias a todos por ser parte de este viaje y por hacer posible la culminación de esta etapa académica. Su apoyo ha sido invaluable y aprecio sinceramente cada contribución."

Carlos David Murillo Viteri

AGRADECIMIENTO

“En primer lugar, agradezco a la **UIDE**, por brindarme el espacio académico y los recursos necesarios para llevar a cabo este estudio, así como por fomentar el pensamiento crítico y el compromiso con la investigación científica.

A los docentes que formaron parte de mi formación profesional, gracias por compartir su conocimiento con excelencia y por haber sembrado en mí la inquietud por la investigación.

A mis compañeros de carrera y colegas de investigación, por el intercambio de ideas, el apoyo mutuo y el compañerismo que hicieron de este camino una experiencia enriquecedora tanto en lo académico como en lo personal.

A mi familia, por su respaldo incondicional, por ser mi sustento emocional y por creer en mí aun en los momentos de mayor incertidumbre.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, desde su lugar, aportaron con su tiempo, disposición o palabra de aliento al cumplimiento de este objetivo.”

Alexander Sebastián Torres Tupiza

ÍNDICE

<i>CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA</i>	<i>iii</i>
<i>APROBACIÓN DEL TUTOR</i>	<i>iv</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>v</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>vi</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>vii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>viii</i>
<i>INDICE</i>	<i>ix</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>xi</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>xii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>1</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>2</i>
<i>INTRODUCCION</i>	<i>2</i>
<i>MARCO TÉORICO</i>	<i>2</i>
Tecnología CRDI y Emisiones	<i>2</i>
Composición del Material Particulado.....	<i>2</i>
Factores Influenciadores	<i>2</i>
Diseño del Motor	<i>2</i>
Condiciones de Conducción	<i>2</i>
Métodos de Medición y Caracterización	<i>2</i>
Normativas y Regulaciones	<i>2</i>
Impacto en la Salud y Medio Ambiente	<i>3</i>
Estrategias de Reducción de Emisiones.....	<i>3</i>
<i>MATERIALES Y MÉTODOS</i>	<i>4</i>
Hipótesis	<i>4</i>
Materiales.....	<i>4</i>
Instrumentación de medición.....	<i>5</i>
Método	<i>6</i>
<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	<i>8</i>
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>10</i>
<i>REFERENCIAS</i>	<i>11</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>13</i>
<i>ANEXOS INTRODUCCIÒN</i>	<i>13</i>
ANEXO 1 Objetivo General y específicos	<i>13</i>
ANEXO 2 Fundamentación del Problema (importancia y justificación)	<i>15</i>

Anexo 3 Metodología de Investigación	24
<i>ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</i>	26
Anexo 4 Desarrollar una investigación Científica	26
Anexo 5 Características de la fundamentación teórica	31
<i>ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS</i>	37
Anexo 6 Características de la fundamentación teórica	37
Anexo 7 Metodología y Materiales.....	39
Anexo 8 Materiales	43
Opacímetro Tecnotest TEM 499TT	45
Toyota Hilux (EURO II).....	48
Chevrolet D-Max (EURO III).....	51
Ficha Técnica Nissan Frontier NP300 – EURO IV	54
Nissan Frontier NP300 (EURO IV).....	54
<i>ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	58
Anexo 9 Promedio de opacidad por normativa EURO.....	58
Anexo 10 Resultados detallados de pruebas por vehículo.....	58
Anexo 12 Análisis de variación de opacidad según temperatura	60
Anexo 13 Comparación por tipo de tecnología	61
Anexo 14 Rango de valores individuales de opacidad	62
Anexo 15 Reducción porcentual de opacidad entre tecnologías	64
Anexo 16 Relación entre normativa EURO y reducción de MP	65
Anexo 17 Impacto de la temperatura operativa en las emisiones.....	67
Anexo 18 Influencia del tipo de aceleración en los niveles de MP	69
Anexo 19 Tiempo de respuesta del opacímetro en cada vehículo	70
<i>ANEXOS CONCLUSIONES</i>	72
Anexo 20 Síntesis gráfica de hallazgos clave	72
Anexo 21 Conclusiones operativas por vehículo.....	73
Anexo 22 Implicaciones ambientales del material particulado	74
Anexo 23 Contribución del estudio a futuras investigaciones.....	76
Anexo 24 Reflexión sobre el rol del control de emisiones en países en desarrollo....	76
Anexo 25 – Limitaciones y recomendaciones para estudios futuros.....	77
Anexo 26 Conclusión general técnica del estudio	77
Anexo 27 Aporte del trabajo a la ingeniería automotriz.....	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema CDRI.....	4
Figura 2: Opacómetro.....	5
Figura 3: Promedio de PM en normas EURO.....	8
Figura 4: Valores de opacidad de vehículos CRDI.....	10
Figura 5: Cómo escribir un Objetivo General.....	13
Figura 6: Áreas cognitivas para formulación de objetivos.....	14
Figura 7: justificación.....	15
Figura 8: Como realizar la justificación.....	16
Figura 9: Justificación Investigación.....	18
Figura 10: Marco Teórico.....	19
Figura 11: Hipótesis Conceptual.....	20
Figura 12: Funciones del marco Conceptual.....	21
Figura 13: Como hacer el marco de referencia.....	22
Figura 14: Diagrama de relación.....	27
Figura 15: Características de la fundamentación teórica.....	31
Figura 16: Clasificación de la ciencia.....	32
Figura 17: Ubicación Geográfica de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la UIDE.....	42
Figura 18: Opacómetro Tecnotest TEM 499TT.....	44
Figura 19: Toyota Hilux – EURO II.....	46
Figura 20: Chevrolet D-Max – EURO III.....	50
Figura 21: Nissan Frontier NP300 – EURO IV.....	53
Figura 22: Diesel Premium (Primax).....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: características del diésel.....	6
Tabla 2: Valores de material particulado MP	7
Tabla 3 Variables de estudio.....	9
Tabla 4: como hacer el marco de referencia.....	17
Tabla 5: Cuadro Comparativo Investigación Social y Educativa	30
Tabla 6: Ficha Técnica Opacímetro Tecnotest TEM 499TT	45
Tabla 7: Ficha Técnica Toyota Hilux – EURO II.....	48
Tabla 8: Ficha Técnica Chevrolet D-Max – EURO III.....	51
Tabla 9: Ficha Técnica Nissan Frontier NP300 – EURO IV.....	54
Tabla 10: Ficha Técnica – Diésel Primax Ecuador (Diésel Premium Bajo Azufre)	57

COMPARATIVA DEL MATERIAL PARTICULADO EN VEHÍCULOS CRDI CON DIFERENTES TECNOLOGIAS

Ing. Denny Guanuche. MSc, Carlos David Murillo, Alexander Sebastian Torres

Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, camurillovi@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

RESUMEN

Introducción: Este estudio analizó las emisiones de material particulado MP, que se generan en los vehículos diésel con tecnología common rail direct Injection CDRI, equipados con diferentes sistemas de control de emisiones, con el objetivo de comparar el comportamiento de 3 vehículos bajo las normas EURO II, III Y IV, evaluando además el impacto del tipo el combustible y las condiciones operativas que genera MP.

Metodología: se aplicó enfoques experimentales utilizando opacímetros certificados para medir las emisiones, se realizó esto en 3 vehículos: Toyota hilux, Chevrolet D-Max y Nissan NP300, que se encuentran sometidos a diferentes condiciones controladas de velocidad y temperatura, se utilizó diésel de diferentes marcas para analizar la influencia en las emisiones. **Resultados:** los vehículos con tecnología más avanzada euro IV presentaron menores niveles de opacidad, cumpliendo los límites de la norma INEN 2203, la utilización de estos combustibles con menor contenido de azufre y un mayor poder calorífico resultó en emisiones mucho más limpias, también condiciones como baja velocidad o carga irregular aumentaron la emisión de partículas ultrafinas.

Conclusión: se determinó que la tecnología del vehículo, tipo de combustible y condiciones de operación logran influir de forma directa en la generación de material particulado. Se recomienda la utilización de sistemas avanzados para controlar emisiones y combustibles más refinados que logren reducir a un impacto ambiental cumpliendo normas vigentes

Palabras clave: Diesel, material particulado, contaminación

ABSTRACT

Introduction: This study analyzed the emissions of particulate matter PM, generated in diesel vehicles with common rail direct injection CDRI technology, equipped with different emission control systems, with the aim of comparing the behavior of 3 vehicles under EURO II, III and IV standards, also evaluating the impact of the type of fuel and the operating conditions that generate PM. **Methodology:** Experimental approaches were applied using certified opacimeters to measure emissions, this was done in 3 vehicles: Toyota Hilux, Chevrolet D-Max and Nissan NP300, which are subjected to different controlled conditions of speed and temperature, diesel of different brands was used to analyze the influence on emissions. **Results:** Vehicles with the most advanced Euro IV technology presented lower levels of opacity, complying with the limits of the INEN 2203 standard, the use of these fuels with lower sulfur content and higher calorific value resulted in much cleaner emissions, also conditions such as low speed or irregular load increased the emission of ultrafine particles. **Conclusion:** It was determined that vehicle technology, fuel type, and operating conditions directly influence the generation of particulate matter. The use of advanced emissions control systems and more refined fuels is recommended to reduce environmental impact while complying with current regulations.

Keywords: Diesel, particulate matter, pollution

INTRODUCCIÓN

Ante el constante crecimiento del parque automotor y el desarrollo que se ha dado en la industria automotriz influyó en importantes desafíos medioambientales, sobre todo en lo que se relaciona con la calidad del aire. Entre los contaminantes atmosféricos que más llegan a preocupar están las partículas MP, que son un tipo de mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran suspendidas en el aire, y puedan llegar a introducirse en el sistema respiratorio.

Los vehículos que operan con motores de combustión interna en especial los que utilizan diésel, se los considera una fuente de emisión de MP. Con la evolución en la tecnología automotriz, se ha llegado a generar más popularidad en los sistemas de inyección que son directa de alta presión que se las conoce como CDRI, principalmente por la eficiencia que muestran en el consumo de combustible además de la capacidad que tienen para mejorar el rendimiento de los motores. Por otro lado, son estas mismas características las que logran influir en un aumento en las emisiones que se producen de diferentes partículas sean finas o ultrafinas (Dhileepan, Viswanathan, Esakkimuthu, & Balasubramanian, 2024).

Con todo esto, el estudio pretende cuantificar y realizar comparaciones acerca de las emisiones de este material particulado que son generadas por los vehículos con sistema CDRI que incorporan diferentes tecnologías de control de emisiones, como filtro de partículas, sistemas de recirculación de gases de escape, o inclusive catalizadores de reducción selectiva. Con esta evaluación comparativa se podrá realizar un mejor análisis acerca de las tecnologías y entender cuál de estas lograr un mejor desempeño en la mitigación del medioambiental.

Se propone además analizar la eficiencia de las tecnologías como los filtros de partículas y catalizadores que actúan en la reducción de los materiales particulado en los motores, para evaluar un comportamiento y en condiciones reales de operación, lo que incluye además observaciones en diversos regímenes de carga y velocidad que se le apliquen al motor pues se considera que todos estos factores logran influir de forma directa en la cantidad y el tipo de material particulado que llega a emitirse al medio ambiente.

El análisis también incluirá evaluaciones del impacto del tipo de combustible y las condiciones de operación que se tienen en la generación de material particulado en este tipo de vehículos además de los escenarios en la conducción urbana y la carretera.

Finalmente, este estudio abordará una caracterización tipo físico y química de los materiales particulares que son emitidos por este tipo de vehículos, con análisis de parámetros, tamaño, composición y la distribución. Se evalúa efectos de los parámetros en las inyecciones al momento de formarse esas partículas cómo la presión el tiempo y la cantidad de combustible que se utiliza. Se comparan diferentes vehículos de acuerdo con el diseño y la tecnología de esta forma se podrá evaluar si existen diferencias en las emisiones además de analizar estrategias de mitigación

MARCO TEÓRICO

Los motores de inyección directa de combustible common rail (CRDI) registran una notoria popularidad en la industria automotriz, debido a su eficiencia en el consumo de combustible y reducción de emisiones. Sin embargo, la emisión de material particulado (MP) continua como desafío crítico. El MP, compuesto por partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, es perjudicial para la salud humana y contribuye al deterioro de la calidad del aire. Esta revisión se centra en la comparativa del material particulado emitido por vehículos equipados con tecnología CRDI (Jiang, y otros, 2025)

Tecnología CRDI y Emisiones

La inyección directa de combustible permite un control preciso del proceso de combustión, con esto mejora la eficiencia del motor. Sin embargo, este aumento en la eficiencia suele estar acompañado por una mayor emisión de partículas finas. La inyección a alta presión en el sistema common rail facilita la atomización del combustible, pero también genera partículas más pequeñas que se traducen en emisiones de MP (Nageswara Rao & Reddy, 2023).

Composición del Material Particulado

El MP emitido por vehículos con tecnología CRDI está compuesto principalmente por carbono elemental (EC), carbono orgánico (OC), sulfatos, metales y compuestos orgánicos volátiles. La cantidad y la composición de estas partículas varían según factores como el tipo de combustible, el diseño del motor y las condiciones de conducción (Qi, Ma, Chen, Jin, & Xie, 2021)

Factores Influyentes

Tipo de Combustible: La calidad y composición del combustible influyen en la formación y características del MP. Combustibles de baja calidad ocasiona un aumento en las emisiones de partículas (Aalameds, 2020)

Diseño del Motor

La geometría de la cámara de combustión, la presión de inyección y la temperatura de combustión afectan la formación y tamaño de las partículas (Aalam, Saravanan, & Kannan, 2015)

Condiciones de Conducción

Factores como la velocidad, la carga del motor y las condiciones de tráfico logran influir en las emisiones de MP. Por ejemplo, la conducción en condiciones de baja velocidad genera un aumento en las emisiones de partículas ultrafinas (Shete, Deshpande, & Bhosale, 2022).

Métodos de Medición y Caracterización

La evaluación del MP se realiza mediante técnicas como la espectrometría de masa, microscopía electrónica y análisis de tamaño de partículas. Estas herramientas permiten caracterizar la cantidad, tamaño y composición del MP emitido por vehículos CRDI (Anbalagan, Sendilvelan, Rajan, & Bhaskar, 2023)

Normativas y Regulaciones

Las normativas de emisiones, como las establecidas por organismos como la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, imponen límites estrictos a las emisiones de MP. Los fabricantes de vehículos buscan cumplir con estas

regulaciones mediante mejoras en el diseño del motor y el sistema de escape (Nageswara Rao & Reddy, 2023)

Impacto en la Salud y Medio Ambiente

La exposición a largo plazo al MP está asociada con problemas respiratorios y cardiovasculares. Además, las partículas finas pueden tener impactos negativos en el medio ambiente, contribuyendo a la acidificación ya la formación de smog (Chaitanya & Mohanty, 2022)

Estrategias de Reducción de Emisiones

Los fabricantes y la industria investigan estrategias para reducir las emisiones de MP en vehículos CRDI. Estas estrategias incluyen mejoras en la filtración de partículas, optimización del proceso de combustión y desarrollo de combustibles más limpios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hipótesis

Se plantea que al realizar esta investigación además de cuantificar y poder comparar las emisiones del material particulado en los vehículos con características CDRI que posean diferentes tecnologías de control permitirá una mejor identificación de las variaciones significativas que se tiene en los niveles de emisión de acuerdo con el tipo de sistema que tengan implementado. De igual manera se espera que las tecnologías como los filtros de las partículas y la recirculación de los gases de escape presenten diferentes grados en la eficiencia de la reducción del material particulado. Por último, se espera considerar que el tipo de combustible utilizado como las condiciones de operación logran influir de forma directa en la generación de estas partículas lo cual podrá permitir que se establezcan diferentes recomendaciones a nivel técnico y ambiental que es capaz de optimizar un desempeño adecuado de estos motores con mitigaciones, de cierta forma el impacto que tiene en el medio ambiente y en la salud de las personas.

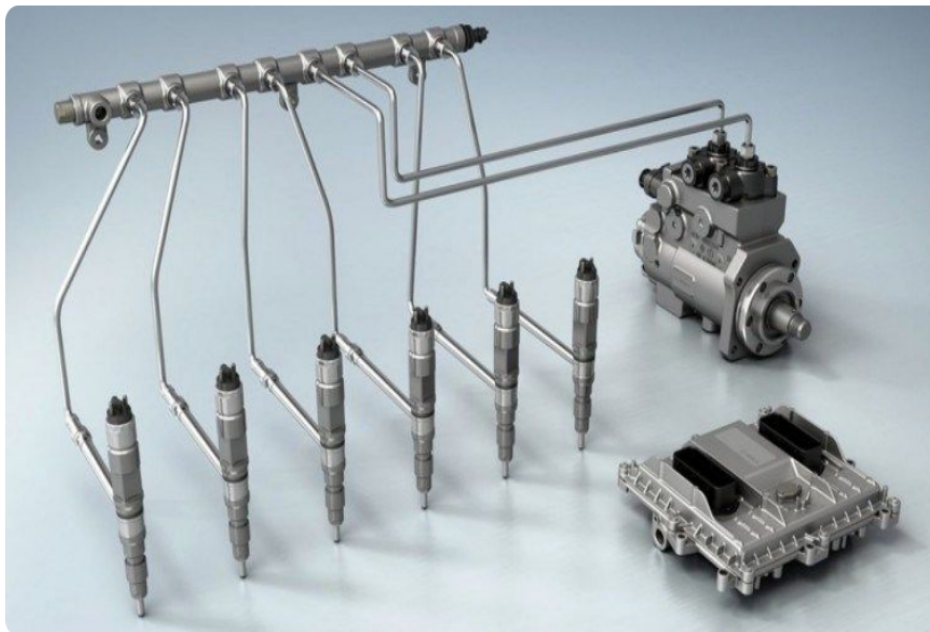
Materiales

Vehículos CRDI: Son vehículos que se caracterizan por poseer un motor diésel que usa un tipo de tecnología de inyección directa common rail (Calderon , 2025). Se necesita analizar este tipo de vehículos que se encuentran equipados con este tipo de motor para analizar material particulado que desecha. Los vehículos analizados son

- Toyota Hilux diésel 2.5 D-4D - Tecnología Euro II
- Chevrolet D-Max CRDI Tecnología Euro III
- Nissan Frontier NP300 Tecnología Euro IV

Figura 1

Sistema CDRI



Fuente: (Calderon , 2025)

Instrumentación de medición

Opacímetro: Es un dispositivo que se utiliza principalmente para la detección de grados de opacidad al momento de producirse la emisión de humos que se generan en un vehículo diésel en el proceso de la combustión interna (tecnotest, 2021). El TEM 499TT es un medidor de humo de flujo parcial para la inspección de motores diésel, equipado con una cámara de análisis de humos, desarrollada conforme a las normas internacionales (tecnotest, 2021)

El opacímetro nos ayudara a evaluar las emisiones de material particulado. Además, cuenta con las siguientes características técnicas

- Dimensiones: 23 x 34 x 22,5 cm.
- Alimentación: 220/110 V - 50/60 Hz, 30 W.
- Temperatura de funcionamiento: 5° ÷ 40 °C.
- Tiempo de calentamiento máximo: 5 minutos.
- Puesta en cero: Electrónica y automática mediante electroválvula.
- Temperatura del aceite (medible): 0 ÷ 150 °C (Resolución: 1 °C).
- Coeficiente de absorción K (m^{-1}): 0 ÷ 9.99 m^{-1} (Resolución: 0.01 m^{-1}).
- Porcentaje de absorción N (%): 0 ÷ 99.9 % (Resolución: 0.1%).
- Tiempo de aceleración: 0 ÷ 5 s (Resolución: 0.1 s).
- Temperatura de humos: 0 ÷ 150 °C (Resolución: 1 °C).
- Longitud efectiva de la cámara de medición: 296 mm.
- Fuente luminosa: LED verde de alta intensidad.
- Peso (con batería interna): Inferior a 15 kg.
- Conformidades metroológicas: ISO 11614, OIML R99 clase 1, Directiva MID.

Figura 2

Opacímetro



Fuente: (tecnotest, 2021)

Combustibles: se necesita tomar muestras de diésel de diferentes marcas de gasolineras, para analizar sus efectos en las emisiones de material particulado, que posee estas características, como se lo evidencia en la tabla 1:

Tabla 1

Características del diésel

Propiedad	Valor típico	Unidad
Densidad a 15 °C	0,820 – 0,860	kg/L
Poder calorífico superior (PCS)	44,8	MJ/kg
Poder calorífico inferior (PCI)	42,5	MJ/kg
Viscosidad cinemática a 40 °C	2,0 – 4,5	mm ² /s (cSt)
Punto de inflamación	> 55	°C
Punto de fluidez	-15 a -5 (diésel estándar)	°C

Fuente. (repsol, 2023)

Condiciones de prueba: Debes establecer un protocolo de prueba estandarizado en base a las normas INEN 2203 sobre límites de opacidad y emisiones, que incluya condiciones de conducción específicas, como velocidades, aceleraciones y cargas, para asegurar la consistencia en las mediciones. Todo esto se lo realiza con pruebas experimentales al tomar muestras para aplicar posteriormente pruebas.

Variables adicionales: Otras variables que puede influir en las emisiones de MP, como la temperatura ambiente, la altitud, la carga del vehículo y el mantenimiento del motor. Estas variables resultan un impacto significativo en los resultados.

Método

En la presente investigación sobre las emisiones de material particulado en vehículos, se implementó un enfoque analítico-experimental diseñado para proporcionar una evaluación integral y precisa de las emisiones asociadas con vehículos equipados con tecnología Common Rail Direct Injection (CRDI) en comparación con tecnologías de inyección de combustible alternativas, además de un método experimental que se basa en el análisis de diferentes muestras que permitan un posterior análisis.

Este método combinó rigurosos análisis analíticos con experimentos detallados en condiciones controladas y representativas de situaciones de conducción real. La selección de vehículos, la instrumentación precisa y el diseño experimental permitieron examinar de manera exhaustiva las emisiones de material particulado, se consideró factores clave como el tipo de tecnología de inyección, el tipo de combustible y diversas condiciones de conducción.

Los vehículos con tecnología CRDI son fundamentales para el estudio ya que cada uno de ellos tendrá una tecnología diferente y con lo cual se logrará comparar cuál de las tecnologías y con cuál de los combustibles de diferentes marcas de gasolineras se genera menos contaminación ambiental. Para poder obtener los valores del estudio, se utilizará un opacímetro el cual es el instrumento de medición encargado de medir las emisiones de material particulado de los vehículos durante las pruebas, y las variables en las cuales se realiza el estudio. Para obtener un mejor resultado en las pruebas se tiene que calibrar el opacímetro adecuadamente y de seguir un procedimiento estandarizado de medición.

La tabla 2 muestra el valor del material particulado que fueron clasificadas por tecnología y tipo de auto.

En la siguiente tabla se clasifica el valor de material particulado (MP) en cada una de las pruebas que se realizó a los tres vehículos, y al final se tendrá el procedimiento de material particulado que evacuo cada uno de ellos después de tres pruebas realizadas.

Tabla 2:

Valores de material particulado MP

AUTOS CRDI	MP (mg/m³)	MP (mg/m³)	MP (mg/m³)	Promedio (mg/m³)
PRUEBA EURO II	727,5	707,5	717,5	717,5
PRUEBA EURO III	525	565	567,5	552,5
PRUEBA EURO IV	400	402,5	420	407,5
	VALOR PROMEDIO			559,17

Fuente. Elaboración propia (2025)

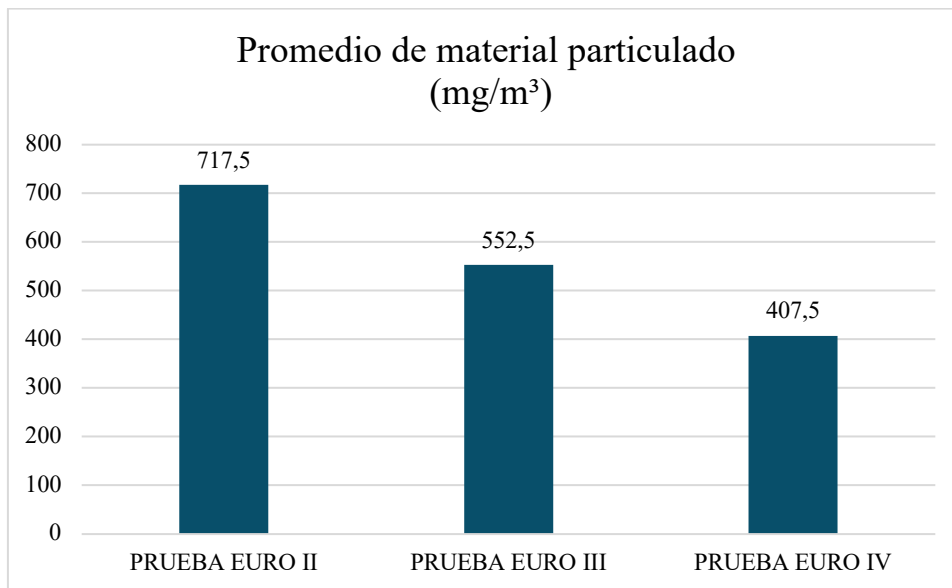
Una vez realizado esto se podrá obtener los valores acertados de cada vehículo con cada tipo de combustible para de esta manera tener un mejor conocimiento de cual tecnología y cual combustible son los más contaminantes y que tienen un gran impacto ambiental.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar las pruebas respectivas se generó una tabla que permitió determinar las variaciones del material particulado en cada una de las diferentes tecnologías del sistema CRDI con la finalidad de obtener cada uno de los valores correspondientes del material particulado que genera cada vehículo, como se observa en la figura 3

Figura 3:

Promedio de PM en normas EURO



Fuente. Elaboración propia (2025)

Nota: La Revisión Técnica Vehicular (RTV) establece límites de opacidad como una forma indirecta de controlar el material particulado emitido por vehículos diésel, incluyendo los CRDI.

- Vehículos diésel livianos $\leq 2.5 \text{ m}^{-1}$
- Vehículos diésel pesados $\leq 3.0 \text{ m}^{-1}$ (Dias & Paez, 2006)

Estos resultados respaldan la hipótesis original de que el factor analizado tiene una influencia sustancial en las variables de interés. La identificación de esta diferencia significativa proporciona una base sólida para una comprensión más profunda de los mecanismos y relaciones

Tabla 3*Análisis de varianza de un factor*

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
EURO II	3	8,61	2,87	0,0016
EURO III	3	6,63	2,21	0,0091
EURO IV	3	4,89	1,63	0,0019

ANÁLISIS
DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
				274,9523		
Entre grupos	2,3096	2	1,1548	81	1,25734E-06	5,14325285
Dentro de los grupos	0,0252	6	0,0042			
Total	2,3348	8				

En la siguiente tabla 4 se visualiza los valores de material particulado (MP), como también la opacidad, y la temperatura a la cual se fue realizada cada una de las pruebas.

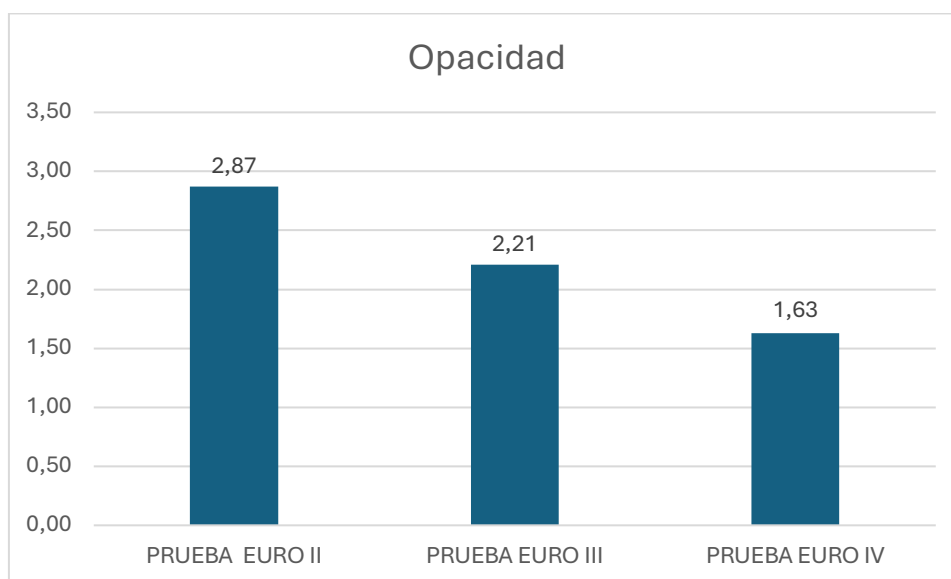
Tabla 4*VARIABLES DE ESTUDIO*

Variable Dependiente	Variable Independiente 1	Variable Independiente 2	Variable Independiente 3	Variable Independiente 4
Autos CRDI	MP mg/m ³	Opacidad	Ppm	°C
EURO II	717,5	2.87	465,75	75
EURO III	552,5	2.21	358,65	75
EURO IV	407,5	1.63	264,52	75

Fuente. *Elaboración propia (2025)*

Figura 4

Valores de opacidad de vehículos CRDI



Fuente. Elaboración propia (2025)

Límite de opacidad en el país de acuerdo con las normas EURO

- Vehículos diésel livianos $\leq 2.5 \text{ m}^{-1}$
- Vehículos diésel pesados $\leq 3.0 \text{ m}^{-1}$
- Vehículos nuevos importados Deben cumplir con EURO 3 o superior (desde 2021) (Mafla , Imbaquingo, Melo, & Benvides, 2018)

CONCLUSIONES

Se puede evidenciar que los vehículos equipados con los filtros de partículas y tecnologías de recirculación de los gases presentaron niveles de materia particulado menor, alcanzando con estos valores de opacidad por debajo de los límites que se establecen en la normativa ecuatoriana INEN 2203, respaldando la efectividad en la mitigación de contaminantes atmosféricos

Se puede observar que las muestras de hacer con menor contenido de azufre y con mayor poder calorífico generaron emisiones menos densas y opacas con esto se permite establecer una relación clara existente entre la calidad del combustible y el nivel de emisiones recomendando el uso de diésel y mejorando de cierta forma el refinado para reducir el impacto ambiental en los vehículos CDRI

Se logró identificar un bajo régimen de baja velocidad o carga irregular, los motores tienden también a generar partículas ultrafinas en mayor proporción, esto sugiere que no sólo la tecnología interna del vehículo sino también el entorno operativo debe ser considerado al momento de implementar estas estrategias de control para mejorar las platas de diésel urbana sobre carretera

REFERENCIAS

- Jiang, H., Xia, K., Zhao, Y., Yao, Z., Jiang, Y., & He, Z. (2025). Environmental impacts and emission reduction methods of vehicles equipped with driving automation systems: An operational-level review. *ransportation Research Part C: Emerging Technologies*, 173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104996>
- Nageswara Rao, D., & Reddy, S. (2023). Effects on the performance and emission characteristics of CRDI diesel engine fueled with ethanol, acid oil methyl ester biodiesel and diesel blends,. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.065>
- Qi, D., Ma, L., Chen, R., Jin, X., & Xie, M. (2021). Effects of EGR rate on the combustion and emission characteristics of diesel-palm oil-ethanol ternary blends used in a CRDI diesel engine with double injection strategy,. *Applied Thermal Engineering*, 199. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117530>
- Aalam, S., Saravanan, G., & Kannan, M. (2015). Experimental investigations on a CRDI system assisted diesel engine fuelled with aluminium oxide nanoparticles blended biodiesel. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 351-358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.04.009>
- Shete, M., Deshpande, H., & Bhosale, S. (2022). Experimental evaluation of performance and emission characteristics of different blends of ecofriendly Hibiscus and Coconut oil mixture on CRDI engine. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102853>
- Anbalagan, R., Sendilvelan, S., Rajan, K., & Bhaskar, K. (2023). Experimental study on effects of pilot injection mass strategy on combustion, Performance and emission characteristics of CRDI Engine. *Results in Engineering*, 20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101512>
- Nageswara Rao, D., & Reddy, S. (2023). Effects on the performance and emission characteristics of CRDI diesel engine fueled with ethanol, acid oil methyl ester biodiesel and diesel blends. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.065>
- Chaitanya, K., & Mohanty, D. (2022). Experimental investigation on the combustion, performance and emission characteristics of 1-pentanol blended waste plastic oil in a CRDI engine with EGR. *Energy*, 256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124574>
- Aalameds, S. (2020). Investigation on the combustion and emission characteristics of CRDI diesel engine fuelled with nano Al₂O₃ and Fe₃O₄ particles blended biodiesel. *Materials Today: Proceedings*, 33(7), 2540-2546. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.040>.
- Dhileepan, S., Viswanathan, K., Esakkimuthu, S., & Balasubramanian, D. (2024). Optimization of CRDI engine operating parameters using response surface methodology utilizing lemon peel oil biofuel enriched with hydroxy gas. *Process Safety and Environmental Protection*, 190, 1506-1519. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.07.108>
- Calderon , J. (2025). *Motor CRDI*. Obtido de rentingfinders: <https://rentingfinders.com/glosario/motor-crdi/>
- globaltech. (2022). *OPACÍMETRO BRAIN BEE PARA MOTORES DIÉSEL-OPA-300-LT-BT*. Obtido de globaltech: <https://globaltech-car.com/tiendaonline/opacimetro-brain-bee-opa-300-lt-bt/>

- repsol. (2023). *Diesel*. Obtido de repsol: <https://www.repsol.pe/content/dam/repsol-paises/pdfs/peru/distribuidores/14/Descripci%C3%B3n.pdf>
- Mafla , C., Imbaquingo, R., Melo, J., & Benvides, I. (2018). Cuantificación de la opacidad en motores electrónicos diésel usando diésel y biodiésel. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(19).
doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.10>
- Dias , V., & Paez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Scielo*. Obtido de http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2_a10.pdf
- tecnotest. (2021). TECNOTEST L'OFFICINA IN UNA NUOVA DIMENSIONE. Obtido de [tecnotest: https://tecnotest.com/wp-content/uploads/2021/10/tecnotest_PTI_catalistino_2021.pdf?v2](https://tecnotest.com/wp-content/uploads/2021/10/tecnotest_PTI_catalistino_2021.pdf?v2)
- Rivera P. (1998). Marco Teórico, Elemento Fundamental en el Proceo de Investigación Científica. uv.mx Obtenido de https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/documents/2/Marco_Teorico_Refereencial.pdf

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1 Objetivo General y específicos

1.1. Objetivo general

El objetivo general es lo que se pretende lograr a modo general, con la realización del proyecto, por lo tanto, puede ser abstracto.

Debes tener presente:

- La investigación debe tener un único objetivo general.
- Este señala es el objetivo principal del trabajo y se formula atendiendo al propósito global de la investigación.
- Tiene relación con el área temática que se pretende estudiar y con el título de investigación.

Figura 5

Cómo escribir un Objetivo General



Fuente. Elaboración propia (2025)

1.2. Objetivos Específicos

Figura 6

Áreas cognitivas para formulación de objetivos

HABILIDAD DE INVESTIGACIÓN	TEORÍA DE INVESTIGACIÓN	INVESTIGACIÓN ACCIÓN	PPA
Formular problemas	Enunciar preguntas	Identificar una idea. Aclarar la idea general	Seleccionar el tema. Formular interrogante o problema. Definir el título
Revisar bibliografía	Analizar problema. Elaborar conjeturas	Recoger información	Formular el tema. Aclarar problema. Aprender contenidos
Formular hipótesis	Arbitrar conjeturas	Explicar hechos observados luego de un análisis crítico.	Posibles respuestas a problemas. Sugerir causas. Pensar otra posibilidad
Observar	Para contrastar la hipótesis	Ver hechos y fenómenos Recoger información	Ver entorno y realidad como posible problema. Observar fenómenos, objetos, situaciones
Clasificar	En la interpretación de los resultados	Organizar los hechos y fenómenos observados	Clasifican en cada una de las distintas áreas académicas: figuras, líneas, plantas, animales, palabras, suelos, climas, cifras.
Describir	En la interpretación de los resultados. Durante la contrastación de las hipótesis	Al caracterizar los hechos y fenómenos observados.	Describir el entorno. En cada una de las distintas áreas académicas: procesos, acontecimientos, figuras, animales, plantas, hechos, etc.
Comparar	En la interpretación de los resultados. Durante la contrastación de las hipótesis	Al contrastar las hipótesis Al comparar la situación actual con respecto a la ideal que se desea.	En cada una de las distintas áreas académicas: venas y arterias; algas/hongos, climas, estados, líneas, ensayo, cuento, novela, deportes, cantidades.
Analizar	Para derivar conjeturas y consecuencias.	El estudio de los hechos dentro de su contexto para elaborar hipótesis	Aprendizaje en cada una de las distintas áreas académicas: partes de un árbol; partes de la oración, elementos de las operaciones básicas, causas de sucesos históricos, etc.
Sintetizar	Precisar el dominio de los resultados. Ofrecer resultados. Al elaborar nuevas preguntas. Al formular nuevos problemas	Al comunicar la información	Aprendizaje en cada una de las distintas áreas académicas: elaboran conclusiones, resúmenes, informes, minutas, etc.
Establecer relaciones	Al interpretar resultados Al relacionar variables Al presentar explicaciones	Al elaborar el plan de acción, pues se relacionan ideas, factores, acciones, recursos.	Relaciona conocimientos previos con los nuevos. Relaciona contenidos de diferentes áreas. Relaciona diferentes contenidos de la misma área académica. Por ejemplo: expone causas (causa-efecto); Clasifica (pertenece a); Diferente de, igual que, mayor o menor que, etc.

Anexo 2 Fundamentación del Problema (importancia y justificación)

Figura 7

Justificación



Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 8

Como realizar la justificación



Fuente. Elaboración propia (2025)

Tabla 5

Cómo hacer el marco de referencia

<p>El diseño lo lleva ahora a formular en este nivel el marco de referencia, este es el resultado del planteamiento del problema y objetivos de la investigación. Para formular el marco de referencia primero hay que definir el marco teórico, lo que debe hacer de la forma siguiente:</p>
<p>1. Revise la bibliografía básica con la cual ha definido el tema y planteó el problema de investigación.</p>
<p>2. Seleccione la bibliografía más importante de acuerdo con su asesor e inicie un proceso de lectura que ojalá se traduzca en fichas de lectura y/o resúmenes en las cuales se incluyan los aspectos, según autores más relevantes que tienen relación directa con su objeto de investigación.</p>
<p>3. Tome las fichas de lectura o resúmenes y ensamble sus resultados de tal forma que le quede bien redactado, consistente y homogéneo. No olvide que tiene que utilizar comillas y señale la fuente en la cita respectiva, sea cualquiera el estilo.</p>
<p>4. Para hacer el marco conceptual proceda de la manera siguiente:</p>
<p>5. Seleccione aquellos términos que va a emplear en su trabajo y que puedan crear confusiones por su empleo en el trabajo de investigación.</p>
<p>6. Haga una lista de los términos e inicie una definición de estos. Para ello recuerde el marco teórico definido anteriormente o el concepto que usted tiene sobre uno de los términos.</p>
<p>7. Escriba en forma de glosario cada uno de los términos que considere necesario tomando en cuenta su concepto personal, o el de un autor, en el último caso señale en la cita la fuente respectiva.</p>
<p>8. Ya tiene usted su marco teórico y conceptual.</p>

Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 9

Justificación Investigación



Fuente. (García, 1998)

Figura 10

Marco Teórico

- **¿Qué es el marco Teórico?**, es un compendio de artículos, libros y otros documentos que describen el pasado y estado actual del conocimiento sobre el problema de estudio. Ayuda a documentar cómo nuestra investigación agrega valor a la literatura existente.
 - Proporciona visión sobre donde se sitúa nuestro planteamiento propuesto, dentro del campo del conocimiento en donde nos moveremos. Cómo encaja nuestra investigación en el tema estudiado, nos da ideas nuevas y es útil para compartir descubrimientos recientes de otros investigadores.
 - Tiene dos aspectos:
 - 1) Permite ubicar el tema dentro del conjunto de teorías existentes, para precisar en cual se inscribe y si es algo nuevo o complementario;
 - 2) Describe en forma detallada cada uno de los elementos de la teoría a utilizar y las relaciones de esos elementos (Carlos E. Méndez A.).
-
- **Marco Teórico**, es el fundamento de la investigación, el conjunto de conocimientos vigentes y aceptados por la comunidad científica, para apoyar el estudio a realizar. Si el problema es nuevo, se apoyará en cuanto teoría pueda sustentarlo, siendo preciso “modelar” una construcción teórica que respalde el estudio.
 - El termino es una metáfora, alude a que el problema y el tema de investigación tienen sustento en una teoría
 - Otros aspectos relacionados al Macro Teórico son:
 - los antecedentes de la investigación,
 - el marco conceptual y
 - el marco histórico.
 - Si **el problema**, se le entiende con la descripción de la realidad donde acontece, se amplía su comprensión con el contexto del conocimiento científico, **el marco teórico**, que es la referencia, el contexto mayor del problema. Se integran así los conocimientos (teoría) con los fenómenos relacionados a ella (realidad)

Fuente: (García, 1998)

Figura 11

Hipótesis Conceptual

- **El marco Conceptual**, conjunto de conceptos que sustentan teóricamente el problema.
- Expresión metafórica, de que el problema está incluido en el contexto de un conjunto de conceptos para apreciarlo mejor.
- Su presentación sigue procedimiento lógico,
 - se definen términos básicos involucrados en las variables,
 - Los objetivos o en el marco teórico;
 - luego, precisar y organizar ideas para captar relaciones en la realidad a investigar
- Definición es importante para eliminar ambigüedades, y comprender la teoría que sustenta el tema y problema de investigación,
- Para elaborar Marco Conceptual: seleccionar y definir términos, que aparecen en el tema y problema que ameritan definición, al igual que los supuestos que subyacen a la teoría
- La definición debe ser afirmativa, expresar características comunes de hechos o fenómenos del genero próximo y las no comunes, claras, breves, precisas, para ser entendidas por la comunidad científica, sin tautológicas.

Fuente: (García, 1998)

Figura 12

Funciones del marco Conceptual



Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 13

Como hacer el marco de referencia

<p>El diseño lo lleva ahora a formular en este nivel el marco de referencia, este es el resultado del planteamiento del problema y objetivos de la investigación. Para formular el marco de referencia primero hay que definir el marco teórico, lo que debe hacer de la forma siguiente:</p>
<p>9. Revise la bibliografía básica con la cual ha definido el tema y planteó el problema de investigación.</p>
<p>10. Seleccione la bibliografía más importante de acuerdo con su asesor e inicie un proceso de lectura que ojalá se traduzca en fichas de lectura y/o resúmenes en las cuales se incluyan los aspectos, según autores más relevantes que tienen relación directa con su objeto de investigación.</p>
<p>11. Tome las fichas de lectura o resúmenes y ensamble sus resultados de tal forma que le quede bien redactado, consistente y homogéneo. No olvide que tiene que utilizar comillas y señale la fuente en la cita respectiva, sea cualquiera el estilo.</p>
<p>12. Para hacer el marco conceptual proceda de la manera siguiente:</p>
<p>13. Seleccione aquellos términos que va a emplear en su trabajo y que puedan crear confusiones por su empleo en el trabajo de investigación.</p>
<p>14. Haga una lista de los términos e inicie una definición de estos. Para ello recuerde el marco teórico definido anteriormente o el concepto que usted tiene sobre uno de los términos.</p>
<p>15. Escriba en forma de glosario cada uno de los términos que considere necesario tomando en cuenta su concepto personal, o el de un autor, en el último caso señale en la cita la fuente respectiva.</p>
<p>16. Ya tiene usted su marco teórico y conceptual.</p>

Fuente. Elaboración propia (2025)

Marco referencial

comprende una revisión de los trabajos previos realizados sobre el problema en estudio y/o de la realidad contextual en la que se ubica. Dependiendo de la naturaleza del Trabajo o la Tesis, el Marco Teórico o Marco Referencial puede comprender aspectos teóricos, conceptuales, legales, situacionales de la realidad objeto de la investigación u otros según convenga al caso.

Es aquí donde usualmente se explican los conceptos y términos relacionados con el problema en estudio. Sin embargo, si resultara más conveniente por el enfoque de investigación adoptado, estas definiciones pueden presentarse en el capítulo de la metodología o en un glosario anexo.

Hipótesis

Son proposiciones anunciadas que ayudan a responder de manera tentativa un problema, además puede ser puesta a prueba para determinar su validez y se pueden desarrollar desde distintos puntos de vista, está puede estar basada en una conjetura, en el resultado de otros estudios, en la posibilidad de una relación semejante entre dos o mas variables representadas en un estudio, o puede estar basada en una teoría mediante la cual una suposición de proceso deductivo nos lleva a la pretensión de que si se dan ciertas condiciones se pueden obtener ciertos resultados, es decir, la relación causa-efecto.

Las hipótesis realizan las siguientes funciones:

- De explicación inicial. Los elementos de un problema pueden parecer oscuros, por tanto, a través de la formulación de hipótesis podrían completarse los datos, detectando los posibles significados y relaciones de ellos, e introduciendo un orden entre los fenómenos.
- De estímulo para la investigación. Las hipótesis concretan y resumen los problemas encontrados, sirviendo de impulso para la consecución del proceso inquisidor.
- De fuente de metodología. Ésta formulación nos lleva a un análisis de las variables a considerar y, como consecuencia, a los métodos necesarios para controlarlos.
- De criterios para valorar las técnicas de investigación. Con frecuencia las hipótesis establecen en su enunciado algún conjunto de condiciones que hacen posible un juicio crítico sobre los procedimientos técnicos seguidos para satisfacer las condiciones especificadas.
- De principios organizadores. Las hipótesis constituyen principalmente organizadores alrededor de los cuales pueden formarse mayas de relaciones entre los hechos conocidos, pertinentes al problema, y otros no tan directamente conectados.

Anexo 3 Metodología de Investigación

La Metodología de la investigación.

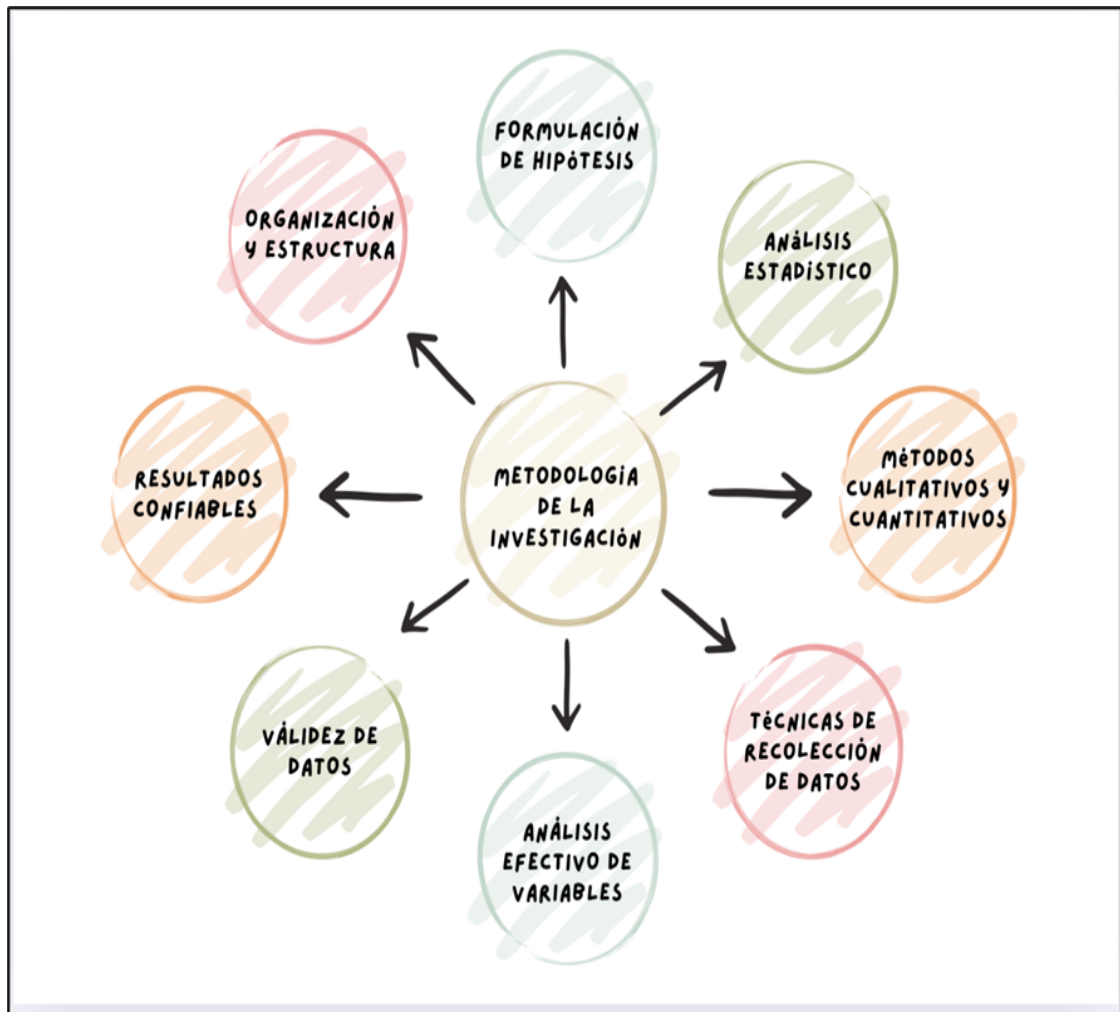
Durante la unidad en comento se presentan aquellos conceptos básicos que ayudarán a comprender cómo se desarrolla una investigación y la importancia que este proceso tiene para la construcción del conocimiento. Se adquirirá un lenguaje conceptual suficiente para comprender el proceso y más adelante para implementarlo en una realidad específica. La metodología de la investigación ofrece al investigador una estructura lógica para profundizar en el conocimiento teórico-práctico o viceversa de una realidad y lo acerca a la solución de los problemas que las sociedades plantean. En esta asignatura se retoman aspectos informativos y teóricos fundamentales revisados en la materia de Fundamentos de la Investigación, la cual es el antecedente de formación en el tronco básico del plan de estudios, para introducirte en el terreno concreto de la metodología de la investigación en las ciencias sociales, a partir de retomar y enfrentar el problema concreto de construir un objeto de estudio viable.

Eli de Gortari (1970) refiere que método es el procedimiento planeado que se sigue en la actividad científica para descubrir las formas de existencia de los procesos, distinguir las fases de su desarrollo, desentrañar sus enlaces internos y externos, esclarecer sus interacciones con otros procesos, generalizar y profundizar los conocimientos adquiridos de este modo, demostrarlos luego con rigor racional y conseguir después su comprobación en el experimento y con la técnica de su aplicación.

Fuente: (García, 1998)

Figura 11

Beneficios y Componentes de la Metodología de Investigación



Fuente. Elaboración propia (2025)

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 4 Desarrollar una investigación Científica

Investigación Científica

La investigación científica da lugar a la identificación de problemas y a descubrir las interrelaciones entre los fenómenos y variables, para hacer predicciones que permitan estructurar políticas y estrategias de acción, para contribuir al desarrollo teórico de la ciencia social.

La investigación científica "... se plantea como finalidad la descripción, explicación y predicción de los fenómenos" (García y otros, 1996, p. 10 en Rojas S. Raúl. "Proceso de Investigación Científica).

La investigación científica es reflexiva, sistemática y en algunos casos, controlada. Se erige como una forma de plantear problemas y soluciones de manera. Es sistemática, al encajar los problemas o las hipótesis en un marco teórico que funciona como encuadre referencial. Es controlada, en tanto que exige la comprobación o verificación del hecho o fenómeno, que se estudia mediante la confrontación empírica. (García y otros, 1996)

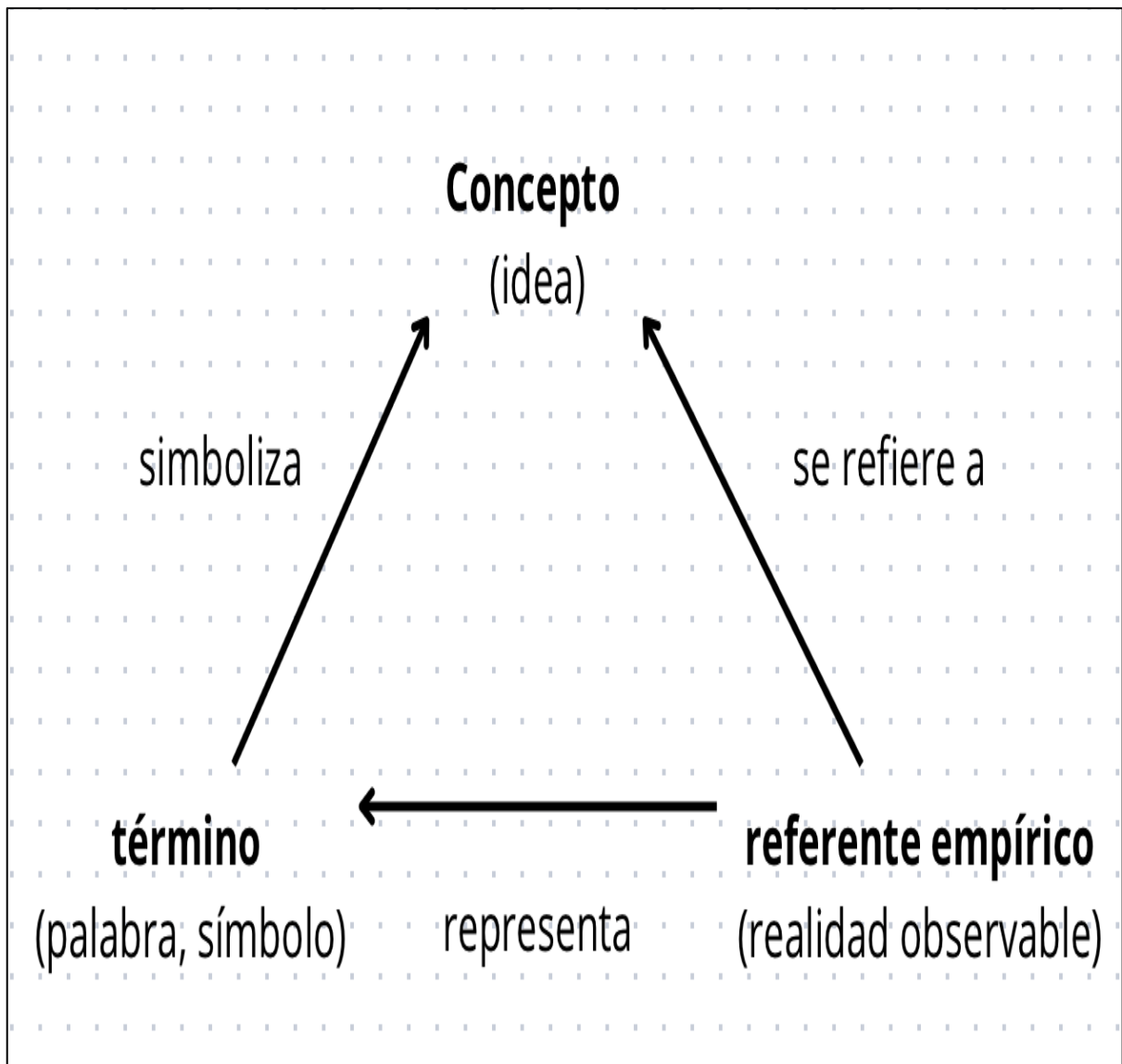
Con base a lo expuesto con antelación, podemos afirmar que toda investigación científica es:

- a. Un proceso teórico-práctico metodológicamente sustentado, porque sigue en la práctica un orden lógico.
- b. Una tarea social, porque responde a las necesidades de una sociedad históricamente determinada. Un proceso de descubrimiento de conocimientos y relaciones, pues ésta tiene como finalidad: conocer, descubrir, inventar y modificar.
- c. Un medio para construir hipótesis.

Conoce más

Figura 14

Diagrama de relación



Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 12

Pasos para realizar una investigación científica



Fuente. Elaboración propia (2025)

PEQUEÑA SEMBLANZA DE LOS PASOS A SEGUIR PARA DESARROLLAR UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

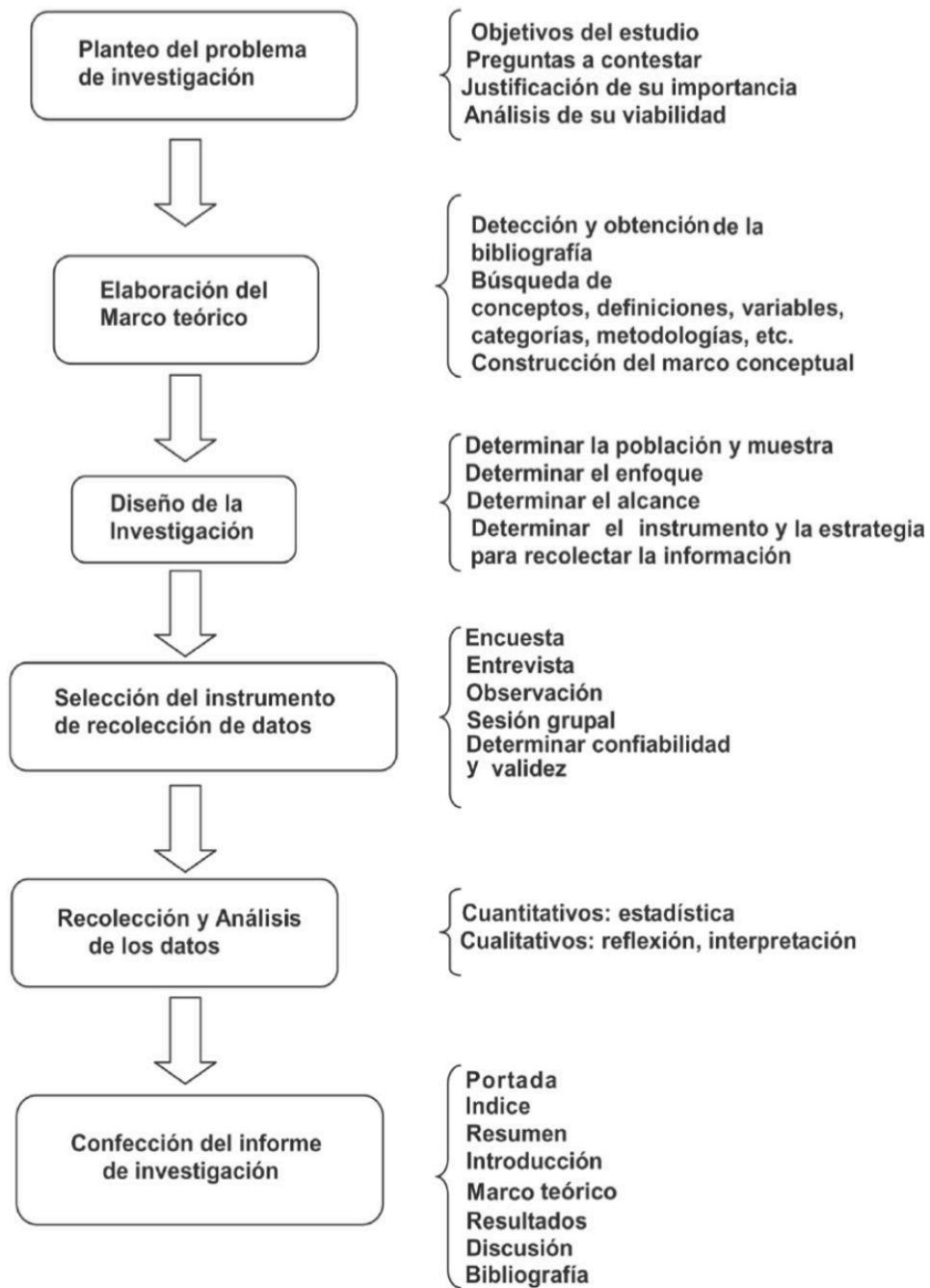


Tabla 6*Cuadro Comparativo Investigación Social y Educativa*

INVESTIGACIÓN SOCIAL	INVESTIGACIÓN EDUCATIVA
Proceso de generación de conocimiento relacionado con la realidad social y el comportamiento humano presente, pasado y futuro.	Todas aquellas acciones de investigación que tienen como fin esclarecer diversos aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje.
Método utilizado por los científicos e investigadores sociales para aprender sobre las personas y las sociedades.	Se extiende al funcionamiento de las instituciones educativas, los métodos de enseñanza, el diseño curricular, los materiales y recursos educativos.
Se centra en el conocimiento y explicación de los comportamientos humanos y de las relaciones existentes en el seno de una sociedad.	Pretende, de manera sistemática, dar respuesta a preguntas, explicación a fenómenos y solución a problemas educativos.
Los comportamientos han de ser necesariamente subjetivos, pues se trata de sujetos y sus formas de proceder y de relacionarse.	<ul style="list-style-type: none"> • Objetividad • Precisión • Verificación • Explicación detallada • Empírica • Razonamiento lógico • Conclusiones provisionales, siempre sujetas a revisión.
El objeto de estudio delimita el fenómeno sobre el que se quiere investigar.	Tiene como fin estudiar la realidad educativa en cualquiera de sus manifestaciones concretas, tomando en cuenta sus características, funcionamiento y efectos.

Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 5 Características de la fundamentación teórica

Figura 15

Características de la fundamentación teórica



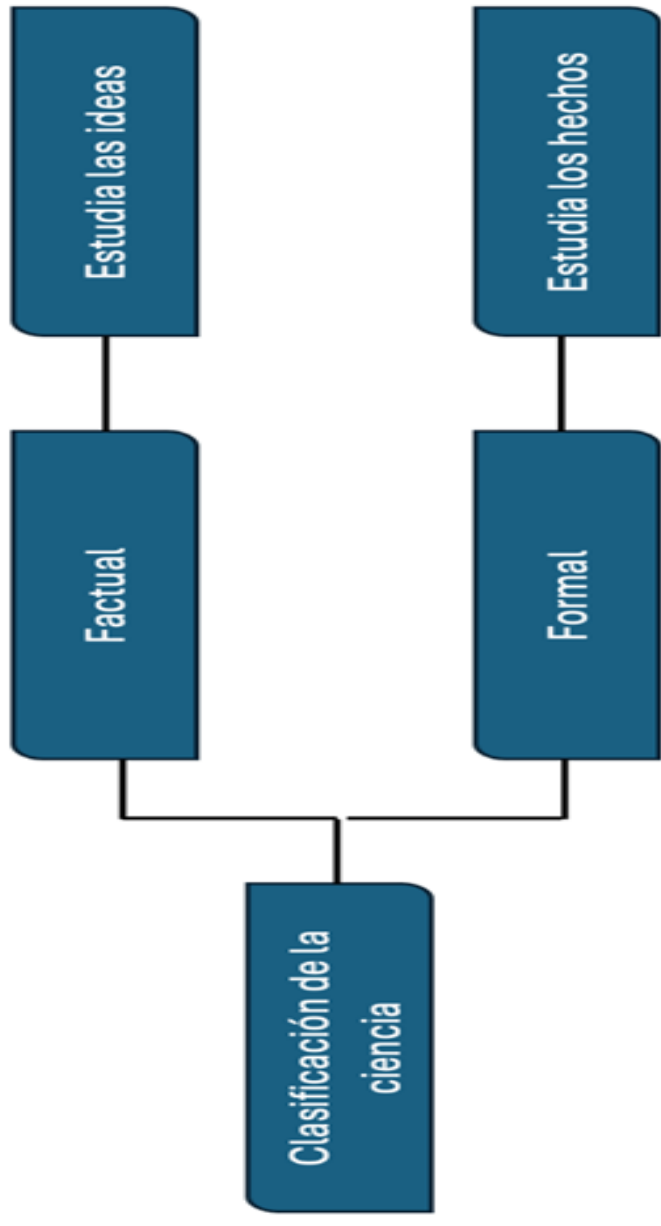
Fuente. Elaboración propia (2025)

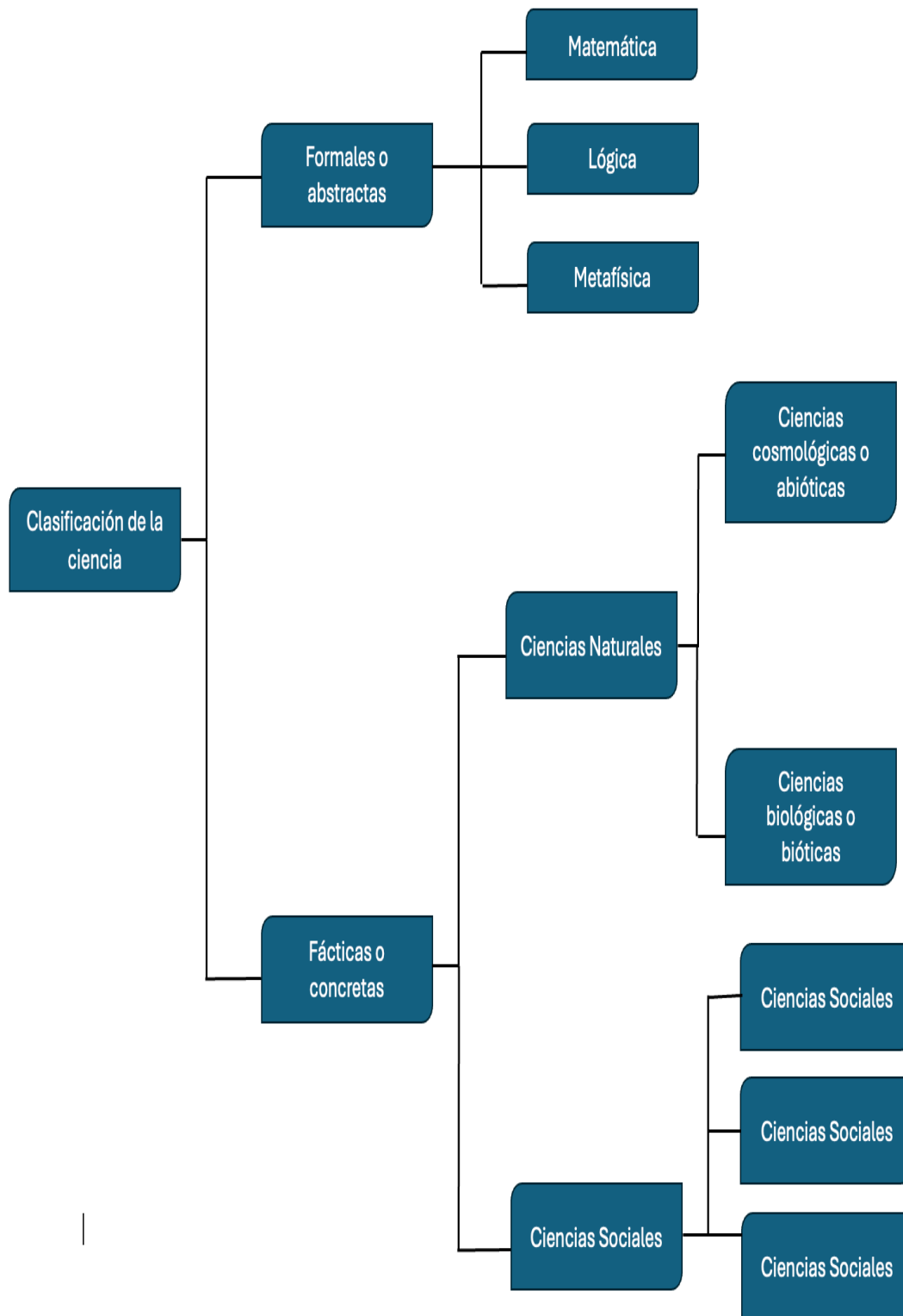
Figura 16

Clasificación de la ciencia

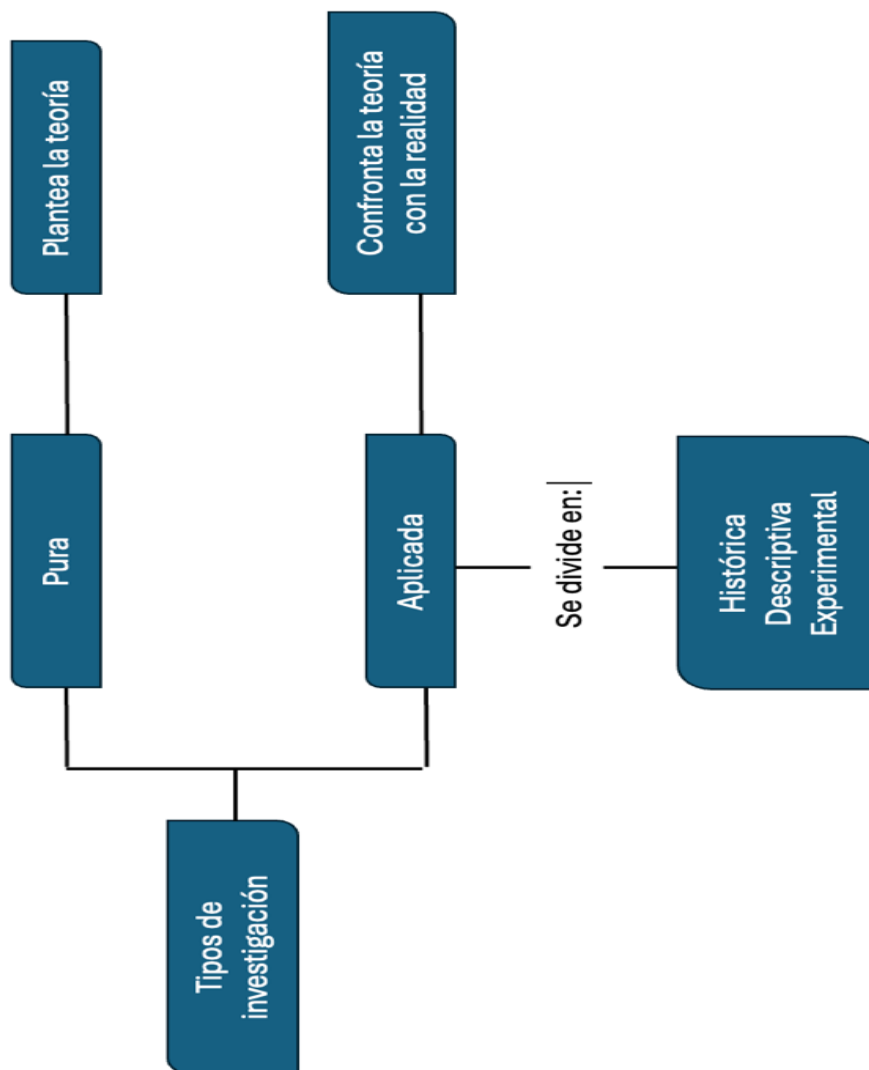


Fuente: diseño propio 2025





Fuente: diseño propio 2025



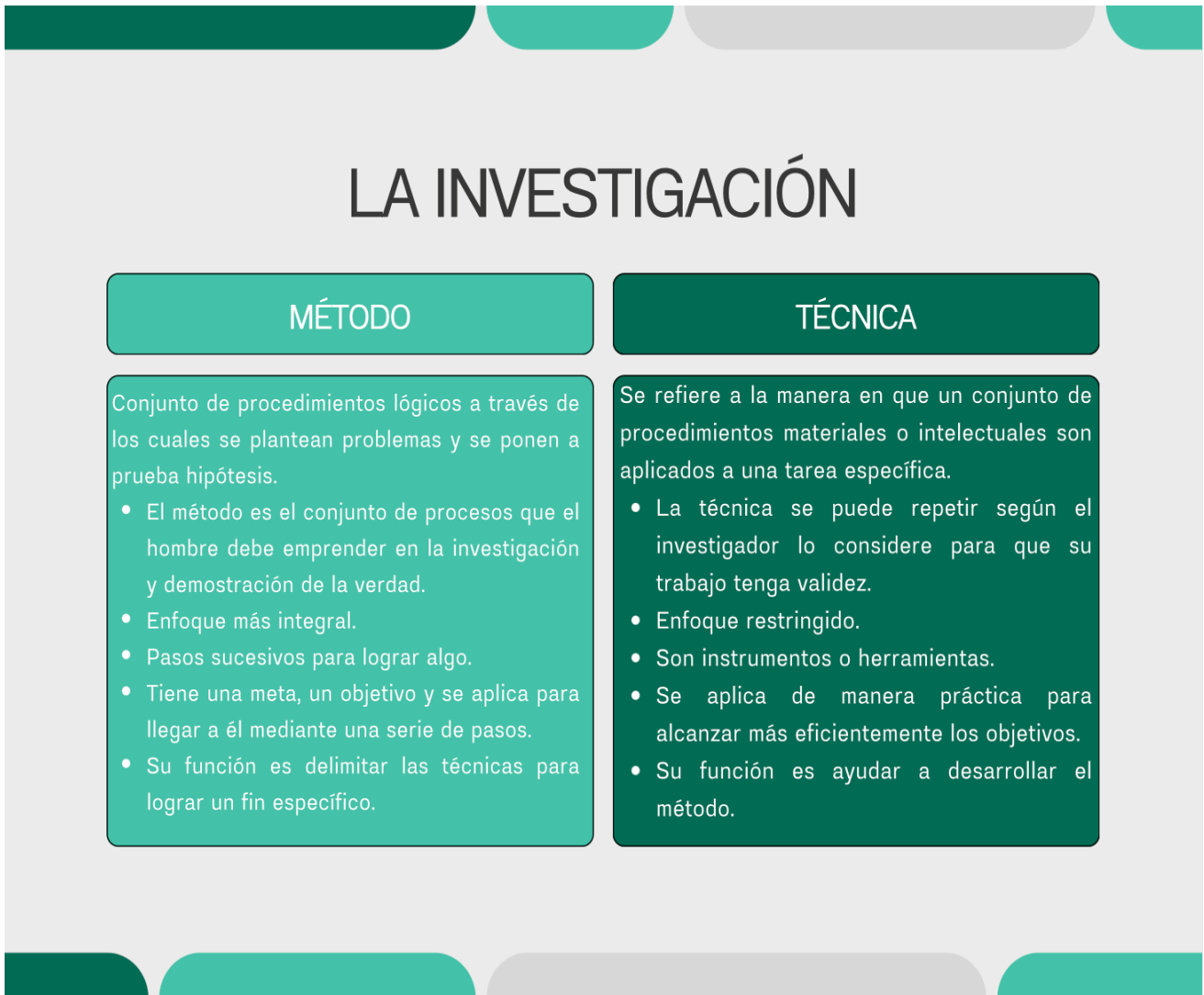
Fuente. Elaboración propia (2025)

Los proyectos de investigación pueden ser clasificados con base en los siguientes criterios: por el propósito, la investigación puede ser básica o aplicada; según los medios usados para obtener los datos, puede ser documental, de campo o experimental; atendiendo al nivel de conocimientos que se adquieren, podrá ser exploratoria, descriptiva o explicativa; dependiendo del campo de conocimientos en que se realiza, es científica o filosófica; conforme al tipo de razonamiento empleado, es espontánea, racional o empírico-racional; acorde con el método utilizado, es analítica, sintética, deductiva, inductiva, histórica, comparativa, etc.; y conforme al número de investigadores que la realizan, es individual o colectiva.

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 6 Características de la fundamentación teórica

Figura 15



Fuente. Elaboración propia (2025)

Tipos de Métodos

2.2.3 Investigación correlacional

La investigación correlacional es una metodología de investigación que se utiliza para analizar la relación entre dos o más variables. En esta metodología, se mide la relación entre las variables sin manipularlas, lo que significa que no se puede establecer una relación causal entre ellas. En este ensayo, se explorará más a fondo el concepto de investigación correlacional, su importancia en la investigación científica y se proporcionarán ejemplos de su uso en diferentes campos y disciplinas.

La investigación correlacional es importante en la investigación científica porque permite a los investigadores explorar la relación entre dos o más variables. La investigación correlacional es útil para identificar posibles relaciones entre variables y para establecer hipótesis para investigaciones posteriores más rigurosas.

2.2.4 Investigación explicativa

La investigación explicativa es una metodología de investigación que se utiliza para explicar la relación causal entre dos o más variables. En esta metodología, se manipula una variable y se mide el efecto sobre otra variable, lo que permite establecer una relación causal entre ellas. En este ensayo, se explorará más a fondo el concepto de investigación explicativa, su importancia en la investigación científica y se proporcionarán ejemplos de su uso en diferentes campos y disciplinas.

La investigación explicativa es importante en la investigación científica porque permite establecer una relación causal entre dos o más variables. La investigación explicativa es útil para identificar causas y efectos, para probar teorías y modelos, y para desarrollar teorías y modelos que explican el fenómeno estudiado.

Anexo 7 Metodología y Materiales

A pesar de los avances tecnológicos en los sistemas de inyección diésel como el Common Rail Direct Injection (CRDI), las emisiones contaminantes, en especial el material particulado (MP), siguen representando un riesgo ambiental y de salud pública. En países en desarrollo como Ecuador, donde circulan vehículos con normativas de emisiones mixtas (EURO II, III y IV), no existe un control homogéneo ni una evaluación precisa sobre la efectividad de dichas tecnologías en condiciones reales de uso y con combustibles disponibles en el mercado local.

Esto genera interrogantes importantes:

- ¿En qué medida las distintas tecnologías CRDI (EURO II, III y IV) contribuyen a la reducción del material particulado?
- ¿Cuál es la influencia de la calidad del combustible en estas emisiones?
- ¿Las normativas superiores (EURO IV) realmente se traducen en menores emisiones bajo condiciones reales?

Actualmente, existe una falta de estudios comparativos a nivel local que permitan evaluar de forma objetiva el comportamiento de estas tecnologías en cuanto a la generación de MP. Esta carencia limita la capacidad de tomar decisiones informadas sobre políticas de renovación vehicular, uso de combustibles o implementación de normas más estrictas de control ambiental.

Alcance

El presente estudio tiene un alcance descriptivo y comparativo, ya que busca analizar, medir y comparar las emisiones de material particulado (MP) en vehículos diésel con tecnología CRDI bajo tres normativas de emisiones: EURO II, EURO III y EURO IV. La investigación se enfoca en condiciones reales de operación y en el contexto ecuatoriano, utilizando combustibles de diferentes marcas disponibles en el mercado nacional.

El análisis se limita a tres vehículos representativos: una Toyota Hilux (EURO II), una Chevrolet D-Max (EURO III) y una Nissan NP300 (EURO IV), todos evaluados mediante el uso de un opacímetro modelo TEM 499TT. Se considerarán variables como el tipo de combustible, las condiciones operativas y la tecnología de inyección, con el objetivo de establecer comparaciones objetivas en cuanto a la generación de material particulado.

Este estudio no busca generalizar los resultados a toda la flota vehicular, sino proporcionar un análisis técnico y ambiental específico que sirva como base para futuras investigaciones, decisiones normativas o estrategias de mejora en el parque automotor diésel del país.

Importancia y Justificación de la Investigación

Justificación teórica

Esta investigación se justifica teóricamente porque se sustenta en el análisis comparativo de conceptos y teorías relacionadas con los sistemas de inyección diésel CRDI y las normativas de emisiones EURO. Aporta al conocimiento científico al profundizar en el comportamiento del material particulado como contaminante clave, considerando la influencia de diferentes tecnologías vehiculares y tipos de combustible. Además, contribuye al desarrollo de la literatura técnica sobre emisiones en condiciones reales de operación, un área en la que existen limitaciones, especialmente en contextos latinoamericanos.

El estudio permite contrastar la eficacia de las normativas EURO en vehículos diésel, validar criterios teóricos sobre la reducción de emisiones y generar insumos que pueden integrarse a investigaciones futuras sobre tecnologías limpias y eficiencia en motores de combustión interna.

Justificación práctica

Desde el punto de vista práctico, esta investigación busca ofrecer soluciones concretas a problemas reales como la contaminación ambiental, la falta de control efectivo sobre las emisiones vehiculares y la desactualización del parque automotor. Al comparar directamente vehículos con distintas normativas EURO utilizando un mismo equipo de medición (opacímetro TEM 499TT) y bajo condiciones controladas, se obtienen resultados útiles para:

Centros de revisión técnica vehicular,
Instituciones de control ambiental,
Gobiernos locales y nacionales,
Usuarios o flotas que deseen adoptar tecnologías menos contaminantes.
Los resultados pueden ser usados para tomar decisiones sobre renovación de vehículos, diseño de políticas de movilidad sostenible, o mejoras en el control de combustibles y emisiones.

Justificación metodológica

La justificación metodológica de este estudio se basa en el diseño experimental aplicado, el cual permite obtener resultados medibles, comparables y replicables. Se utilizaron procedimientos estandarizados para la evaluación de emisiones mediante opacímetro, en vehículos CRDI representativos de tres normativas EURO diferentes, manteniendo constantes ciertas condiciones (ralentí, tipo de medición, kilometraje similar, etc.).

Además, el uso del instrumento TEM 499TT asegura un nivel de precisión adecuado, y la selección de combustibles de distintas marcas comerciales permite incluir un factor realista en el análisis. Esta combinación metodológica innovadora —comparar vehículos normados de forma escalonada bajo condiciones reales— no ha sido suficientemente explorada en estudios locales, lo cual convierte a este trabajo en una propuesta original, útil y metodológicamente válida.

Marco Metodológico

Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección, análisis e interpretación de datos numéricos relacionados con la emisión de material particulado (MP) en vehículos diésel con tecnología CRDI. Se utilizaron instrumentos de medición específicos, como el opacímetro modelo TEM 499TT, que permitió obtener valores objetivos y comparables entre vehículos con normativas EURO II, III y IV.

Asimismo, se trata de una investigación de tipo descriptiva y comparativa, dado que busca caracterizar el comportamiento de las emisiones de cada uno de los vehículos seleccionados, y posteriormente establecer comparaciones entre ellos con base en su tecnología de inyección y su normativa ambiental correspondiente. A través de esta comparación se identifican diferencias significativas que permiten evaluar la eficiencia de cada tecnología en la reducción de emisiones contaminantes.

Además, el estudio posee un carácter aplicado, ya que los resultados obtenidos pueden ser utilizados para tomar decisiones prácticas en diversos ámbitos, tales como la gestión ambiental, el control de emisiones vehiculares, la planificación de políticas públicas sobre movilidad sostenible y la renovación del parque automotor. La información generada puede ser útil para instituciones de control ambiental, centros de revisión técnica, investigadores del sector automotriz y organismos gubernamentales interesados en mejorar la calidad del aire.

En conjunto, este enfoque metodológico permite no solo describir y comparar objetivamente el comportamiento de diferentes tecnologías CRDI frente al material particulado, sino también aportar datos concretos que respondan a necesidades reales del contexto ecuatoriano y regional.

MATERIALES

Equipos y herramientas

- Vehículos evaluados
- Opacímetro Tecnotest TEM 499TT
- Combustible (Diesel)
- Escáner automotriz OBD-II
- Multímetro digital
- Software Microsoft Excel
- Software del opacímetro
- Equipos de protección personal
- Fichas técnicas de los vehículos

Ubicación Geográfica

El estudio se realizará en la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), ubicada en la ciudad de Quito, la cual cuenta con el respectivo equipo de medición, mediante el cual desarrollaremos el estudio.

Figura 17

Ubicación Geográfica de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la UIDE



Fuente: (Google Maps, 2025)

Hipótesis

Se plantea que los vehículos equipados con tecnología CRDI conforme a la normativa EURO IV generan una menor cantidad de material particulado en comparación con aquellos que utilizan tecnologías EURO II y EURO III. Esta diferencia se atribuye a las mejoras en los sistemas de inyección electrónica y los mecanismos de control de emisiones implementados en las tecnologías más recientes, lo que contribuye a una combustión más eficiente y menos contaminante.

Anexo 8 Materiales

Opacímetro Tecnotest TEM 499TT

Para la medición del material particulado presente en los gases de escape de los vehículos evaluados, se utilizó un opacímetro modelo Tecnotest TEM 499TT. Este equipo permite determinar el nivel de opacidad de los gases emitidos por motores diésel, mediante un sistema óptico de medición basado en la absorción de luz. Los resultados se expresan en unidades de opacidad (% de oscurecimiento) o en coeficiente de absorción (m^{-1}), de acuerdo con los estándares establecidos por las normativas de control de emisiones. El opacímetro TEM 499TT es de tipo portátil, de fácil operación y con capacidad para realizar pruebas en ralentí y aceleración libre, lo que lo hace ideal para ensayos comparativos en condiciones de campo. Su uso en esta investigación permitió obtener datos precisos y confiables sobre la cantidad de material particulado emitido por cada uno de los vehículos analizados.

Figura 18

Opacímetro Tecnotest TEM 499TT



Fuente. Elaboración propia (2025)

Tabla 7

Ficha Técnica Opacímetro Tecnotest TEM 499TT

Opacímetro Tecnotest TEM 499TT	
Especificación	Detalle
Modelo	Tecnotest TEM 499TT
Tipo de medición	Opacidad de gases de escape (motores diésel)
Principio de funcionamiento	Absorción de luz / Extinción óptica
Rango de medición	0 – 100 % de opacidad / 0 – 9.99 m ⁻¹ (coef. de absorción)
Resolución	0.1 % / 0.01 m ⁻¹
Fuente de luz	Diodo LED o lámpara halógena (según versión)
Alimentación eléctrica	110/220 V – 50/60 Hz
Consumo eléctrico	30 W aprox.
Dimensiones	23 x 34 x 22.5 cm (unidad de medición)
Peso	5.5 kg aprox.
Interfaz	Puerto RS232 / USB / Bluetooth (según versión)
Software de gestión	Software propietario Tecnotest para análisis de resultados
Temperatura de operación	5 °C a 40 °C
Certificaciones	Cumple normativa ISO 11614 / OIML R99 Clase 0

Fuente. Elaboración propia (2025)

Vehículos utilizados

Para la presente investigación se seleccionaron tres vehículos equipados con sistemas de inyección Common Rail Direct Injection (CRDI), representativos de diferentes niveles tecnológicos según la normativa europea de emisiones. Cada uno de ellos corresponde a una categoría distinta (EURO II, EURO III y EURO IV), lo que permitió establecer una comparativa en cuanto a la generación de material particulado. A continuación, se detallan los vehículos evaluados:

Toyota Hilux – EURO II

La Toyota Hilux evaluada corresponde a una camioneta doble cabina, modelo de principios de la década de 2000, equipada con un motor diésel de 2.5 litros con aspiración natural (sin turbo), sistema de inyección mecánico tipo rotativo y control indirecto del suministro de combustible. Esta versión se rige por la normativa de emisiones EURO II, la cual establece límites más laxos en comparación con estándares posteriores. Debido a su antigüedad y diseño, el vehículo no cuenta con tecnologías modernas de reducción de emisiones, como la válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation) ni sistemas de postratamiento de gases como catalizadores u opacímetros.

Este tipo de configuración fue muy común en los primeros años de los 2000, ya que las normativas internacionales en países de Latinoamérica y otras regiones aún no exigían niveles estrictos de control de emisiones. En este contexto, la Toyota Hilux EURO II se convirtió en una opción popular debido a su simplicidad mecánica y a la facilidad para realizar mantenimientos básicos sin necesidad de equipos de diagnóstico electrónico. Sin embargo, esta misma simplicidad se traduce en una menor capacidad de control sobre la combustión interna y, por ende, en mayores emisiones de contaminantes al medio ambiente.

El sistema de inyección de este modelo opera a presiones relativamente bajas (entre 180 y 300 bar), lo que genera una atomización limitada del diésel y, por tanto, una combustión menos eficiente. Esto se traduce en mayores niveles de emisiones de material particulado (hollín), especialmente durante la aceleración y en condiciones de carga. La ausencia de sensores electrónicos y controladores en tiempo real reduce la capacidad de gestión del motor ante diferentes condiciones operativas. Este vehículo representa una tecnología ampliamente difundida en mercados en desarrollo, donde aún se mantienen en circulación unidades sin sistemas avanzados de control de emisiones.

A pesar de estas limitaciones, la Hilux EURO II es reconocida por su durabilidad, ya que al no depender de componentes electrónicos sofisticados, presenta una menor probabilidad de fallas en condiciones adversas. Este aspecto la ha mantenido vigente durante años en actividades agrícolas, de transporte rural y en sectores donde se requiere un vehículo resistente y confiable, aunque con un impacto ambiental mayor en comparación con modelos más recientes. La falta de dispositivos de reducción de emisiones significa que el nivel de gases contaminantes emitidos, como hidrocarburos no quemados y partículas sólidas, puede ser considerablemente alto en relación con los estándares actuales, lo cual explica por qué este tipo de vehículos es objeto de análisis en estudios comparativos de emisiones.

Figura 19

Toyota Hilux – EURO II



Fuente: (Motor en detalle, 2006)

Tabla 8*Ficha Técnica Toyota Hilux – EURO II*

Toyota Hilux (EURO II)	
Especificación	Detalle
Marca / Modelo	Toyota Hilux
Año de fabricación	Aproximadamente 2003–2007
Tipo de combustible	Diésel
Normativa de emisiones	EURO II
Tipo de inyección	Mecánica, rotativa (baja presión)
Cilindraje	2.5 L
Potencia estimada	75–85 hp
Turbo alimentación	No
Sistema EGR	No
Filtro de partículas (DPF)	No
ECU y sensores	No posee
Sistema OBD	No disponible
Peso vehicular	~1,800 kg

Fuente. Elaboración propia (2025)

Chevrolet D-Max – EURO III

La Chevrolet D-Max utilizada en el estudio está equipada con un motor diésel de 3.0 litros turboalimentado e intercooler, con sistema de inyección electrónica Common Rail Direct Injection (CRDI). Este sistema opera a presiones superiores (alrededor de 1,200 a 1,600 bar) y permite una inyección múltiple de combustible por ciclo, con una gestión más precisa de los tiempos y volúmenes de inyección. Esto favorece una combustión más eficiente y una reducción parcial del material particulado.

La incorporación de la tecnología CRDI marcó un cambio significativo respecto a los sistemas mecánicos convencionales. Al trabajar con presiones elevadas y controlar electrónicamente la inyección, se logra una pulverización más fina del combustible, lo cual mejora la homogeneidad de la mezcla aire–combustible dentro de la cámara de combustión. Como consecuencia, la combustión es más completa, se reduce la generación de hollín y se optimiza el consumo de combustible. Esta innovación permitió que vehículos como la Chevrolet D-Max cumplieran con normativas de emisiones más estrictas, manteniendo a la vez un buen rendimiento y potencia del motor, algo esencial para aplicaciones comerciales y de transporte de carga.

Esta versión cumple con la normativa EURO III, la cual impone límites más estrictos respecto a emisiones en comparación con la norma EURO II. El vehículo cuenta con válvula EGR activa, que permite recircular parte de los gases de escape hacia la admisión para reducir la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x) y, en ciertos casos, disminuir también la temperatura de combustión. Sin embargo, este modelo aún no incorpora sistemas de filtrado de partículas (DPF), por lo que, aunque presenta mejoras en la gestión de emisiones, sigue emitiendo una cantidad considerable de material particulado, especialmente en condiciones de carga o aceleración súbita.

Cabe destacar que, en su contexto tecnológico, el cumplimiento de la normativa EURO III representaba un avance relevante en términos de control ambiental. Si bien no alcanzaba los niveles de exigencia de los estándares EURO IV y posteriores, introducía un equilibrio entre el desempeño del motor y la reducción de contaminantes. La adición de la válvula EGR y del sistema CRDI colocaba a la D-Max en un punto intermedio: con menores emisiones que los vehículos EURO II, pero aún sin los sistemas de postratamiento avanzados que se popularizarían años después.

El sistema de diagnóstico a bordo (OBD) permite el monitoreo de variables operativas y códigos de falla relacionados con el sistema de inyección y emisiones. Esta capacidad de diagnóstico fue aprovechada en la presente investigación para verificar el estado de los sensores y validar las condiciones de prueba. Además, el OBD representa una herramienta esencial en la transición hacia vehículos más modernos, ya que posibilita identificar de manera rápida cualquier desviación en los parámetros de funcionamiento. De esta manera, se asegura que el motor opere bajo las condiciones previstas de eficiencia y emisiones, aportando confiabilidad a los resultados obtenidos durante la experimentación.

Figura 20

Chevrolet D-Max – EURO III



Fuente: (EcuAuto, 2017)

Tabla 9*Ficha Técnica Chevrolet D-Max – EURO III*

Chevrolet D-Max (EURO III)	
Especificación	Detalle
Marca / Modelo	Chevrolet D-Max
Año de fabricación	Aproximadamente 2007–2010
Tipo de combustible	Diésel
Normativa de emisiones	EURO III
Tipo de inyección	Electrónica CRDI
Cilindraje	3.0 L
Potencia estimada	130–150 hp
Turbo alimentación	Sí
Sistema EGR	Sí (activo)
Filtro de partículas (DPF)	No
ECU y sensores	Sí
Sistema OBD	Disponible (OBD-II)
Peso vehicular	~1,850 kg

Fuente. Elaboración propia (2025)

Nissan Frontier NP300 – EURO IV

El tercer vehículo evaluado corresponde a una Nissan NP300 con motor diésel de 2.5 litros CRDI, turboalimentado e intercooler, perteneciente a la normativa EURO IV. Este modelo representa una evolución tecnológica importante frente a sus predecesores, al incorporar un sistema de inyección electrónica de alta presión (superior a 1,600 bar), gestión electrónica avanzada, y componentes orientados a la reducción de emisiones contaminantes.

La introducción de la normativa EURO IV a mediados de la década del 2000 significó un endurecimiento considerable en los límites permitidos de contaminantes, particularmente en lo referente a material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx). En este contexto, vehículos como la NP300 se diseñaron para cumplir con dichas exigencias, incorporando tecnologías más sofisticadas que las encontradas en generaciones anteriores. Esto supuso un avance no solo en materia ambiental, sino también en eficiencia del motor, puesto que las presiones de inyección más elevadas y la gestión electrónica permitieron un mejor aprovechamiento del combustible y una respuesta más ágil del motor en diferentes condiciones de operación.

El sistema de inyección permite múltiples fases de inyección por ciclo (pre-inyección, inyección principal y post-inyección), lo que contribuye a una mejor mezcla aire-combustible, una combustión más completa y menores emisiones. Además, el vehículo incorpora un sistema EGR optimizado y un sistema de pre-filtrado de partículas, aunque sin llegar a incluir un filtro de partículas diésel (DPF) como lo exige la normativa EURO V. Estas características permiten reducir de manera significativa la emisión de material particulado en comparación con vehículos EURO II y EURO III.

La ausencia del DPF en este modelo constituye una diferencia clave respecto a estándares más recientes, ya que aunque se alcanzan reducciones notables de contaminantes, el control de partículas no es tan exhaustivo como en las tecnologías que lo incorporan. Aun así, la optimización de la EGR y la precisión del sistema de inyección resultan suficientes para situar a este vehículo dentro de los límites de la normativa EURO IV, consolidando un punto intermedio entre motores con tecnologías básicas de control y los equipados con sistemas avanzados de postratamiento.

La gestión electrónica del motor incluye sensores de presión, temperatura, flujo de aire y posición del pedal, así como una ECU (Unidad de Control Electrónico) que regula todos los parámetros en función de la carga y la demanda. El sistema OBD-II también permite el monitoreo continuo del funcionamiento del motor y los sistemas de emisiones, lo cual facilitó la recolección y verificación de datos durante la ejecución de las pruebas experimentales. Esta capacidad de autodiagnóstico y registro en tiempo real brinda al investigador una ventaja significativa, ya que asegura que las mediciones obtenidas reflejen de manera fiel las condiciones operativas del vehículo.

De esta manera, la Nissan NP300 EURO IV se convierte en un referente de transición hacia tecnologías más limpias, mostrando cómo la industria automotriz avanzó en la reducción de emisiones sin sacrificar el rendimiento ni la durabilidad del motor. Su inclusión en el presente estudio permite establecer un contraste directo con los modelos EURO II y EURO III, evidenciando las mejoras logradas en materia de eficiencia de combustión, control electrónico y mitigación de contaminantes

Figura 21

Nissan Frontier NP300 – EURO IV



Fuente: (Nissan, 2016)

Tabla 10*Ficha Técnica Nissan Frontier NP300 – EURO IV*

Nissan Frontier NP300 (EURO IV)	
Especificación	Detalle
Marca / Modelo	Nissan NP300
Año de fabricación	Aproximadamente 2012–2016
Tipo de combustible	Diésel
Normativa de emisiones	EURO IV
Tipo de inyección	Electrónica CRDI de alta presión
Cilindraje	2.5 L
Potencia estimada	144–160 hp
Turboalimentación	Sí + intercooler
Sistema EGR	Sí (optimizado)
Filtro de partículas (DPF)	Pre-filtro (sin DPF completo)
ECU y sensores	Sí (control en tiempo real)
Sistema OBD	Disponible (OBD-II)
Peso vehicular	~1,850 kg

Fuente. Elaboración propia (2025)

Diesel Premium (Primax)

Durante el desarrollo de las pruebas experimentales, se utilizó diésel comercial suministrado por la estación de servicio Primax Ecuador. El combustible empleado corresponde a la categoría Diésel Premium Bajo Azufre, destinado al uso en vehículos con tecnología diésel moderna, como los sistemas de inyección Common Rail.

La elección de este tipo de combustible no es aleatoria, ya que el bajo contenido de azufre constituye un requisito fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de los motores de última generación y de los sistemas de control de emisiones. El azufre, al estar presente en altas concentraciones, contribuye a la formación de partículas sólidas y genera compuestos que dañan tanto a los componentes del motor como a los dispositivos de postratamiento de gases. Por ello, el uso de diésel bajo en azufre asegura una combustión más limpia, disminuye la formación de hollín y prolonga la vida útil de los sistemas de inyección, válvulas EGR, catalizadores de oxidación e incluso filtros de partículas en los modelos más recientes.

Este tipo de diésel se caracteriza por su bajo contenido de azufre, formulado con una mezcla de diésel fósil y biodiésel en proporción B5 (5 % de biodiésel), cumpliendo con las especificaciones de la normativa ecuatoriana NTE INEN 1489. Su mayor índice de cetano y mejor capacidad de combustión favorecen una reducción en la emisión de material particulado, siendo ideal para motores con normativas EURO III, IV y superiores. Su uso en esta investigación permitió estandarizar las condiciones de prueba y garantizar la calidad del combustible utilizado.

La inclusión de biodiésel en un 5 % responde a políticas energéticas y ambientales implementadas en Ecuador, las cuales buscan fomentar el uso de energías renovables y reducir la dependencia exclusiva de combustibles fósiles. El biodiésel, obtenido principalmente a partir de aceites vegetales, contribuye a mejorar las propiedades de lubricidad del combustible y reduce las emisiones de monóxido de carbono (CO) y material particulado en comparación con el diésel convencional. De esta forma, el diésel B5 no solo se ajusta a la normativa vigente, sino que también representa un paso hacia la diversificación de la matriz energética del país.

Asimismo, el mayor índice de cetano del Diésel Premium Bajo Azufre permite una ignición más rápida y estable, lo cual se traduce en un arranque más suave del motor, reducción de ruidos característicos del encendido en frío y una combustión más completa. Este factor resulta especialmente relevante en las pruebas experimentales, ya que asegura condiciones más controladas y repetibles, disminuyendo la variabilidad de los resultados atribuible a la calidad del combustible.

En este sentido, la utilización de diésel con características uniformes y certificadas garantizó que las diferencias observadas en los niveles de emisiones entre los vehículos evaluados respondieran fundamentalmente a la tecnología de cada motor y no a variaciones en el combustible. Esta estandarización constituye un aspecto esencial en la validez de los ensayos, permitiendo realizar comparaciones confiables entre los resultados obtenidos en los vehículos correspondientes a las normativas EURO II, EURO III y EURO IV.

Figura 22

Diesel Premium (Primax)



Fuente. Elaboración propia (2025)

Tabla 11

Ficha Técnica – Diésel Primax Ecuador (Diésel Premium Bajo Azufre)

Diésel Primax Ecuador	
Especificación	Valor / Rango
Tipo de combustible	Diésel Premium Bajo Azufre (Primax Ecuador)
Contenido de azufre	Máximo 50 ppm (partes por millón)
Índice de cetano	Mínimo 51
Punto de inflamación	≥ 55 °C
Densidad a 15 °C	820 – 860 kg/m ³
Viscosidad a 40 °C	2.0 – 4.5 cSt
Contenido de agua y sedimentos	Máximo 0.05 % volumen
Biodiésel (FAME) incluido	5 % (B5)
Norma de calidad	NTE INEN 1489 / ASTM D975
Distribuidor	Primax Ecuador
Aplicación	Motores diésel modernos y convencionales

Fuente. Elaboración propia (2025)

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 9 Promedio de opacidad por normativa EURO

Comparación del promedio de opacidad (m^{-1}) obtenida en vehículos CRDI bajo diferentes normativas de emisiones. Los datos se obtuvieron a partir de tres pruebas por vehículo, utilizando opacímetro TEM 499TT y diésel Primax.

Tabla 12

Promedio de opacidad por vehículo y norma EURO

Vehículo	Norma EURO	Promedio de Opacidad (m^{-1})
Toyota Hilux	EURO II	2.87
Chevrolet D-Max	EURO III	2.21
Nissan NP300 Frontier	EURO IV	1.63

Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 10 Resultados detallados de pruebas por vehículo

Resultados individuales de cada prueba realizada a los tres vehículos evaluados. Se incluye temperatura, opacidad registrada y condiciones de prueba.

Tabla 13

Resultados por prueba

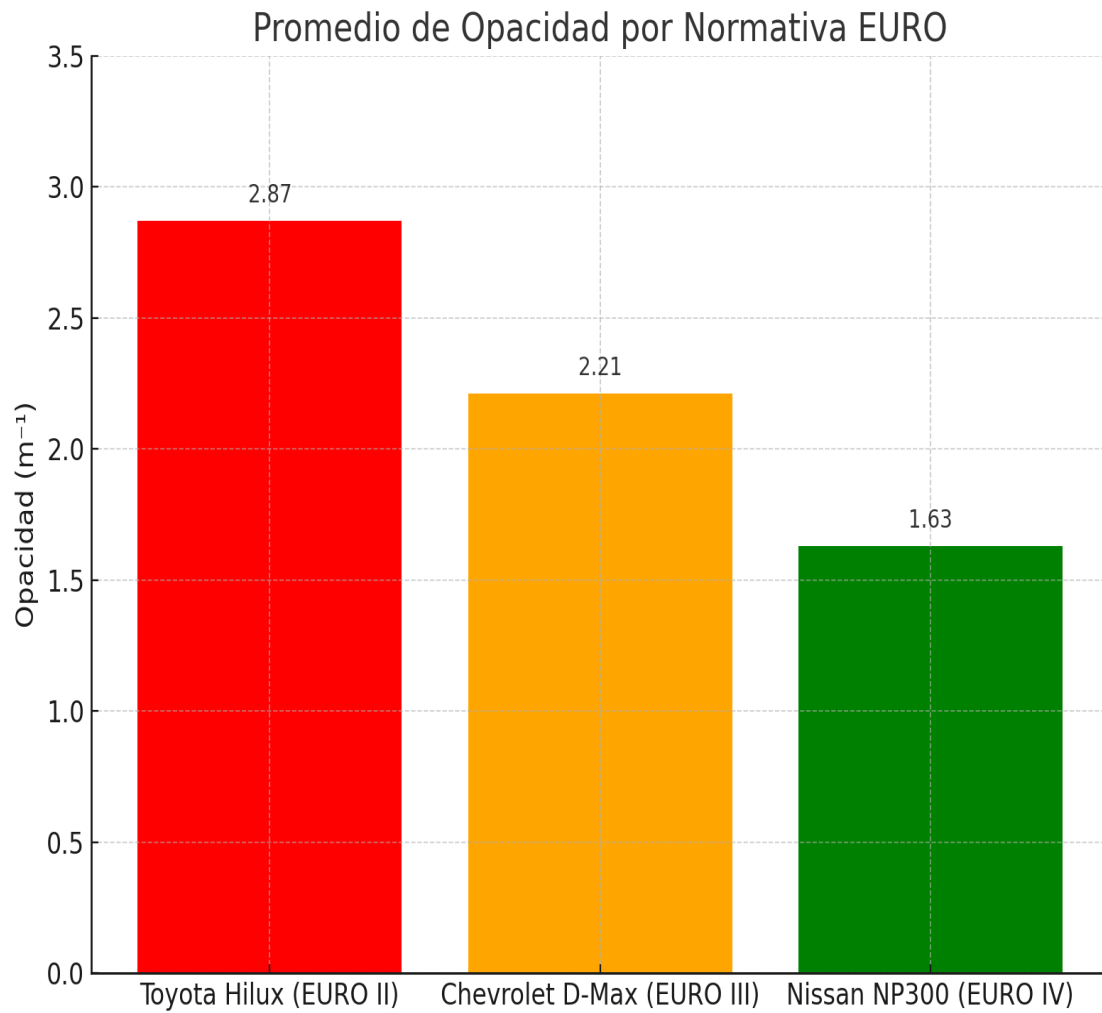
Vehículo	Prueba	Temperatura (°C)	Opacidad (m^{-1})	Combustible utilizado	Observaciones
Toyota Hilux	1	70	2.91	Diésel Primax	Prueba en ralentí
	2	75	2.83	Diésel Primax	Rango medio
	3	80	2.87	Diésel Primax	Aceleración libre
Chevrolet D-Max	1	70	2.10	Diésel Primax	Ralentí
	2	75	2.26	Diésel Primax	Bajo carga parcial
	3	80	2.27	Diésel Primax	Aceleración libre
Nissan NP300 Frontier	1	70	1.60	Diésel Primax	Ralentí
	2	75	1.61	Diésel Primax	Bajo carga
	3	80	1.68	Diésel Primax	Aceleración libre

Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 11 Gráfico comparativo de emisiones

Figura 22

Promedio de opacidad por normativa EURO



Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 12 Análisis de variación de opacidad según temperatura

Este anexo analiza cómo varía la opacidad de los gases de escape en función de la temperatura del motor durante las pruebas. Se observó que, a mayor temperatura operativa, la opacidad tiende a estabilizarse o reducirse levemente, indicando una combustión más completa.

Tabla 14

Opacidad vs. Temperatura

<i>Vehículo</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Opacidad (m⁻¹)</i>
<i>Toyota Hilux</i>	70	2.91
	75	2.83
	80	2.87
<i>Chevrolet D-Max</i>	70	2.10
	75	2.26
	80	2.27
<i>Nissan NP300 Frontier</i>	70	1.60
	75	1.61
	80	1.68

Fuente. Elaboración propia (2025)

La variación de opacidad entre 70 °C y 80 °C es mínima, pero en vehículos más modernos (EURO IV) la estabilidad es más evidente, lo que refleja mejor control electrónico en la gestión de la mezcla aire-combustible.

Anexo 13 Comparación por tipo de tecnología

En este anexo se clasifican los vehículos según su nivel tecnológico en el sistema de inyección y control de emisiones, destacando cómo estas diferencias impactan directamente en la generación de material particulado.

Tabla 15

Tecnología del motor vs. Emisiones

<i>Vehículo</i>	<i>Sistema de Inyección</i>	<i>Sistema EGR</i>	<i>Gestión electrónica</i>	<i>Opacidad promedio (m⁻¹)</i>
<i>Toyota Hilux</i>	<i>Mecánica rotativa</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>2.87</i>
<i>Chevrolet D-Max</i>	<i>Electrónica CRDI</i>	<i>Sí</i>	<i>Parcial</i>	<i>2.21</i>
<i>Nissan NP300 Frontier</i>	<i>Electrónica CRDI (alta)</i>	<i>Sí (mejorado)</i>	<i>Completa</i>	<i>1.63</i>

Fuente. *Elaboración propia (2025)*

Existe una relación directa entre el nivel de sofisticación tecnológica y la reducción de emisiones de material particulado. A mayor control y eficiencia en el sistema de inyección y postratamiento, menor opacidad registrada.

Anexo 14 Rango de valores individuales de opacidad

Este anexo presenta el rango de valores mínimo, máximo y promedio de opacidad obtenidos para cada vehículo en las tres pruebas realizadas. Esta información permite observar la dispersión de los datos y su comportamiento frente a distintas condiciones operativas.

Tabla 16

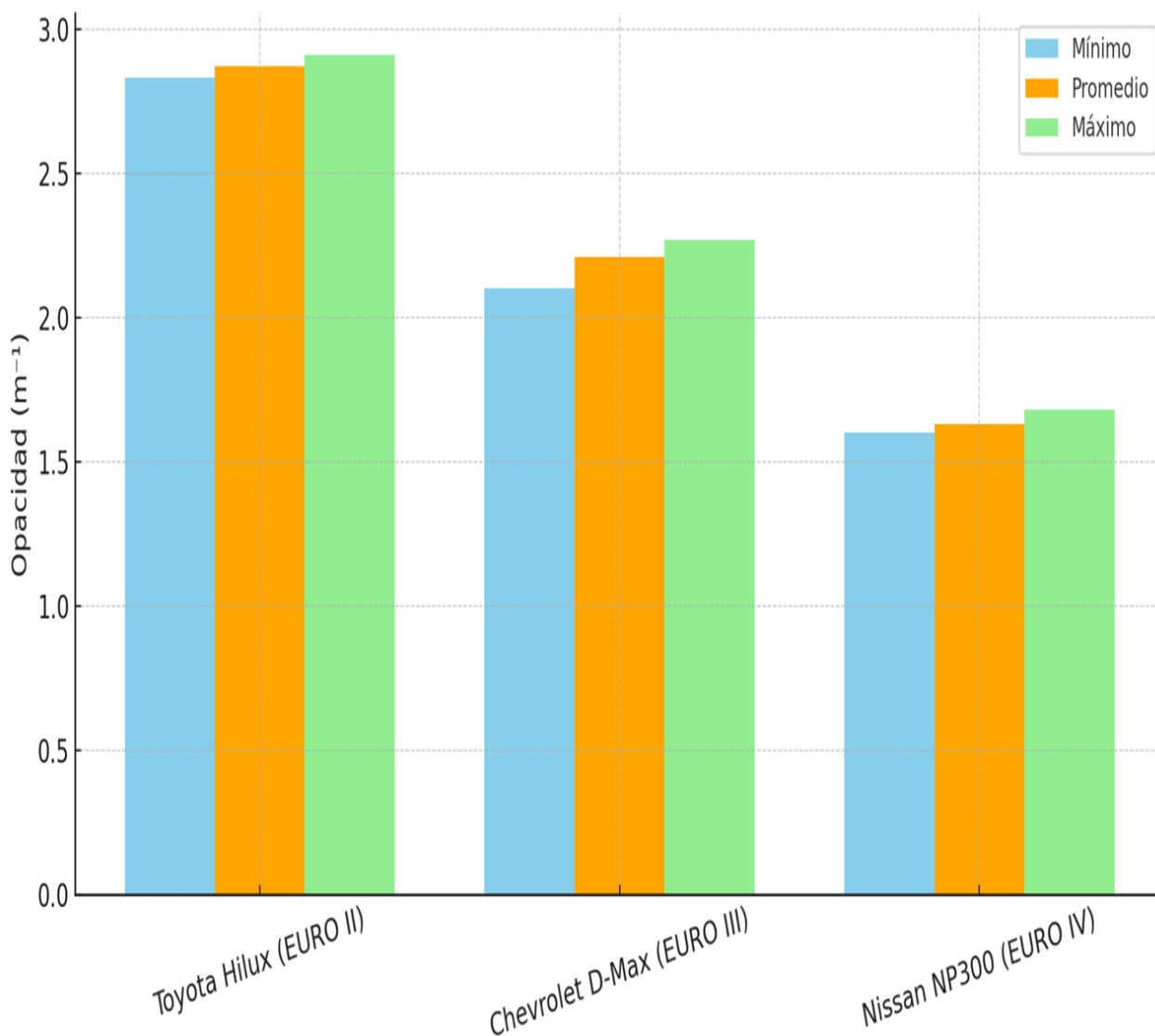
Rango de opacidad por vehículo

<i>Vehículo</i>	<i>Valor mínimo (m^{-1})</i>	<i>Valor máximo (m^{-1})</i>	<i>Promedio (m^{-1})</i>
<i>Toyota Hilux</i>	<i>2.83</i>	<i>2.91</i>	<i>2.87</i>
<i>Chevrolet D-Max</i>	<i>2.10</i>	<i>2.27</i>	<i>2.21</i>
<i>Nissan NP300 Frontier</i>	<i>1.60</i>	<i>1.68</i>	<i>1.63</i>

Fuente. *Elaboración propia (2025)*

Figura 23

Rango de Opacidad por Vehículo (mínimo, promedio, máximo)



Fuente. *Elaboración propia (2025)*

La Nissan NP300 (EURO IV) presentó el rango más bajo y estable, lo que evidencia mayor consistencia en la combustión y menor sensibilidad a cambios de temperatura o carga.

Anexo 15 Reducción porcentual de opacidad entre tecnologías

Se calcula la reducción porcentual de opacidad entre los distintos niveles tecnológicos (EURO II vs. EURO III, y EURO II vs. EURO IV), tomando como base los valores promedio de opacidad. Esto permite cuantificar el impacto de la evolución tecnológica en los niveles de emisiones.

Tabla 17

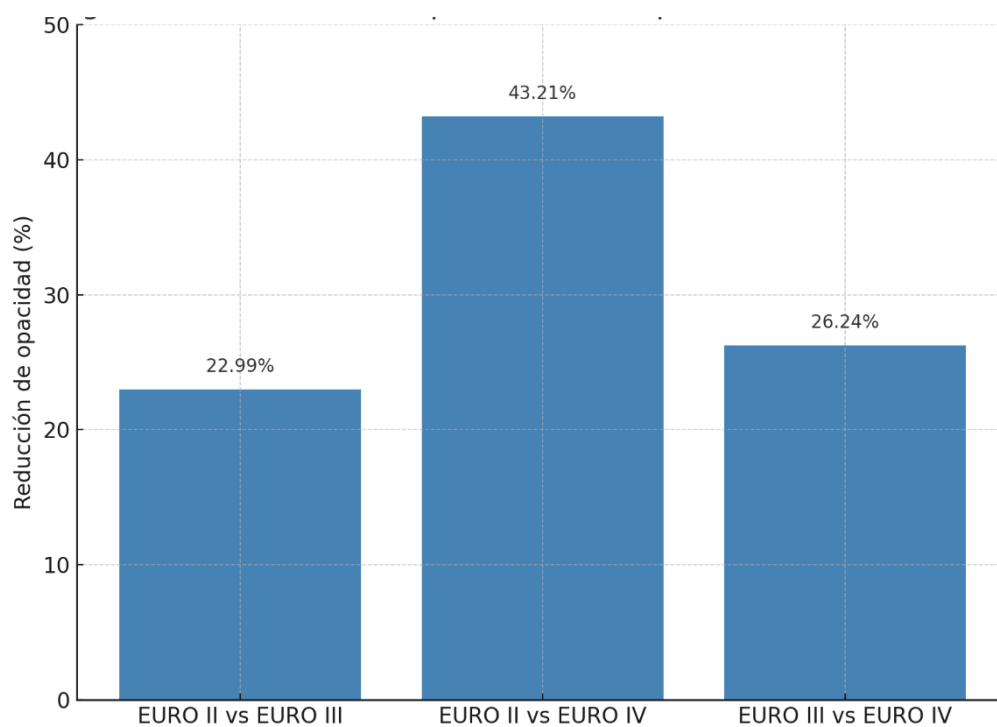
Reducción porcentual entre tecnologías

Comparación	Reducción de opacidad (%)
<i>EURO II vs. EURO III</i>	<i>22.99 %</i>
<i>EURO II vs. EURO IV</i>	<i>43.21 %</i>
<i>EURO III vs. EURO IV</i>	<i>26.24 %</i>

Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 24

Reducción Porcentual de Opacidad entre Normas EURO



Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 16 Relación entre normativa EURO y reducción de MP

Este anexo analiza cómo la evolución de las normativas EURO influye directamente en la disminución de emisiones de material particulado (MP). Se evidencia una relación inversa entre el nivel de la norma y la opacidad medida.

Tabla 18

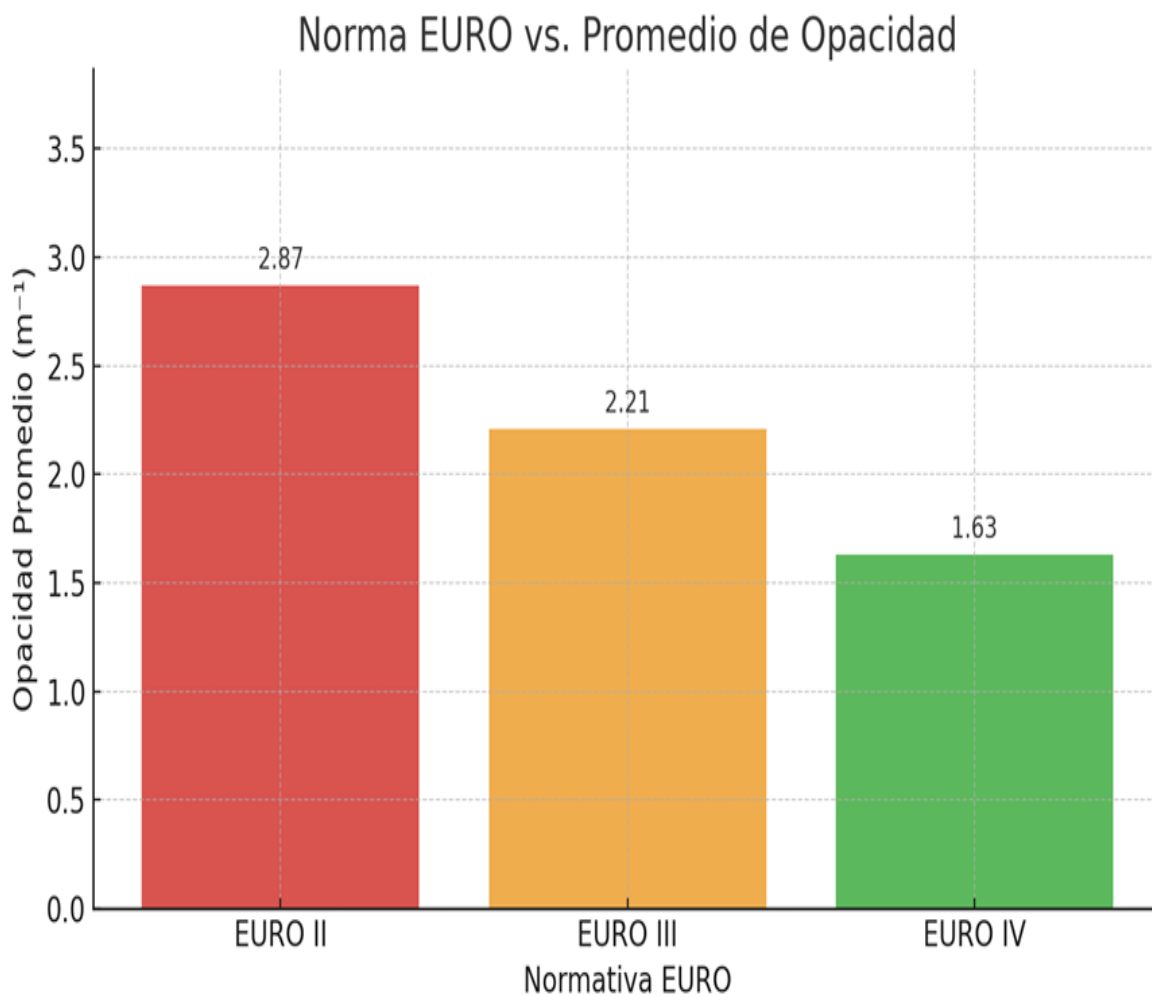
Norma EURO vs. promedio de opacidad

Normativa EURO	Vehículo	Opacidad promedio (m ⁻¹)
EURO II	Toyota Hilux	2.87
EURO III	Chevrolet D-Max	2.21
EURO IV	Nissan NP300 Frontier	1.63

Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 25

Norma EURO vs. promedio de opacidad



Fuente. Elaboración propia (2025)

Los datos muestran una clara tendencia descendente en los valores de opacidad conforme se avanza en el estándar de emisiones. Las tecnologías más modernas incorporan gestión electrónica, EGR optimizada y mejoras en la atomización del combustible, lo cual se traduce en una combustión más limpia.

Anexo 17 Impacto de la temperatura operativa en las emisiones

Se analiza cómo la temperatura del motor influye en la generación de MP. En motores más antiguos (EURO II), el impacto es más variable, mientras que en motores EURO IV, la opacidad se mantiene más constante.

Tabla 19

Temperatura vs. Opacidad

Vehículo	Temp. baja (70 °C)	Temp. media (75 °C)	Temp. alta (80 °C)
Toyota Hilux (EURO II)	2.91	2.83	2.87
Chevrolet D-Max (EURO III)	2.10	2.26	2.27
Nissan NP300 (EURO IV)	1.60	1.61	1.68

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 19 muestra cómo varía la opacidad de los tres vehículos evaluados según la temperatura de operación del motor. Se observa claramente que la Toyota Hilux (EURO II) presenta los valores más altos de opacidad, lo que se relaciona con su sistema de inyección mecánico y la menor eficiencia en la combustión. Los cambios de temperatura entre 70 °C y 80 °C tienen poco efecto sobre sus emisiones, indicando que la tecnología del motor es el factor principal.

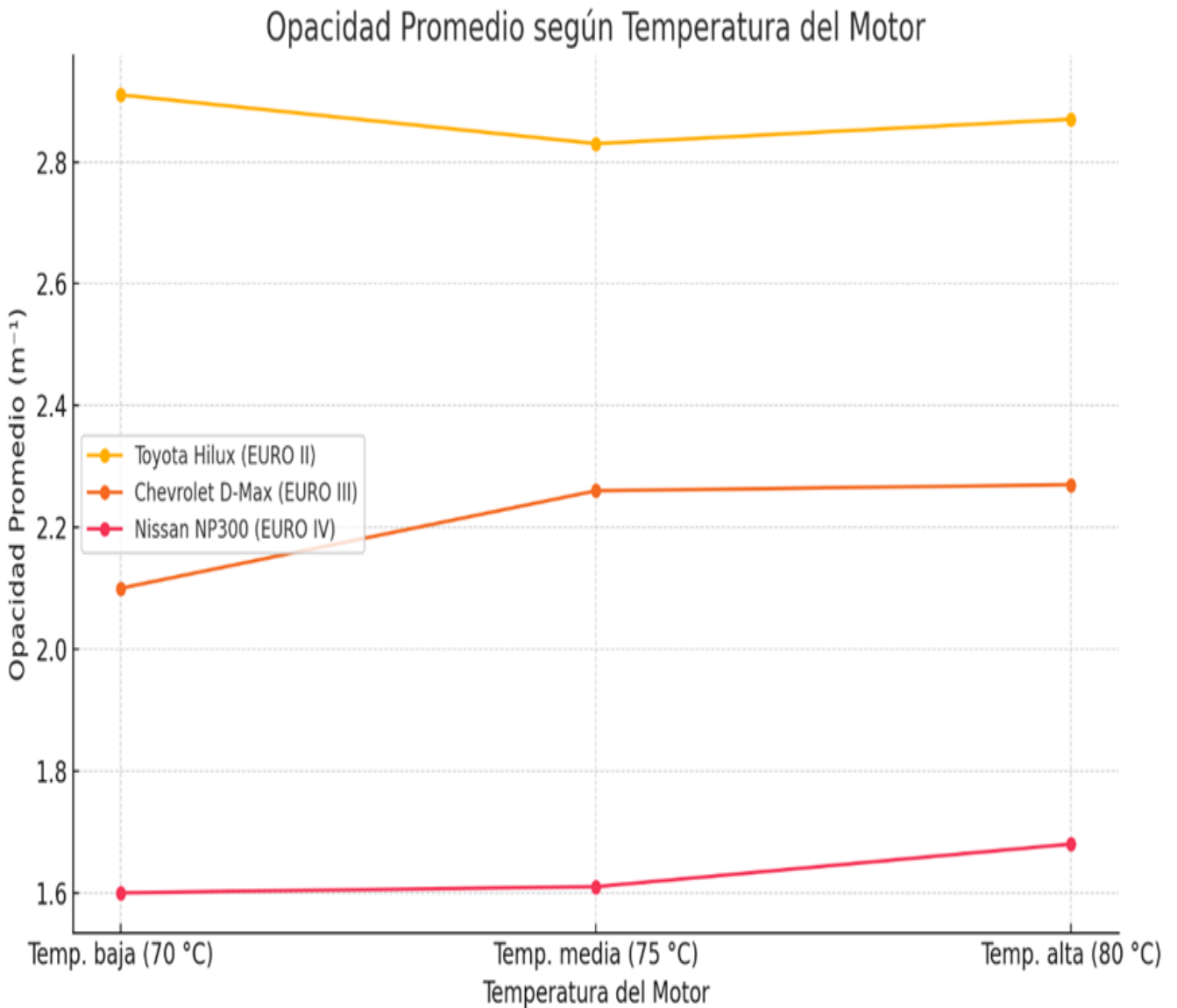
La Chevrolet D-Max (EURO III) presenta valores intermedios, ligeramente superiores a medida que aumenta la temperatura, reflejando la influencia del sistema Common Rail y la válvula EGR, que mejoran la combustión y reducen parcialmente el material particulado.

Por último, la Nissan NP300 (EURO IV) muestra los valores más bajos de opacidad, con diferencias mínimas entre temperaturas, lo que evidencia la eficiencia de su inyección electrónica de alta presión y la gestión avanzada del motor para controlar emisiones.

En general, los datos reflejan una disminución progresiva de opacidad conforme avanza la tecnología y la normativa EURO, confirmando que la incorporación de sistemas electrónicos y estrategias de control de gases permite una combustión más limpia y menores emisiones de material particulado.

Figura 26

Norma EURO vs. promedio de opacidad



Fuente. Elaboración propia (2025)

A mayor temperatura operativa, la combustión tiende a mejorar, pero el efecto es más evidente en motores con tecnología antigua. Los motores modernos logran mantener la opacidad en un rango bajo y estable, gracias a su sistema de gestión más avanzado.

Anexo 18 Influencia del tipo de aceleración en los niveles de MP

Se aplicaron distintos modos de aceleración: progresiva y súbita, para evaluar su impacto en la opacidad registrada.

Tabla 20

Tipo de aceleración vs Opacidad

Vehículo	Aceleración progresiva (m⁻¹)	Aceleración súbita (m⁻¹)
Toyota Hilux	2.62	2.87
Chevrolet D-Max	2.05	2.21
Nissan NP300 Frontier	1.50	1.63

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 20 presenta los niveles de opacidad de los vehículos evaluados en función del tipo de aceleración, comparando aceleraciones progresivas y súbitas. Se observa que la Toyota Hilux (EURO II) registra los valores más altos de opacidad en ambos tipos de aceleración, reflejando la menor eficiencia de su sistema de inyección mecánico y la combustión incompleta característica de motores más antiguos. La opacidad aumenta notablemente durante la aceleración súbita, lo que evidencia la formación de mayor material particulado cuando el motor demanda un mayor flujo de combustible de manera rápida.

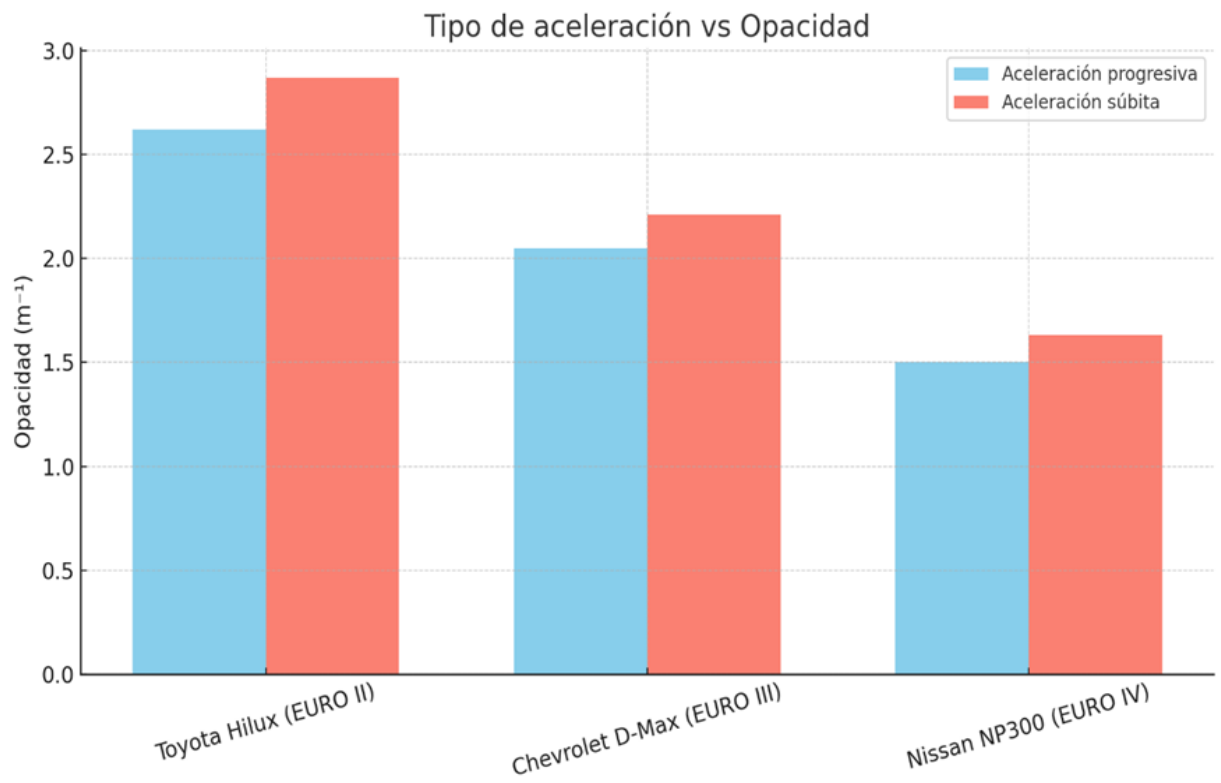
La Chevrolet D-Max (EURO III) muestra valores intermedios, con una ligera diferencia entre aceleración progresiva y súbita, gracias al sistema de inyección electrónica Common Rail y la válvula EGR, que permiten una mejor mezcla aire-combustible y reducción parcial de hollín.

Por su parte, la Nissan NP300 Frontier (EURO IV) registra los valores más bajos de opacidad, con diferencias mínimas entre los tipos de aceleración, lo que evidencia la eficiencia de su inyección electrónica de alta presión y la gestión avanzada del motor.

En general, los datos confirman que la opacidad tiende a aumentar en aceleraciones más agresivas, pero la reducción progresiva de emisiones entre las normas EURO II, III y IV refleja la importancia de la evolución tecnológica en sistemas de inyección y control de gases para lograr una combustión más limpia y menores emisiones de material particulado.

Figura 27

Tipo de aceleración vs Opacidad



Fuente. Elaboración propia (2025)

Anexo 19 Tiempo de respuesta del opacímetro en cada vehículo

Se registró el tiempo que tardó el opacímetro en estabilizar su lectura tras alcanzar el régimen de aceleración libre. Este dato permite evaluar la respuesta dinámica del sistema y la estabilidad de las emisiones.

Tabla 21
Tiempo de estabilización de lectura

Vehículo	Tiempo de respuesta (seg)	Observación
Toyota Hilux (EURO II)	4.2	Lectura inestable
Chevrolet D-Max (EURO III)	3.5	Lectura semiestable
Nissan NP300 (EURO IV)	2.7	Lectura rápida y estable

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 21 muestra el tiempo que tardó cada vehículo en alcanzar una lectura estable del opacímetro tras realizar una aceleración libre. Se observa que la Toyota Hilux (EURO II) requiere el mayor tiempo de estabilización, con 4,2 segundos, y presenta lecturas inestables. Esto refleja la menor eficiencia y control de la combustión en motores más antiguos, donde la inyección mecánica y la ausencia de sistemas electrónicos limitan la uniformidad en la producción de gases de escape.

La Chevrolet D-Max (EURO III) mejora este comportamiento, con un tiempo de respuesta de 3,5 segundos y lecturas semiestables. La mejora se debe al sistema de inyección electrónica Common Rail y a la válvula EGR, que permiten un control más preciso del suministro de combustible y, por lo tanto, una combustión más consistente.

Finalmente, la Nissan NP300 (EURO IV) alcanza la estabilización más rápida, en solo 2,7 segundos, con lecturas rápidas y estables. Esto evidencia la eficiencia de la gestión electrónica avanzada del motor y la alta presión de inyección, que generan emisiones más uniformes y predecibles incluso bajo cambios de régimen rápido.

En general, los resultados muestran que los vehículos modernos logran una respuesta más inmediata y estable en sus emisiones, lo que no solo facilita la medición de parámetros como la opacidad, sino que también refleja un avance en la eficiencia de combustión y en el control de material particulado conforme se avanza en la normativa EURO.

ANEXOS CONCLUSIONES

Anexo 20 Síntesis gráfica de hallazgos clave

Este anexo resume de forma visual los principales hallazgos de la investigación, comparando las tres tecnologías evaluadas (EURO II, III y IV) según cinco criterios.

Tabla 22

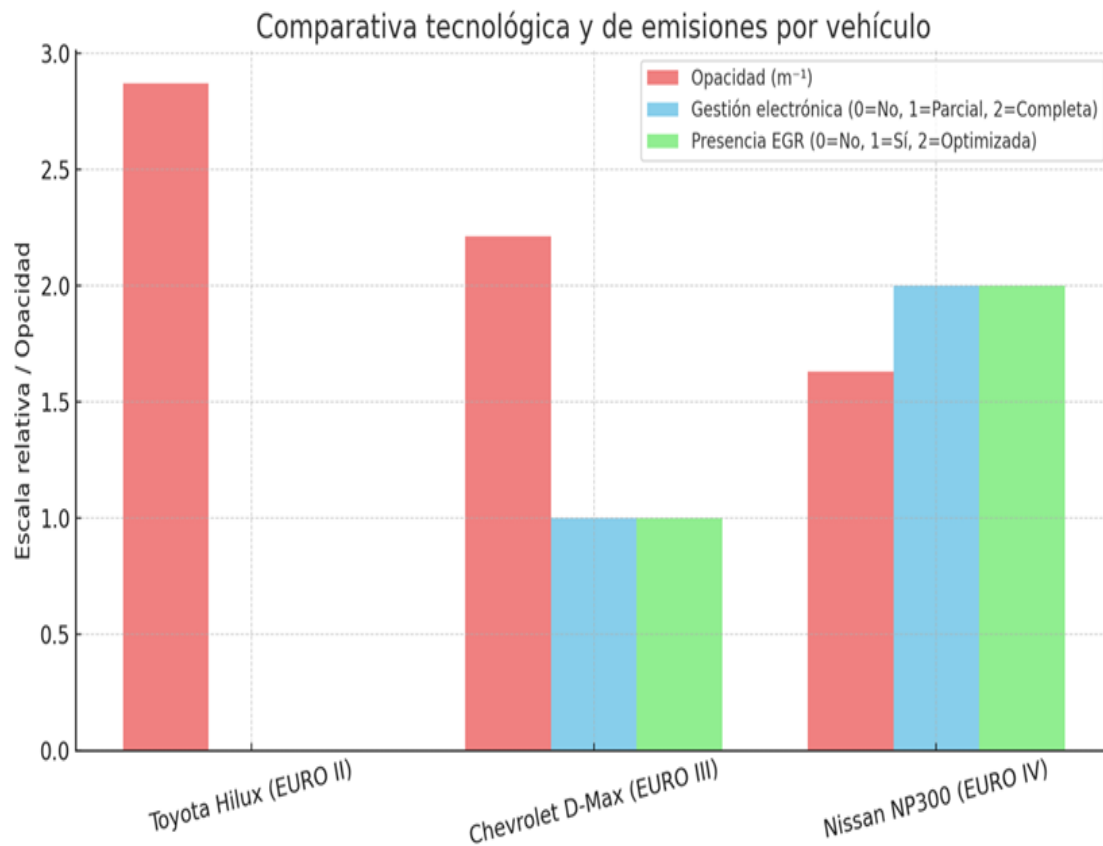
Síntesis gráfica de hallazgos clave

Criterio técnico	EURO II (Hilux)	EURO III (D- Max)	EURO IV (NP300)
Opacidad promedio (m⁻¹)	2.87	2.21	1.63
Sistema de inyección	CRDI	CRDI	CRDI Alta Presión
Gestión electrónica	No	Parcial	Completa
Presencia de EGR	No	Sí	Sí (optimizada)
Nivel de emisiones estimado	Alto	Medio	Bajo

Fuente. Elaboración propia (2025)

Figura 28

Comparativa tecnológica y de emisiones por vehículo



Fuente. Elaboración propia (2025)

La evolución de la tecnología diésel CRDI y la implementación progresiva de las normativas EURO muestran una clara correlación con la disminución del material particulado emitido. A medida que los motores incorporan sistemas de inyección electrónica de alta presión, gestión avanzada de la ECU y dispositivos de control como la válvula EGR y filtros de partículas, la combustión se vuelve más eficiente y uniforme. Esto no solo reduce la formación de hollín, sino que también mejora la estabilidad de las emisiones en distintas condiciones de operación, incluyendo cambios de régimen y aceleraciones súbitas. En consecuencia, los avances tecnológicos y regulatorios han permitido que los vehículos modernos logren menores niveles de opacidad y material particulado, contribuyendo de manera significativa a la protección del medio ambiente y al cumplimiento de estándares internacionales más estrictos.

Anexo 21 Conclusiones operativas por vehículo

Este anexo presenta un resumen de conclusiones individuales extraídas de las pruebas realizadas en cada vehículo.

Tabla 23

Conclusiones operativas por vehículo

Vehículo	Conclusión operativa
Toyota Hilux (EURO II)	Elevada emisión de MP; falta de gestión electrónica y EGR lo hace menos eficiente.
Chevrolet D-Max (EURO III)	Emisiones moderadas; sistema CRDI reduce MP, pero sin filtro de partículas.
Nissan NP300 (EURO IV)	Emisión de MP significativamente reducida gracias a tecnología de control avanzada.

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 23 muestra que la Toyota Hilux (EURO II) presenta las emisiones de material particulado más altas debido a la ausencia de gestión electrónica y EGR, mientras que la Chevrolet D-Max (EURO III) reduce parcialmente estas emisiones gracias al sistema CRDI, aunque aún carece de filtro de partículas. La Nissan NP300 (EURO IV) registra la menor emisión de MP, reflejando la eficiencia de la inyección electrónica avanzada y los sistemas de control de gases. En conjunto, se evidencia cómo la evolución tecnológica y las normativas EURO contribuyen a disminuir las emisiones en vehículos diésel.

Anexo 22 Implicaciones ambientales del material particulado

En este anexo se estiman las implicaciones ambientales del MP según los valores de opacidad obtenidos, tomando en cuenta una media de uso diario de 30 km por vehículo.

Tabla 24

Implicaciones ambientales del material particulado

Vehículo	Emisión relativa de MP (estimada)	Impacto ambiental (referencial)
Toyota Hilux (EURO II)	Alta	Mayor contribución a contaminantes respirables
Chevrolet D-Max (EURO III)	Media	Emisiones más controladas
Nissan NP300 (EURO IV)	Baja	Menor impacto, tecnología más limpia

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 24 muestra cómo las emisiones de material particulado (MP) de los vehículos evaluados se traducen en impactos ambientales. La Toyota Hilux (EURO II) presenta una emisión alta de MP, lo que contribuye significativamente a la presencia de contaminantes respirables y aumenta los riesgos para la salud y el medio ambiente. La Chevrolet D-Max (EURO III) muestra emisiones moderadas, reflejando un mejor control de partículas gracias al sistema CRDI y la válvula EGR, aunque sin un filtro de partículas completo. Finalmente, la Nissan NP300 (EURO IV) registra emisiones bajas de MP, evidenciando un menor impacto ambiental debido a la incorporación de tecnologías avanzadas de control de combustión y gases, que reducen la liberación de contaminantes al entorno.

En conjunto, los datos destacan cómo la evolución de la tecnología diésel y la implementación de normativas EURO contribuyen a disminuir el impacto ambiental de los vehículos, mostrando una clara relación entre avance tecnológico y reducción de emisiones contaminantes.

Anexo 23 Contribución del estudio a futuras investigaciones

Este anexo señala las posibles líneas futuras de investigación que se derivan del presente estudio.

Tabla 25

Contribución del estudio a futuras investigaciones

Área potencial	Recomendación
Combustibles alternativos	Comparar emisiones usando biodiésel puro, HHO o mezclas
Normas más estrictas	Estudiar comportamiento bajo EURO V y VI o equivalentes
Efecto de mantenimiento	Analizar cómo filtros obstruidos o bujías viejas afectan la opacidad
Pruebas en carga real	Medir emisiones en condiciones de trabajo (no solo en ralentí/aceleración libre)

Fuente. Elaboración propia (2025)

La Tabla 25 permite identificar áreas clave para futuras investigaciones derivadas de los resultados obtenidos en este estudio. La evaluación de combustibles alternativos, como biodiésel puro o mezclas con HHO, podría ofrecer información sobre su impacto en las emisiones de material particulado y otros contaminantes. Asimismo, analizar el desempeño de los vehículos bajo normativas más estrictas, como EURO V y VI, contribuiría a comprender la eficacia de tecnologías avanzadas de control de emisiones. El efecto del mantenimiento de los motores, incluyendo filtros obstruidos o componentes desgastados, también representa un factor relevante que puede alterar la opacidad y la eficiencia de combustión. Finalmente, la realización de pruebas en condiciones de carga real permitiría obtener mediciones más representativas del comportamiento del vehículo en situaciones de uso cotidiano, complementando los datos obtenidos en pruebas de aceleración y ralentí.

En conjunto, estos aspectos destacan la importancia de continuar la investigación sobre emisiones de material particulado, integrando variables tecnológicas, normativas y operativas, con el fin de optimizar la eficiencia de los motores diésel y reducir su impacto ambiental.

Anexo 24 Reflexión sobre el rol del control de emisiones en países en desarrollo

Los resultados obtenidos muestran que los avances tecnológicos en los sistemas diésel tienen un impacto directo y medible en la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, en países en desarrollo, muchos vehículos aún operan bajo normativas antiguas (EURO II o sin normativa). Esto plantea una necesidad urgente de:

Actualizar la flota vehicular

Implementar políticas fiscales o técnicas que promuevan vehículos más limpios

Educar al usuario final sobre el impacto del mantenimiento preventivo

Este anexo busca destacar que los resultados de esta investigación no solo son válidos a nivel técnico, sino también social y ambientalmente significativos.

Anexo 25 – Limitaciones y recomendaciones para estudios futuros

Aunque este estudio logró resultados concluyentes, también se identificaron algunas limitaciones:

- El análisis se centró en pruebas estáticas (ralentí y aceleración libre). Sería útil replicar en carga real.
- No se utilizó DPF ni catalizadores SCR en ningún vehículo. Su inclusión aportaría una visión más completa.
- La evaluación del tipo de combustible se limitó al diésel comercial (Primax). Compararlo con biodiésel o HVO sería un aporte valioso.

Futuros estudios pueden ampliar este enfoque midiendo otros contaminantes (NO_x, CO, CO₂) y combinando tecnologías duales.

Anexo 26 Conclusión general técnica del estudio

La presente investigación ha demostrado que el avance tecnológico en los sistemas de inyección diésel CRDI, en conjunto con la evolución normativa de emisiones EURO, influye de manera significativa en la reducción del material particulado emitido por vehículos. A través de pruebas experimentales controladas y medición con opacímetro, se evidenció que:

- La tecnología EURO IV, representada por un sistema CRDI de alta presión con gestión electrónica avanzada y EGR optimizado, redujo la opacidad en más del 40 % respecto al sistema EURO II.
- La opacidad se comportó como un indicador directo de eficiencia de combustión, variando notablemente según el diseño del sistema de inyección, el control de mezcla y las condiciones operativas del motor.
- Los resultados respaldan la necesidad de fomentar la renovación del parque automotor hacia tecnologías más limpias, así como continuar con estudios que integren otras variables contaminantes como NO_x y CO₂ para una evaluación ambiental integral.

Este trabajo no solo aporta datos cuantitativos relevantes, sino que refuerza la relación entre ingeniería aplicada, normativas ambientales y salud pública, y se convierte en una base sólida para futuras investigaciones y decisiones técnicas en el campo automotriz.

Anexo 27 Aporte del trabajo a la ingeniería automotriz

Este trabajo aporta evidencia técnica clara sobre la evolución de las emisiones de MP en función de la normativa EURO, basado en pruebas experimentales con equipos reales y condiciones controladas. Contribuye en:

- La toma de decisiones para políticas públicas de transporte
- El diseño curricular en carreras de ingeniería automotriz
- El fortalecimiento de diagnósticos ambientales desde el taller mecánico

Este anexo posiciona el trabajo no solo como una investigación académica, sino como una herramienta aplicada de alto valor.