



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**  
**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“METODOLOGÍA PARA EL ETIQUETADO DE VEHÍCULOS LIVIANOS  
EN EL ECUADOR EN BASE A SU EFICIENCIA ENERGÉTICA”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible

**AUTOR:**

Carlos Alberto Tocagón Perachimba

**DIRECTOR:**

Ing. Ramiro Andrés Rosero Añasco MSc.

**Ibarra-Ecuador 2025**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004929566		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Tocagón Perachimba Carlos Alberto		
<b>DIRECCIÓN:</b>	González Suarez-Otavalo		
<b>EMAIL:</b>	catocagonp@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	000000000	<b>TELF. MOVIL</b>	0939480395

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Metodología para el etiquetado de vehículos livianos en el Ecuador en base a su eficiencia energética
<b>AUTOR (ES):</b>	Tocagón Perachimba Carlos Alberto
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2025/06/11
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Rosero Añazco Ramiro Andrés MSc.

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de noviembre de 2025

### **EL AUTOR:**

.....

Tocagon Perachimba Carlos Alberto

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 31 de Octubre de 2025

Ing. Ramiro Rosero MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(1) 

*Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.*

C.C.: 1718193616

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Metodología para el etiquetado de vehículos livianos en el Ecuador en base a su eficiencia energética” elaborado por el Sr. Carlos Alberto Tocagón Perachimba, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

Ing. Rosero Añazco Ramiro Andrés MSc.

C.C.: 1718193616

(f): 

Ing. Montenegro Simancas Víctor Javier MSc.

C.C.: 1717035149

## DEDICATORIA

“Lo último que se pierde es la esperanza”

Dedico el presente trabajo a mi madre, María Natividad Perachimba Méndez, por su apoyo incondicional, por su fortaleza y por estar siempre a mi lado. A mi padre, Luis Alberto Tocagón Anrango, por enseñarme a perseverar, a luchar por mis sueños y a mantener siempre una actitud positiva frente a cualquier adversidad. Asimismo, a toda mi familia, por acompañarme en cada etapa de este camino y brindarme su cariño y respaldo durante todo este proceso.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar mi propósito.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por brindarme las herramientas necesarias al colmar mi mente de conocimientos y formarme con valores y aptitudes valiosas para mi vida profesional.

A toda mi familia, mis amigos y profesores, quienes estuvieron a mi lado durante todo este proceso y me acompañaron en cada paso hasta llegar aquí.

Agradezco el acompañamiento del MSc. Ramiro Rosero tutor de mi proyecto, quien me ha dirigido y colaborado en el desarrollo de la tesis.

## RESUMEN EJECUTIVO

EL crecimiento continuo de los vehículos livianos propulsados por motores de combustión interna corresponde a más del 98% del parque automotor de vehículos, y va en aumento. Esto implica un incremento significativo en las emisiones de CO<sub>2</sub>, por ello, es necesario, recurrir en la búsqueda de métodos que prioricen vehículos con sistemas de propulsión eficientes y ayuden a reducir la dependencia de combustibles de origen fósil como el diésel y la gasolina. En este caso, el método a estructurar es el etiquetado de vehículos en base a cuan eficiente es su sistema de propulsión, basado en promedios de consumo energético en kWh/100km y rendimiento en km, tomando en cuenta aspectos como el tipo de sistemas de control de emisiones que se encuentran como los más vendidos en el mercado automotriz ecuatoriano, y le nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> que producen cada uno de ellos.

El estudio reveló que actualmente los vehículos livianos tienen un consumo energético promedio de 71 kWh/100km o lo que se traduce en 42 km/GAL, si hablamos de rendimiento. Del mismo modo se pudo obtener que en promedio un vehículo liviano emite 178 gCO<sub>2</sub>/km, el cual es valor estimado a través del proceso de combustión de un combustible, en este caso la gasolina. Finalmente se establecieron rangos de consumo y emisiones en base a estos valores, para poder llevar a cabo una calificación que va desde el 1 hasta el 10, siendo el ultimo la mejor calificación a obtener para un vehículo, considerado muy eficiente, además de que en base a estas tablas se pueden llevar a cabo restricciones e incentivos fiscales que priorizan grupos que realmente requieren de ellos.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, vehículos livianos, consumo de combustible, emisiones de CO<sub>2</sub>, rendimiento de combustible, etiquetado de vehículos, parque automotor.

## ABSTRACT

The continuous growth of light vehicles powered by internal combustion engines accounts for more than 98% of the vehicle fleet, and this figure continues to rise. This implies a significant increase in CO<sub>2</sub> emissions; therefore, it is necessary to seek methods that prioritize vehicles with efficient propulsion systems and help reduce dependence on fossil fuels such as diesel and gasoline. In this case, the method to be structured is the labeling of vehicles based on how efficient their propulsion system is, using average energy consumption values in kWh/100 km and fuel efficiency in kilometers, while considering factors such as the types of emission control systems most commonly sold in the Ecuadorian automotive market and the level of CO<sub>2</sub> emissions each of them produces.

The study revealed that light vehicles currently have an average energy consumption of 71 kWh/100 km, which translates to 42 km/gallon in terms of fuel efficiency. Similarly, it was determined that, on average, a light vehicle emits 178 gCO<sub>2</sub>/km, a value estimated through the combustion process of gasoline fuel. Finally, consumption and emission ranges were established based on these values to develop a rating scale from 1 to 10, with the highest score representing the most efficient vehicles. Moreover, these tables can serve as the basis for designing restrictions and fiscal incentives that prioritize groups that genuinely require them.

**Keywords:** Energy efficiency, light vehicles, fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions, fuel efficiency, vehicle labeling, vehicle fleet.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	17
INTRODUCCIÓN .....	17
1.1.    Problema de investigación. ....	17
1.2.    Objetivos .....	18
1.1.2.    Objetivo general.....	18
1.2.2.    Objetivos específicos .....	18
1.3.    Formulación del problema de investigación. ....	19
1.4.    Justificación .....	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.    Antecedentes .....	21
2.2.    Parque automotor ecuatoriano .....	23
2.1.2.    Edad .....	24
2.2.2.    Ventas de vehículos nuevos .....	25
2.3.2.    Carga tributaria .....	27
2.4.2.    Subsidios .....	29
2.5.2.    Consumo de energía.....	30
2.3.    Trenes de potencia .....	31
2.1.3.    Vehículos convencionales .....	32
2.1.3.1.    Motor térmico de combustión interna.....	32

2.2.3.1.	Motor de encendido provocado .....	34
2.3.3.1.	Motor de encendido por compresión .....	37
2.4.3.1.	Parámetros efectivos .....	39
2.1.3.1.	Sistemas de control de emisiones .....	40
2.2.3.	Vehículos eléctricos .....	41
2.1.3.2.	Motores eléctricos .....	42
2.2.3.2.	Batería de alto voltaje .....	44
2.3.3.2.	Tipos de baterías .....	45
2.3.3.	Vehículos híbridos.....	46
2.1.3.3.	Motor Atkinson .....	47
2.2.3.3.	Microhíbridos.....	48
2.3.3.3.	Híbridos suaves.....	49
2.4.3.3.	Híbridos completos .....	50
2.5.3.3.	Híbrido enchufable.....	51
2.6.3.3.	Eléctrico de rango extendido .....	52
2.4.	Eficiencia energética .....	53
2.1.4.	Indicadores.....	53
2.2.4.	Eficiencia de los trenes de potencia .....	54
2.1.4.2.	Tecnologías que mejoran la eficiencia .....	56
2.2.4.2.	Rendimiento energético .....	57
2.3.4.	Emisiones vehiculares.....	59

	12
2.1.4.3. Composición de los gases del tubo de escape.....	59
2.2.4.3. Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	61
2.4.4. Transporte sostenible .....	62
2.1.4.4. Beneficios del uso de hibridaciones.....	63
2.5. Regulaciones alrededor del mundo en materia de eficiencia vehicular.....	64
2.1.5. Normativa de emisiones alrededor del mundo.....	64
2.2.5. Objetivos de emisiones de CO <sub>2</sub> y consumo de combustible .....	66
2.3.5. Regulaciones de emisiones ecuatoriana.....	67
CAPÍTULO III.....	69
METODOLOGÍA.....	69
3.1. Caracterizar las tecnologías vehiculares del parque automotor.....	70
3.2. Definir la información y el diseño de la etiqueta de eficiencia energética .....	71
3.3. Promediar el consumo energético de los vehículos nuevos del 2024.....	73
3.4. Estimar las emisiones de CO <sub>2</sub> de los vehículos a gasolina y diésel.....	74
3.5. Crear una metodología para la calificación de la economía de combustible.....	76
3.6. Crear una metodología para la calificación de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	77
3.7. Proponer incentivos y restricciones .....	79
3.8. Evaluar la eficiencia energética de distintos vehículos.....	81
CAPITULO IV.....	82
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	82
4.1. Concentración del parque por edad y clase.....	82

	13
4.2. Concentración de sistemas de control de emisiones .....	84
4.3. Etiquetas de eficiencia energética .....	85
4.4. Valores de consumo energético.....	90
4.5. Tabla para la calificación de consumo de combustible.....	91
4.6. Tabla para la calificación del nivel de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	93
4.7. Propuesta de restricciones e incentivos.....	94
4.8. Eficiencia energética de los vehículos .....	95
CAPITULO V.....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
5.1. Conclusiones .....	100
5.2. Recomendaciones .....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS .....	112
5.3. Normativa de clasificación vehicular NTE INEN 2656 .....	112
5.4. Etiqueta de eficiencia energética.....	112
5.1.4. Consumo de combustible combinado .....	114
5.5. Valores de consumo de combustible .....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Influencia del arancel al precio final de un vehículo con un valor inicial de \$21.156 .....	28
<b>Tabla 2.</b> Rendimiento efectivo típico de un MCI vs un MEC.....	39
<b>Tabla 3.</b> Sistemas de control de emisiones utilizados en los MEP Y MEC .....	41
<b>Tabla 4.</b> Valores de densidad de energía (Wh/kg) y tensión (V).....	45
<b>Tabla 5.</b> Indicadores de la eficiencia energética de un vehículo .....	54
<b>Tabla 6.</b> Eficiencia de tren motriz para vehículos de diferentes combustibles .....	55
<b>Tabla 7.</b> Estrategias de eficiencia energética en vehículos livianos .....	56
<b>Tabla 8.</b> Tecnologías en los vehículos electrificados .....	57
<b>Tabla 9.</b> Rendimiento y emisiones de CO <sub>2</sub> , por tipo de tecnología.....	58
<b>Tabla 10.</b> Volumen en porcentaje de los gases que forman parte de las emisiones de un MCI .....	60
<b>Tabla 11.</b> Grupos para la caracterización del parque automotor de vehículos livianos .....	70
<b>Tabla 12.</b> Distribución de la información en la etiqueta de eficiencia energética.....	73
<b>Tabla 13.</b> Fuentes para la obtención de valores de consumo energético.....	74
<b>Tabla 14.</b> Fuentes para la obtención de valores de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	74
<b>Tabla 15.</b> Vehículos para evaluar.....	81
<b>Tabla 16.</b> Cuadro de calificación del consumo de combustible .....	93
<b>Tabla 17.</b> Cuadro de calificación para el nivel de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	94
<b>Tabla 18.</b> Incentivos y restricciones para vehículos en base a su eficiencia energética.....	95
<b>Tabla 19.</b> Valores de emisiones y rangos de desviación para la discriminación energética....	96
<b>Tabla 20.</b> Valores de emisiones y rangos de desviación para la discriminación energética....	98
<b>Tabla 21.</b> Comparativa entre el ciclo de conducción NEDC Y WLTC .....	115
<b>Tabla 22.</b> Primeros 100 valores de consumo y emisiones de CO <sub>2</sub> por marca y modelo .....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Participación según el tipo de energía que propulsa el vehículo.....	24
<b>Figura 2.</b> Edad por segmento del parque automotor ecuatoriano hasta 2024 .....	25
<b>Figura 3.</b> Ventas de vehículos a gasolina y diésel de 2015 a 2024 .....	26
<b>Figura 4.</b> Venta de vehículos híbridos y eléctricos en unidades entre 2015 y 2024 .....	27
<b>Figura 5.</b> Imposición de arancel promedio a vehículos en porcentaje por países.....	29
<b>Figura 6.</b> Precio de las gasolinas en \$ por galón a través de los años.....	30
<b>Figura 7.</b> Clasificación de Vehículos: Convencionales (ICE) y electrificados (EV) .....	31
<b>Figura 8.</b> Ruta de transmisión de potencia en un vehículo convencional.....	32
<b>Figura 9.</b> Componentes principales de un MCI .....	33
<b>Figura 10.</b> Tiempos de trabajo de un MCI .....	34
<b>Figura 11.</b> Diagrama de trabajo teórico vs real de un MEP.....	35
<b>Figura 12.</b> Sistemas de alimentación de combustible de un MEP .....	36
<b>Figura 13.</b> Diagrama de trabajo teórico vs real de un MEC .....	38
<b>Figura 14.</b> Rendimiento a plena carga y consumo de combustible específico .....	40
<b>Figura 15.</b> Ruta de transmisión de potencia en un vehículo eléctrico .....	42
<b>Figura 16.</b> Máquina síncrona de imán permanente.....	42
<b>Figura 17.</b> Curvas de torque de un motor eléctrico.....	43
<b>Figura 18.</b> Comparación de la densidad de potencia y energía de distintas fuentes.....	46
<b>Figura 19.</b> Ruta de transmisión de potencia de un vehículo híbrido.....	46
<b>Figura 20.</b> Configuración de: (a) microhíbridos de 12V; (b) microhíbridos de 48V .....	48
<b>Figura 21.</b> (a) Configuración de MHEV suaves: (a) con un ME; (b) con dos ME .....	49
<b>Figura 22.</b> Configuración de un híbrido en serie, paralelo y combinado.....	50
<b>Figura 23.</b> Configuración de un vehículo híbrido enchufable .....	51
<b>Figura 24.</b> Configuración típica de un REEV .....	52

<b>Figura 25.</b> Flujos de energía típicos durante la conducción urbana (a) y en carretera (b).....	54
<b>Figura 26.</b> Distribución típica de energía en un vehículo eléctrico híbrido paralelo .....	55
<b>Figura 27.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> anuales por cilindrada del motor de un vehículo liviano .....	61
<b>Figura 28.</b> Mejora típica en la eficiencia y consumo del motor de tracción eléctrica .....	62
<b>Figura 29.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente en diferentes tipos de vehículos.....	63
<b>Figura 30.</b> Estándares de emisiones establecidos en distintos países .....	65
<b>Figura 31.</b> Objetivos de emisiones de CO <sub>2</sub> y consumo de combustible .....	67
<b>Figura 32.</b> Metodología para el desarrollo del etiquetado de vehículos livianos .....	69
<b>Figura 33.</b> Metodología para definir la tabla de consumo energético.....	76
<b>Figura 34.</b> Árbol de decisión para la calificación del nivel de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	77
<b>Figura 35.</b> Clasificación según la desviación de las emisiones de CO <sub>2</sub> con la media .....	78
<b>Figura 36.</b> Árbol de decisión para el etiquetado en base al nivel de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	79
<b>Figura 37.</b> Matriz de propuestas en base a la tabla eficiencia energética .....	80
<b>Figura 38.</b> Unidades de vehículos por año modelo.....	83
<b>Figura 39.</b> Tipos de motorizaciones de los vehículos nuevos.....	84
<b>Figura 40.</b> Concentración de vehículos electrificados nuevos en 2024.....	85
<b>Figura 41.</b> Etiqueta para vehículos convencionales a gasolina.....	86
<b>Figura 42.</b> Etiqueta de eficiencia energética para un vehículo ineficiente .....	87
<b>Figura 43.</b> Etiqueta de eficiencia energética para un vehículo a diésel .....	88
<b>Figura 44.</b> Etiqueta de eficiencia energética de un (1) PHEV y (2) EV .....	89
<b>Figura 45.</b> Valores de consumo energético por sistema de control de emisiones .....	91
<b>Figura 46.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por vehículo.....	97
<b>Figura 47.</b> Calificación de la eficiencia energética por el nivel de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	99
<b>Figura 48.</b> Clasificación de los vehículos según su tren motriz.....	112
<b>Figura 49.</b> Etiqueta de eficiencia energética de Estados Unidos y España.....	113

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación.

En Ecuador, el crecimiento continuo del parque automotor plantea desafíos significativos en términos de las tecnologías vehiculares que ingresan a nuestro país y las emisiones que estos pueden generar, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas Censos de la INEC, los vehículos matriculados históricamente en el 2019 fueron 2.311.960 y en 2023 se matricularon 3.065.967 lo cual representa un incremento de 754,007 vehículos a nivel nacional [1].

Dentro del marco de las emisiones, el Ecuador ha registrado durante el 2022 un incremento en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> de 3,135 megatoneladas, un 7,3 % respecto al 2021 [2]. A pesar de los esfuerzos por reducir estas emisiones dentro del sector eléctrico, el sector del transporte sigue siendo uno de los que más aportan en el aumento de estas emisiones. En América Latina, el área del transporte simboliza el 35% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en comparación con el 23% del resto del mundo [3]. Por ello, es necesario considerar métodos que contribuyan en la reducción de estas emisiones dentro del sector del transporte, tomando en cuenta el cambio climático.

Los costos de los combustibles dentro del país, es otro tema por considerar, pues en los últimos años, muchos gobiernos han intentado focalizar los subsidios a combustibles, aunque no han tenido éxito. El gobierno invierte mucho dinero en estos subsidios y según un reporte del diario Primicias, los subsidios a combustibles representarían unos USD 3,100 millones en este 2024, si no se da una focalización adecuada [4]. Considerando este aspecto, se puede apreciar que existe una clara deficiencia en el cómo se podría llevar a cabo una focalización de subsidios adecuada hacia los combustibles para los vehículos.

Las tecnologías vehiculares, están relacionadas directamente con la eficiencia energética de los mismos, que considera aspectos como; el combustible que puede consumir y las emisiones que

pueden generar los vehículos. Del mismo modo, de estas tecnologías dependen los gastos que va a representar un vehículo en un futuro, estos gastos se verán reflejados en aspectos como: el consumo de combustible por kilómetros, intervalos de tiempos para mantenimientos, depreciación dentro del mercado de vehículos y la vida útil que puede tener [5]. El Ecuador enfrenta una edad en el parque automotor de 15 años [6], la cual representa una edad alta en comparación a países de primer mundo. Regiones como, Estados Unidos y Europa, cuentan con un parque automotor de una edad de 12,6 y 12 años respectivamente [7] [8]. Aunque también, hay que considerar que nuestro país dentro de temas como; la economía y los costos relacionados con los impuestos, tampoco se comparan con las de estos países, razón por la cual, existe la necesidad de enfocarse en las condiciones que atraviesa el país actualmente, en la búsqueda de formas de reducir la edad de los vehículos, dejando de lado tecnologías que resulten obsoletas.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.1.2. Objetivo general***

Desarrollar una metodología de etiquetado de vehículos livianos en base a su eficiencia energética.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

Realizar la caracterización de tecnologías vehiculares de vehículos representativos, relacionadas a la optimización del consumo energético y el control de emisiones.

Estimar de forma teórica las emisiones y consumo de combustible promedio de cada categoría a través de fórmulas, bases de datos bibliográficos, estudios científicos y fichas técnicas vehiculares.

Desarrollar una metodología de etiquetado para vehículos livianos considerando la edad del parque automotor, el tipo de vehículo, los promedios de emisiones y consumo de combustible.

Proponer un esquema de restricciones e incentivos fiscales a vehículos, basados en rangos de eficiencia energética.

### **1.3. Formulación del problema de investigación.**

El proyecto se enfoca en el desarrollo de una metodología de etiquetado en vehículos livianos, enfocándose específicamente en las categorías M1 y N1, según la clasificación establecida por la normativa vigente en la INEN 2656. Se incluyen en este alcance los aquellos que no superen las 3,5 toneladas y que tengan una capacidad de hasta 8 plazas. En consecuencia, se incluyen vehículos a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos.

El proceso de desarrollo de la metodología abarcará puntos como la caracterización de las tecnologías vehiculares relacionadas con el control de emisiones y consumo de combustible, estimaciones teóricas del consumo y las emisiones dentro del territorio nacional, el desarrollo del etiquetado y la propuesta de restricciones o incentivos basados en rangos de eficiencia energética. Todo esto, estará enfocado en la situación y las condiciones del territorio nacional del Ecuador.

Es importante destacar que el alcance se limita exclusivamente a los vehículos livianos dentro de las categorías mencionadas, excluyendo otros tipos de vehículos como camiones, autobuses y vehículos especializados. El proyecto se enfoca en el desarrollo de la metodología de etiquetado, además de proporcionar recomendaciones para su posible aplicación por parte de las autoridades correspondientes en materia de transporte y medio ambiente.

### **1.4. Justificación**

Considerando que la Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV), hace referencia al control de la emisión de gases, en apartados como; en el artículo 30.5 se hace referencia al control de emisiones por parte de centros de revisión técnica vehicular, y en el artículo 211 nos menciona los límites permisibles de las emisiones de gases. El desarrollo de una metodología de etiquetado de vehículos livianos basada en la eficiencia

energética responde a la necesidad imperante de promover la sostenibilidad y la reducción de emisiones contaminantes en el sector del transporte en el Ecuador.

Del mismo modo, este proyecto se lo realiza en beneficio de la sociedad ecuatoriana, ya que busca sugerir una metodología aplicable, hacia organismos que se encargan de ejecutar La Ley Orgánica de Eficiencia energética, que tiene como objeto impulsar el uso eficiente, razonable y sustentable de la energía [9]. Así como, hacia organismos como el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), que se encargan de supervisar y coordinar todas las actividades relacionadas con la certificación y validación de requisitos de productos, en cumplimiento con los estándares y regulaciones establecidos [10].

Ecuador ha asumido el compromiso de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y de adaptarse a los impactos del cambio climático. El Acuerdo de París, un pacto global sobre el cambio climático que tiene como objetivo restringir el aumento de la temperatura global, fue ratificado por 196 países durante la Conferencia de las Partes (COP 21) en París, el 12 de diciembre de 2015, y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, dentro de este acuerdo se incluye la importancia de explorar estrategias de desarrollo que minimicen las emisiones de gases de efecto invernadero, cada país debe implementarlas en un ciclo de 5 años y cada vez deben ser más ambiciosas [11]. Desde 2015, las Naciones Unidas han estado implementando un proyecto conocido como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), cuyo objetivo es mejorar el bienestar de las personas en todo el mundo, dentro de estos objetivos nos encontramos con uno que se relaciona directamente con nuestro proyecto; el ODS 7 nos habla de la energía asequible y no contaminante [12]. La aplicación de este proyecto de investigación busca establecer una línea base, para el desarrollo de políticas y normas que sirvan en la contribución de cumplir con los apartados mencionados anteriormente por parte de las autoridades competentes.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

El sector de la comercialización de vehículos está en constante aumento, datos recopilados por el INEC, informan que los vehículos matriculados históricamente en el 2019 fueron 2.311.960 y en 2023 se matricularon 3.065.967 lo que representa un incremento de 754,007 vehículos a nivel nacional [1]. En 2023, el 88% de las ventas en el país correspondieron a vehículos livianos (SUV, automóviles y camionetas Pick Up), mientras que los vehículos híbridos y eléctricos representaron el 7% de las ventas totales en el país [13]. Estas cifras representan un aumento de las emisiones y el consumo de combustible, debido a que aún se comercializan vehículos con motores de combustión interna.

Estos vehículos tienden a producir emisiones de distintos gases, algunos perjudiciales para la salud y otros que no resultan perjudiciales, pero corresponden a los Gases de efecto invernadero (GEI), como el CO<sub>2</sub> [14]. Ecuador ha demostrado su compromiso con las Naciones Unidas desde el 2019 para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y para adaptarse a los impactos del cambio climático. Sin embargo, según Datos Macro las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el 2022 han incrementado 3,135 megatoneladas, un 7,3% respecto a 2021. Actualmente, la preocupación por la emisión de estos gases es un tema de interés mundial. En América Latina, el sector del transporte contribuye con el 36% de las emisiones GEI [3], por ello, países líderes, han optado por adoptar estrategias que buscan mejorar la eficiencia energética del parque automotor de los vehículos, y así de algún modo, reducir el consumo de combustible y las emisiones de estos. Una de tantas estrategias, es el etiquetado de vehículos en base a la eficiencia energética; cabe recalcar que esto es algo que ya han implementado desde hace algunos años países como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemania, Japón,

Australia, entre otros [15]. Mientras que, en Latinoamérica, se ha implementado recientemente en países como México, Chile, Argentina, Uruguay y Brasil [3].

La eficiencia energética se puede entender como la correlación que se tiene entre la energía que se requiere para desarrollar una actividad y la cantidad de energía primaria usada para el proceso [16]. Dentro del apartado de los vehículos, se consideran principalmente aspectos como el consumo de combustible y las emisiones GEI [17]. Existen diferentes instrumentos de eficiencia energética para vehículos; tales como: Instrumentos informativos (Etiqueta de eficiencia energética vehicular), Instrumentos normativos (Norma de eficiencia energética, controles a la importación de vehículos, normas de componentes vehiculares) e Instrumentos económicos (Impuestos e incentivos para vehículos y sus componentes, impuestos a los combustibles) [3]. Dentro de todos estos instrumentos, la etiqueta de eficiencia energética se considera una de las mejores opciones, dado que no conlleva gastos operativos y actúa directamente con el consumidor. Aunque luego de esta medida, los incentivos para vehículos que cumplan con ciertas metas de emisiones y consumos, también resulta atractivo. Chile es uno de los países que ha llevado a cabo y ha tenido éxito con la etiqueta y los incentivos, pues para los años 2027 y 2029, espera alcanzar un rendimiento promedio de 22,8 km/l, lo cual resulta muy prometedor para las autoridades de aquel país [16].

Las etiquetas proporcionan información básica y clara sobre las características que puede tener un vehículo. El uso de esta etiqueta representa ventajas como; la toma de decisión informada facilita la compra para elegir la opción más eficiente, evidencia gastos ocultos a futuro, promueve la información sobre temas ambientales y promueve la competitividad entre los fabricantes de la industria automotriz [18]. La información que nos brinde el etiquetado depende mucho de la región en la que se haya aplicado, pues, cada país opta por describir las características del vehículo de distintas formas, dependiendo la situación de cada país.

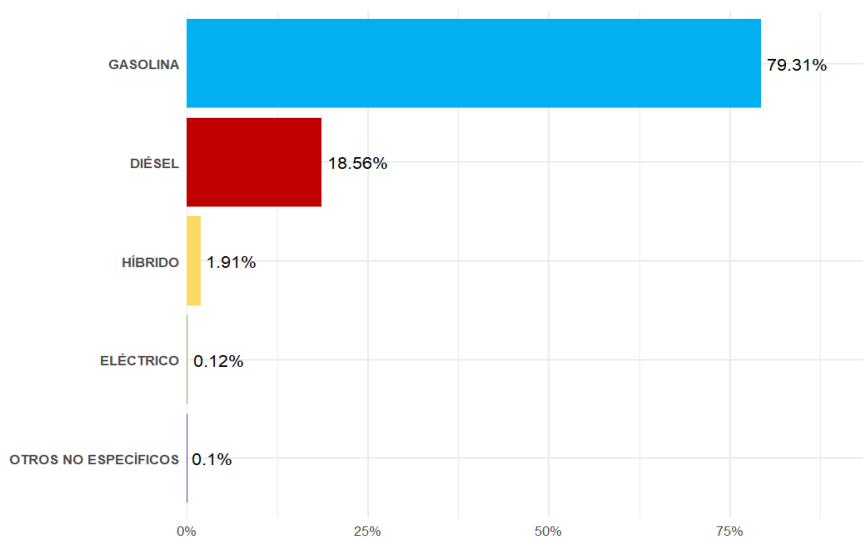
Así también, dependiendo de la región, el consumo de combustible se mide en distintas formas, en naciones europeas, el consumo de combustible se calcula en litros por cada 100 kilómetros recorridos (l/100km), en Estados Unidos se mide en millas por galón (MPG) y en países como Brasil, Chile, México, Japón y Corea del Sur, se mide en kilómetros por litro (km/l) [5]. Por otro lado, las emisiones de CO<sub>2</sub>, se miden en gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro (gCO<sub>2</sub>/km) a nivel mundial, con la excepción de Estados Unidos, donde se utilizan los gramos de CO<sub>2</sub> por milla (g CO<sub>2</sub>/milla) como unidades de medida [16]. Para la obtención de estos datos, los vehículos son sometidos a pruebas dinámicas bajo ciclos de conducción y toman en cuenta aspectos como el peso y la huella del vehículo [5]. Aunque también, es posible realizar estimaciones en base a especificaciones técnicas de los vehículos, valores referenciales de emisiones de CO<sub>2</sub>, el rendimiento de combustible y métodos comparativos mediante fórmulas [19].

## **2.2. Parque automotor ecuatoriano**

Más del 50% del parque automotor ecuatoriano corresponde a vehículos livianos o vehículos de la categoría M1 y N1. El 22% son automóviles, el 15.4 % vehículos utilitarios (SUV), el 14.5% camionetas y el 5.7% son camiones. Las provincias en las que mayor presencia de vehículos se tiene, son Pichincha y Guayas, que concentran el 36 y 26% respectivamente [6]. El parque automotor está conformado principalmente por vehículos que dependen de combustibles de origen fósil como la gasolina o el diésel para su propulsión. Estos utilizan un motor de combustión interna (MCI) que se encarga de transformar el combustible presente como energía térmica en energía mecánica [20]. Por otro lado, considerado como una propulsión alternativa, también están presentes los vehículos eléctricos, que dependen únicamente de la energía eléctrica, al usar únicamente motores eléctricos (EV). Si se combinan estos dos tipos de propulsión, se obtiene un vehículo híbrido (HEV), que dependerá de la energía térmica y eléctrica [21]. La Figura 1, muestra como el 98% del parque automotor

corresponde a aquellos que dependen únicamente de la energía térmica (gasolina y diésel), mientras que el 2% corresponde a aquellos que utilizan una propulsión alternativa (HEV y EV).

**Figura 1.** Participación según el tipo de energía que propulsa el vehículo



Tomado de: CINAIE, Parque Automotor Circulante, 2024

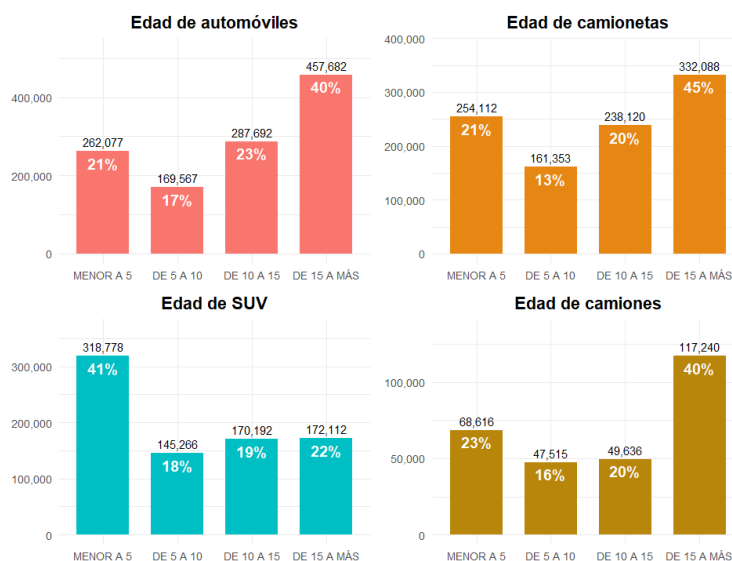
Esta distribución evidencia la fuerte dependencia de los combustibles fósiles en el sector automotor ecuatoriano y el incipiente crecimiento de alternativas más eficientes. La introducción de alternativas como híbridos y eléctricos, surgen a raíz de la búsqueda de una solución para descarbonizar el sector del transporte [22].

### 2.1.2. Edad

Según datos de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAIE), a diciembre de 2024, en Ecuador, la edad promedio del parque automotor era de 15 años. Desglosando por el tipo de vehículo, los automóviles tienen una edad promedio de 15,10 años, los utilitarios (SUV) alcanzan los 10,31 años, mientras que las camionetas y camiones registran promedios de 17,58 y 15,48 años, respectivamente. Aproximadamente el 80 % del parque automotor se encuentra dentro del umbral de los 20 años de antigüedad. No obstante, aún se registra la presencia de vehículos con más de 20 e incluso 35 años, los cuales representan el 24 % del total [6]. En la Figura 2, se observa una concentración significativa de vehículos con más de 15 años de

antigüedad, destacando especialmente las camionetas (45%), camiones (40%) y automóviles (40%), evidenciando un envejecimiento general de la flota. En contraste, los SUV presentan un perfil más joven, con el 41% de unidades con menos de cinco años, lo cual sugiere una mayor renovación en ese segmento.

**Figura 2.** Edad por segmento del parque automotor ecuatoriano hasta 2024



Tomado de: CINAIE, Edad del parque automotor circulante, 2024

La antigüedad representa un reto tanto ambiental como económico, ya que los vehículos antiguos generan mayores emisiones contaminantes, presentan un consumo de combustible hasta un 25% superior y requieren mantenimientos frecuentes, lo que implica mayores gastos para sus propietarios. La renovación del parque vehicular se ve limitada por los altos costos de los vehículos nuevos y las elevadas tasas de interés para su financiamiento dentro del territorio ecuatoriano [23].

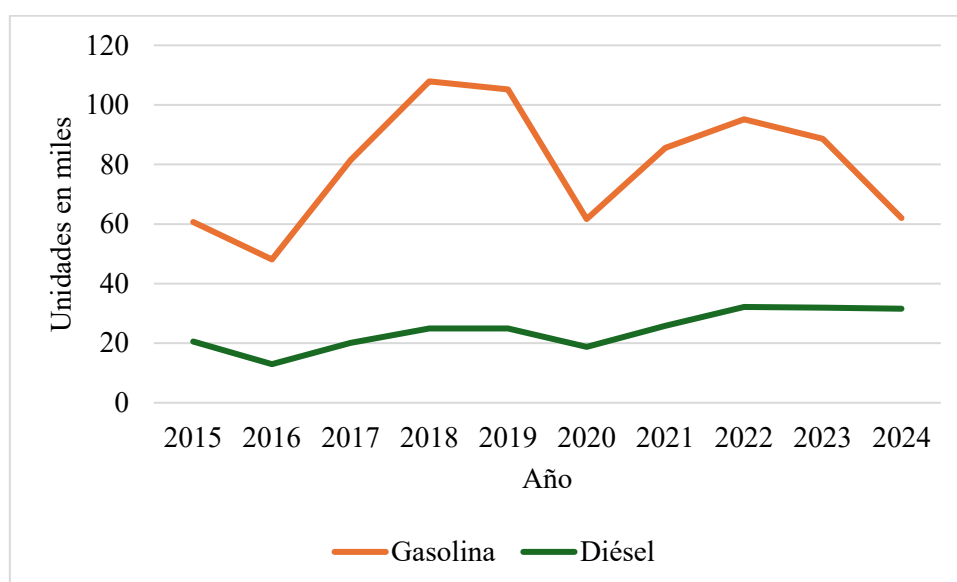
### 2.2.2. Ventas de vehículos nuevos

En 2024 se comercializaron 108.266 vehículos nuevos en el país, lo que representa una disminución del 18,2 % en comparación con las 132.388 unidades vendidas en 2023 [13]. La camioneta Chevrolet D-Max propulsada por el diésel, se posicionó como el vehículo más vendido del año 2024, seguida por el automóvil Kia Soluta propulsada por la gasolina[24]. La

venta de camionetas representó un 19,5% del total de las ventas frente al 19,4% perteneciente a los automóviles. Los SUV, por su lado, figuraron como la categoría más vendida, con un 47,4% del total de las ventas. Los camiones y Vans participaron con un 8,7 y 4,3 % respectivamente [13].

La venta de vehículos a gasolina en 2024 cayó en un 30% con respecto al 2023, mientras que la venta de vehículos a diésel ha experimentado un crecimiento del 60.08% respecto al 2020, en la Figura 3, se muestra una comparación de las ventas a través de los años [13].

**Figura 3.** Ventas de vehículos a gasolina y diésel de 2015 a 2024

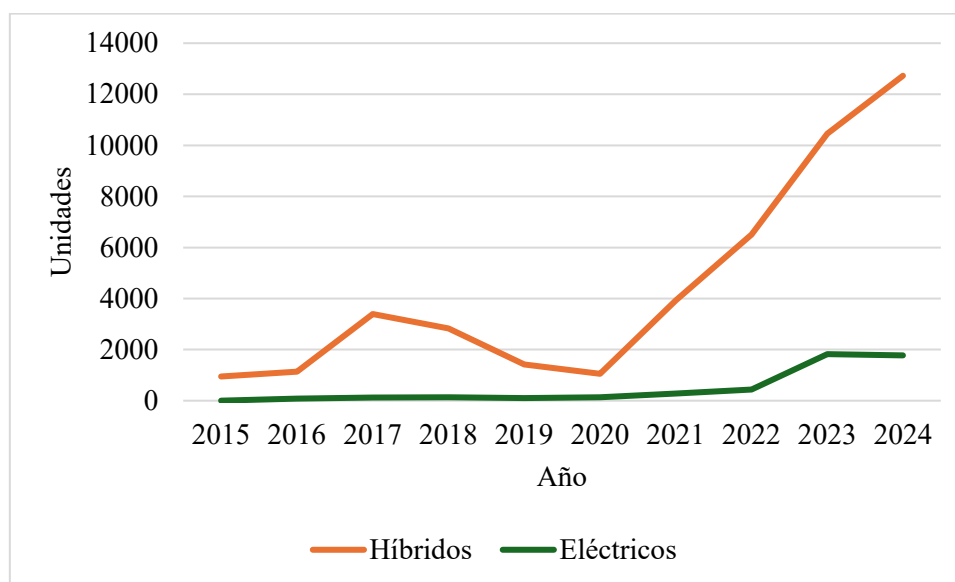


(Autoría propia)

Los vehículos híbridos y eléctricos por su lado tuvieron un crecimiento del 18.2% en 2024 con respecto al 2023, representando el 13.4% de las ventas totales. Los vehículos híbridos más vendidos de enero a septiembre del 2024 fueron el Suzuki Swift, Chery Tiggo 4, Corolla Cross Toyota, Nissan X Trail y la Chery Tiggo 7. Por otro lado, BYD, Nissan y Kia lideran la venta de vehículos eléctricos [13]. La Figura 4 muestra que la participación de los vehículos híbridos y eléctricos ha ido en aumento, sobre todo a partir del 2020. El crecimiento de las ventas de tecnologías como híbridos y eléctricos, dentro del país, se ha dado gracias a que estos gozan

de ciertos incentivos y están exentos de pagar ciertos impuestos, tanto al momento de ser e importados, como al momento de entrar en circulación [24].

**Figura 4.** Venta de vehículos híbridos y eléctricos en unidades entre 2015 y 2024



(Autoría propia)

### 2.3.2. Carga tributaria

En Ecuador los vehículos nuevos importados deben pagar 23 tributos en total, lo cual sugiere una carga excesiva que afecta al sector automotriz [13]. Ecuador es el país que aplica la mayor carga impositiva a los vehículos importados en la región, estos tributos, agravan drásticamente el precio final del vehículo, al momento de ser importados estos deben pagar tributos como: el Impuesto a la Salida de Divisas (ISD), Aranceles, Impuesto al Valor Agregado (IVA) e Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) [3].

En el apartado 2.2.2, se mencionó que los vehículos híbridos y eléctricos habían experimentado un crecimiento significativo en 2024 respecto al 2023, esto se da debido a que, los vehículos híbridos, no deben pagar el impuesto a los consumos especiales ICE, además si este no supera los 2000 cc de cilindrada, no pagara ningún monto de arancel, lo cual, hace más atractivo el precio final de los mismos. Por otro lado, los eléctricos no pagan el IVA, el ICE ni aranceles, además de que estos últimos están libres de medidas como las restricciones de circulación en

Quito, y el pago de estacionamientos dentro de las ciudades [25]. El valor del arancel puede alcanzar hasta el 40%, dependiendo de las prestaciones y la procedencia del vehículo, en la Tabla 1, se muestran los impuestos y los valores de estos en dólares estadounidenses, aplicados a un vehículo que está exento y a uno que paga el valor máximo de arancel.

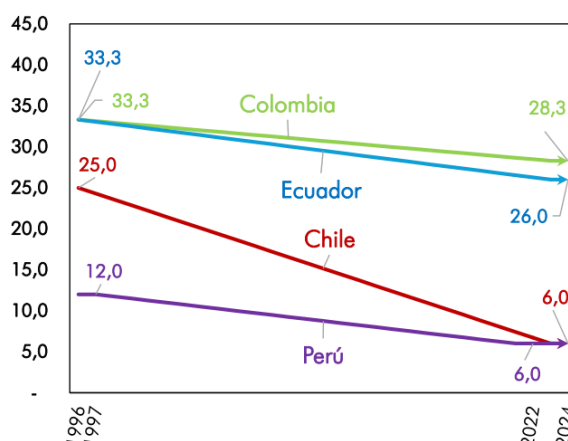
**Tabla 1.** Influencia del arancel al precio final de un vehículo con un valor inicial de \$21.156

	0% de arancel		40% de arancel	
<b>Fletes y Seguros</b>	3,0%	\$635	3,0%	\$635
<b>ISD (Impuesto Salida de Divisas)</b>	5,0%	\$1.058	5,0%	\$1.058
<b>FODINFA (Fondo de Desarrollo para la Infancia)</b>	0,5%	\$106	0,5%	\$106
<b>Arancel</b>	0,0%	–	40,0%	\$8.716
<b>ICE (Impuesto a Consumos Especiales)</b>	0,0%	–	0,0%	–
<b>IVA (Impuesto al Valor Agregado)</b>	15,0%	\$4.042	15,0%	\$5.575
<b>Carga Tributaria Total</b>	<b>18,8%</b>	<b>\$5.840</b>	<b>37,6%</b>	<b>\$16.089</b>
<b>PVP (Precio de Venta al Público)</b>		<b>\$30.990</b>		<b>\$42.740</b>
<b>Incremento</b>			<b>37,9%</b>	<b>\$11.750</b>

Tomado de: Walter Baquerizo, Más impuestos a los vehículos, 2024

El arancel es el impuesto que mayor incidencia tiene en el precio final del vehículo. Ecuador y Colombia se consideran países proteccionistas, ya que, en comparación con otros países como Chile y Perú, la imposición de este impuesto es menor. En la Figura 5 se muestran los valores de arancel promedio impuestos en estos países, actualmente Ecuador, impone un arancel promedio del 26%, mientras que Chile y Perú imponen un arancel promedio del 6%,

**Figura 5.** Imposición de arancel promedio a vehículos en porcentaje por países



**Tomado de:** Walter Baquerizo, Más impuestos a los vehículos, 2024

Los incentivos fiscales han mostrado cierto efecto en el mercado automotriz, aunque según directivos de la CINAE, sugieren recategorizar los vehículos híbridos que gozan de estos incentivos, pues se hace mención a que existe una categoría que a pesar de llamarse híbridos, estos funcionan principalmente con su motor de combustión interna (energía de origen fósil), haciendo referencia a tecnologías como las microhibridaciones [26].

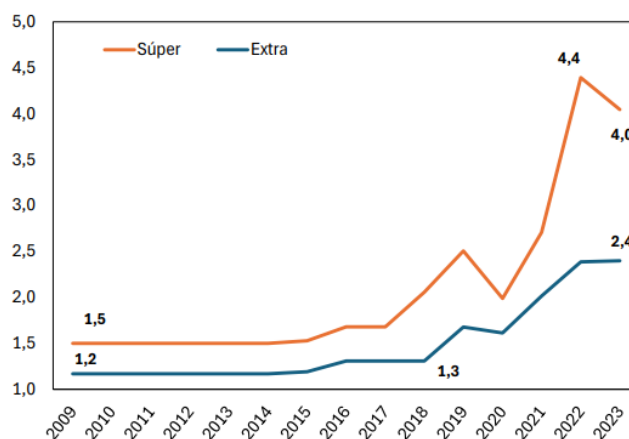
#### 2.4.2. Subsidios

Los subsidios buscan velar por el bienestar social, sin embargo, la no focalización de estos hace que sean regresivos, es decir, benefician principalmente a los hogares ubicados en los niveles de ingresos más altos y motivan al contrabando en las fronteras [27]. Además, tienen impactos ambientales negativos, ya que, al motivar el uso de combustibles fósiles de baja calidad, se contribuye al incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> [28].

Desde septiembre de 2018, la gasolina Súper (alto octanaje) dejó de estar subsidiada (el precio varía por mes según el precio del petróleo), y a partir de junio de 2024 comenzó la reducción paulatina del subsidio para las gasolinas de bajo octanaje, como la Extra y la Ecopaís [26]. Entre 2010 y 2023, se asignaron alrededor de USD 53.922 millones a estos subsidios. De este total, el 43% fue destinado al diésel, el 25% a gasolinas y el 18% al GLP, representando juntos el 86% del monto total en ese periodo [4]. Para el 2024, el gobierno tomó la decisión de la

eliminar el subsidio a las gasolinas de bajo octanaje (Extra y Ecopaís) (Figura 6), y se implementó un mecanismo para regular la variación de precios, en el que se establece que, no pueden incrementarse en más de un 5 % ni disminuir en más de un 10 % en un mismo mes [13]. En septiembre de 2025, el presidente Daniel Noboa eliminó el subsidio al diésel, elevando su precio de USD 1,80 a USD 2,80 por galón, una decisión que en el pasado había detonado fuertes crisis sociales en Ecuador. Aunque la Conaie convocó a un paro nacional desde el 18 de septiembre en rechazo a los efectos de la medida sobre el transporte, la inflación y la producción agrícola, las protestas y cierres viales con mayor concentración en Imbabura no alcanzaron la magnitud de los levantamientos de 2019 y 2022 en rechazo a la medida que provocaba alza del precio de la gasolina [29].

**Figura 6.** Precio de las gasolinas en \$ por galón a través de los años



**Tomado de:** Walter Baquerizo, Más impuestos a los vehículos, 2024

El incremento en los precios de los combustibles, consecuencia de la eliminación progresiva del subsidio (Figura 6), incentiva el uso de tecnologías vehiculares más eficientes en consumo. Los vehículos híbridos y eléctricos han surgido como una alternativa atractiva, reflejando un notable aumento en la demanda desde 2021 [26].

### 2.5.2. Consumo de energía

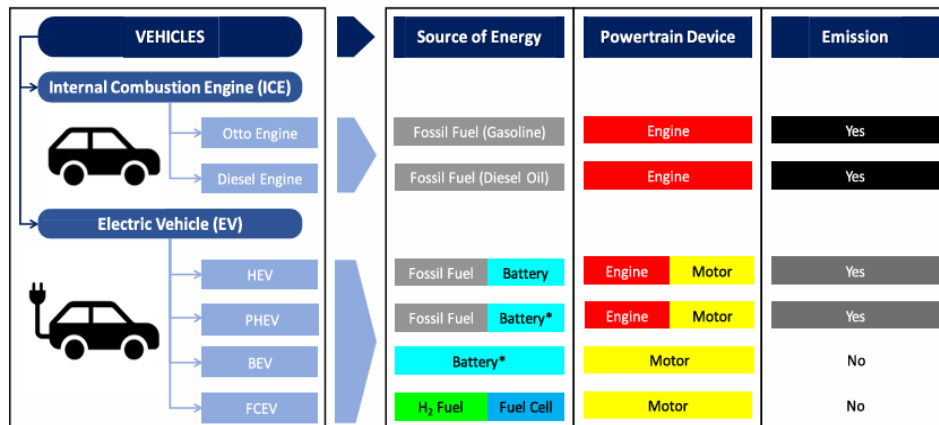
En Ecuador, las estadísticas nacionales indican que en el 2023 el transporte constituyó aproximadamente el 51.9% (90 068 GWh) de toda la matriz energética, teniendo un incremento

del 9.5% frente al 2022. Aproximadamente el 97.8% proviene de la combustión de gasolina (41 971 GWh) y diésel (46 114 GWh), la demanda de energía eléctrica representó el 0,1% [30]. Un estudio realizado en 2023 reveló que Ecuador solo aprovecha el 22.37% de la energía final en el sector del transporte. Las eficiencias generales y las incertidumbres para diésel, gasolina y electricidad fueron  $25.63 \pm 2.75\%$ ,  $19.63 \pm 1.20\%$  y  $94.00 \pm 12.90\%$ , respectivamente. Las tecnologías que utilizan combustibles fósiles tienen menor eficiencia e incertidumbre [22].

### 2.3. Trenes de potencia

Los vehículos pueden clasificarse bajo varios criterios, considerando o no su tren de potencia. Al tomar en cuenta su sistema de propulsión, estos se clasifican según el combustible usado para su funcionamiento o según el tipo de motor utilizado para transformar un determinado tipo de energía (térmica o eléctrica) y convertirlo en energía mecánica [20]. En la Figura 7, se muestra una clasificación, que toma en cuenta aspectos como el tipo de, energía que utiliza, el tipo de tren de potencia y si estos sistemas generan emisiones residuales.

**Figura 7.** Clasificación de Vehículos: Convencionales (ICE) y electrificados (EV)



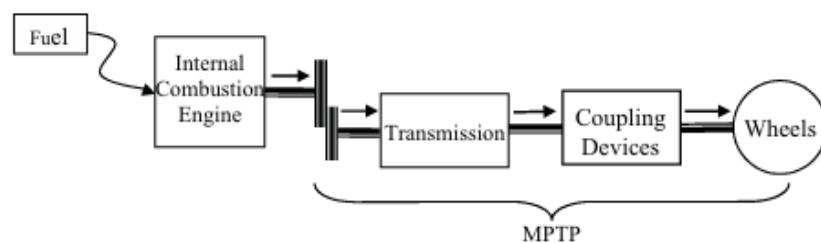
Tomado de: Ibhama Veza, Vehículo eléctrico (EV) y avance hacia la sostenibilidad, 2023

Los vehículos con sistemas convencionales integran un motor de combustión interna (MCI), el cual funciona con combustibles líquidos, los cuales generan emisiones residuales por el tubo de escape. Los vehículos electrificados por su parte recurren al uso de baterías y motores eléctricos, estos sistemas por su parte no generan emisiones residuales.

### 2.1.3. Vehículos convencionales

Los vehículos convencionales incorporan un motor de combustión interna ya sea a gasolina o diésel, como principal componente de generación de energía para su propulsión. En la Figura 8 se detalla como el combustible en forma de energía química ingresa al motor de combustión interna, para que, a través de un proceso termodinámico, se obtenga energía mecánica que pasara a través del tren de potencia (MPTP), para que, finalmente llegue a las ruedas y se genere la tracción.

**Figura 8.** Ruta de transmisión de potencia en un vehículo convencional



Tomado de: Iqbal Husain, Electric and hybrid vehicles, 2021

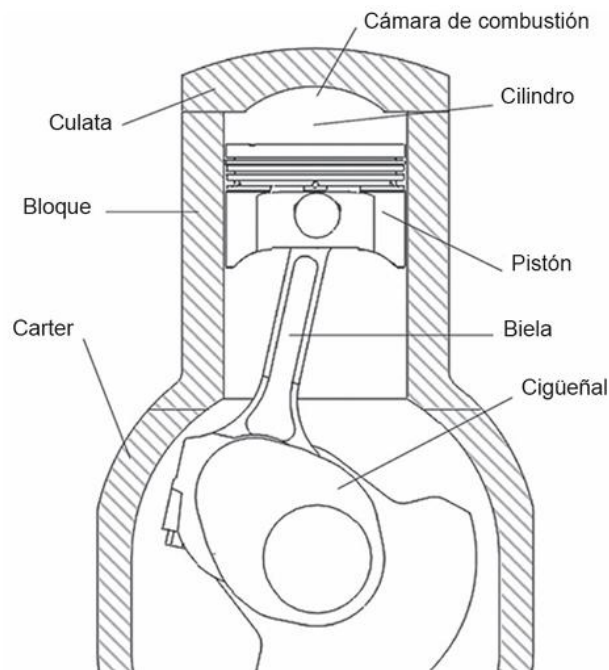
Los motores de combustión interna para vehículos convencionales están diseñados para operar en un amplio rango, y a menudo es necesario hacer compromisos para ofrecer eficiencia y rendimiento aceptables a lo largo de su régimen de operación, es decir, estos motores deben funcionar en muchas condiciones distintas (bajas y altas revoluciones, diferentes cargas y velocidades). Por eso, no pueden estar optimizados solo para un punto ideal de operación. Si se prioriza solo eficiencia o solo potencia, el desempeño en otras condiciones se ve afectado. Los ingenieros ajustan parámetros como mezcla, válvulas e inyección para equilibrar rendimiento, consumo y emisiones. [31].

#### 2.1.3.1. Motor térmico de combustión interna

Los motores de combustión interna MCI, son de tipo convencional alternativos [20]. Se denomina así al motor que transforma la energía térmica en energía mecánica mediante la combustión de una mezcla de aire y combustible que se quema en una cámara de combustión

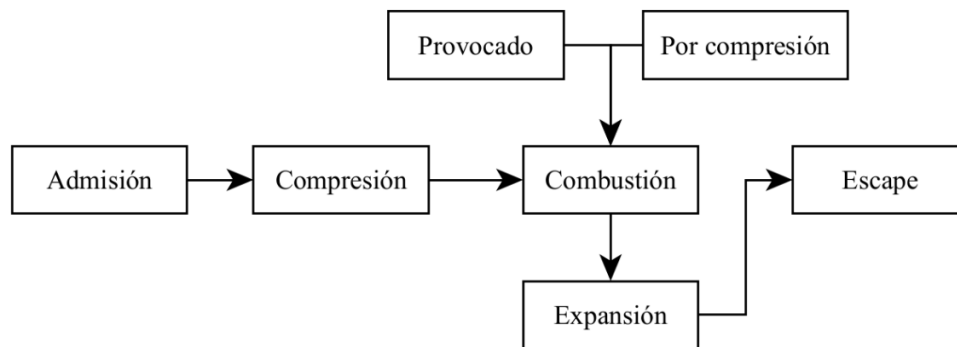
generando un trabajo mecánico [32]. En la Figura 9 se muestran los componentes de uno de los cilindros de un MCI (puede poseer varios cilindros, comúnmente de 4 a 6), el trabajo mecánico es transmitido a través de la biela hacia el cigüeñal, que posteriormente transmite el trabajo a la salida del motor.

**Figura 9.** Componentes principales de un MCI



**Tomado de:** Motor de combustión interna, 2015

El motor realiza procesos cíclicos que conforman un ciclo termodinámico abierto de 4 tiempos (Figura 10). Los procesos básicos que conforman un ciclo en un MCI son: admisión, donde entra el fluido de trabajo (mezcla aire-combustible o aire); compresión, que mejora el rendimiento térmico del motor; combustión, reacción altamente exotérmica que eleva la presión y temperatura del fluido; expansión, en la que los gases empujan el pistón y generan trabajo; y escape, donde se expulsan los gases quemados para renovar la carga [32]. Además de estos se tienen procesos auxiliares como la refrigeración (evita el sobrecalentamiento del motor), la lubricación (evita la fricción entre componentes a través de una película de aceite) y la sobrealimentación (incrementa el flujo de aire a través de un turbocompresor o supercargador accionado por los gases de escape o el cigüeñal respectivamente) de aire en la admisión [20].

**Figura 10.** Tiempos de trabajo de un MCI

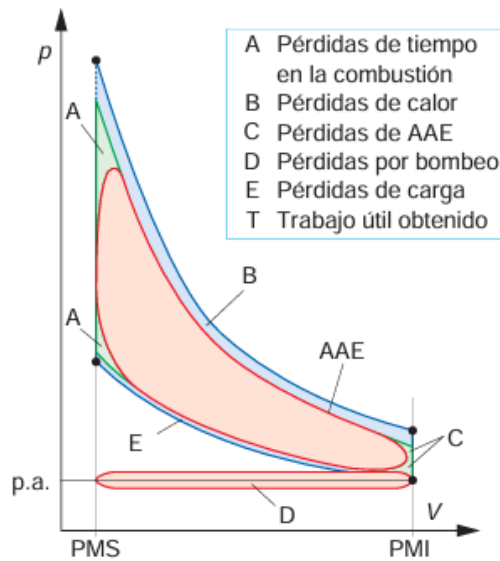
(Autoría propia)

Las prestaciones de un MCI se determinan por valores como; la cilindrada, que es el volumen de mezcla aire combustible que se puede quemar en la cámara de combustión y se mide en centímetros cúbicos (cc); el par motor, que es el trabajo que realiza el motor por cada vuelta que el cigüeñal da sobre sí mismo y se mide en newton por metro (Nm); la potencia efectiva, que es el trabajo desarrollado por unidad de tiempo y se mide en vatios (W) y el consumo específico, que es la cantidad de combustible consumida por unidad de potencia generada y tiempo de funcionamiento y se mide en gramos sobre kilovatio por hora (g/kWh) [20],[32].

### 2.2.3.1. Motor de encendido provocado

El motor opera bajo el ciclo Otto y cuenta con un sistema de encendido eléctrico, el cual genera una chispa encargada de inflamar la mezcla aire-combustible previamente comprimida en la cámara de combustión [33]. La gasolina, un derivado del petróleo, es comúnmente empleada como combustible, a una temperatura de 15 °C, su densidad varía entre 0,71 y 0,76 kilogramos por litro, y se caracteriza por su elevado poder calorífico, que ronda los 44.000 kJ/kg. Para lograr la combustión, la gasolina debe mezclarse homogéneamente con aire, en una proporción ideal de 14,7:1 [32]. En la Figura 11, se muestra el diagrama de trabajo (presión-volumen) que se da durante el funcionamiento real del motor (línea roja), en relación con las pérdidas (línea verde) que se tienen en relación con un ciclo de trabajo teórico que se daría en condiciones ideales (línea azul).

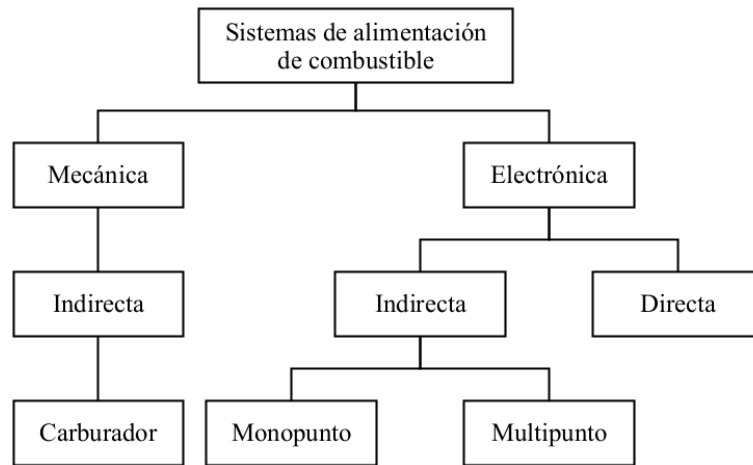
**Figura 11.** Diagrama de trabajo teórico vs real de un MEP



Tomado de: Santiago Sanz, Motores, 2020

Entre las principales pérdidas se encuentran: el bombeo, debido a la diferencia de presión durante la admisión y el escape; la carga incompleta del cilindro, que impide alcanzar la presión ideal de compresión; la disipación de calor a través de las paredes del cilindro, lo que reduce la presión durante la expansión; y el tiempo necesario para completar la combustión, que impide que esta ocurra instantáneamente a volumen constante [20]. A estas se suman las pérdidas por el avance a la apertura del escape (AAE), donde parte de la energía útil se pierde antes de que el pistón llegue al punto muerto inferior. Todas estas pérdidas, representadas por superficies específicas en el diagrama real, explican por qué el trabajo útil obtenido es menor que el previsto en condiciones ideales [32].

Para lograr reducir estas pérdidas se han empleado diferentes formas de introducir el combustible o mejorar la mezcla que se utiliza en estos motores (Figura 12). Partiendo desde el sistema mecánico a carburador, considerado actualmente obsoleto, y llegando hasta los sistemas de inyección electrónica, la mezcla que ingresa al cilindro puede ser homogénea o estratificada, dependiendo de si el motor provee el combustible de forma indirecta o directa, respectivamente [34].

**Figura 12.** Sistemas de alimentación de combustible de un MEP

(Autoría propia)

En la inyección indirecta se utiliza una mezcla aire-combustible con una proporción estequiométrica, equivalente a 14,7:1. Esta mezcla debe mantenerse homogénea para asegurar una combustión eficiente. El combustible se introduce a una presión de entre 3 y 3,5 bares justo antes de la válvula de admisión, donde se combina con el aire que circula por el conducto de entrada. Una vez dentro del cilindro, el movimiento turbulento del aire facilita la formación de una mezcla uniforme. Esta mezcla puede ajustarse, enriqueciéndose o empobreciéndose ligeramente según las necesidades operativas del motor [32].

La inyección directa se ha convertido en una solución ampliamente adoptada por los fabricantes, ya que permite operar con mezcla pobre y carga estratificada, lo que contribuye a una disminución tanto del consumo de combustible como de las emisiones contaminantes. En este sistema, el combustible se introduce directamente dentro del cilindro a presiones que varían entre 30 y 100 bares [20]. Pueden funcionar en dos modos distintos, dependiendo del tipo de mezcla empleada: en el modo estratificado, la inyección ocurre durante la fase de compresión, mientras que en el modo homogéneo se realiza durante la fase de admisión.

El funcionamiento en modo estratificado con mezcla pobre se emplea en condiciones de baja carga del motor. Cuando se requiere mayor potencia, el sistema cambia al modo homogéneo.

El modo estratificado, se utilizan mezclas extremadamente pobres (40:1), las cuales no serían inflamables si se distribuyeran de forma uniforme. Por ello, se genera una mezcla estratificada, donde se concentra una mezcla rica alrededor de la bujía y aire más pobre en las zonas periféricas. Para lograr este efecto, se aplican ciertos diseños específicos: los conductos de admisión se orientan casi verticalmente para guiar el flujo de aire, y el pistón incorpora un deflector con una cavidad esférica que induce una turbulencia giratoria [34]. Durante la admisión, se introduce una gran cantidad de aire y, en la compresión, se genera un torbellino que, al final de esta fase, recibe la inyección de combustible justo sobre la cavidad del pistón, dirigiéndolo hacia la bujía. Se forma una mezcla rica en su entorno inmediato, permitiendo el encendido eficiente del combustible. Esta estrategia permite reducir el consumo de combustible en un rango del 15 al 20% [32].

#### **2.3.3.1. Motor de encendido por compresión**

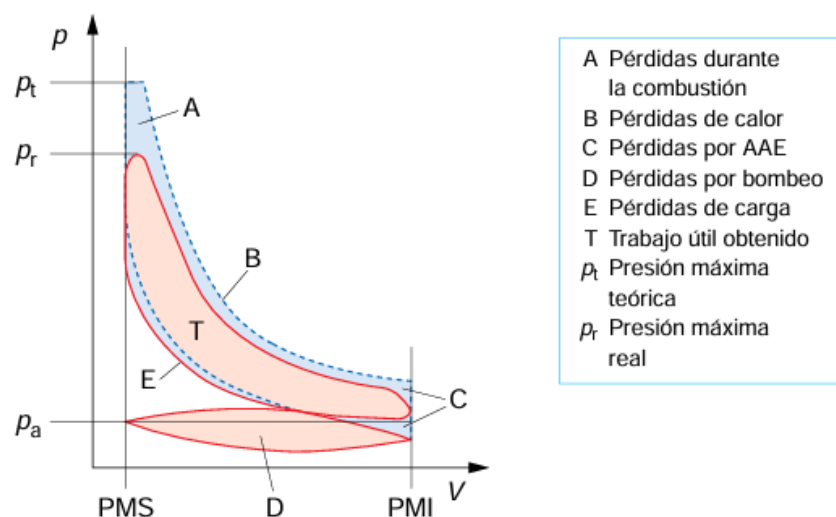
Se trata de un motor que opera bajo el ciclo Diesel, durante la fase de admisión, solo ingresa aire al cilindro, el cual luego se mezcla con el combustible directamente dentro de la cámara. El sistema de inyección pulveriza el combustible, que se inflama al entrar en contacto con el aire previamente comprimido, el cual ha alcanzado una temperatura elevada. Utiliza gasóleo como combustible, derivado del petróleo, presenta una densidad que varía entre 0,81 y 0,85 kg/L a 15 °C, y ofrece un poder calorífico aproximado de 42.000 kJ/kilogramo [32]. La Figura 13 muestra el diagrama de trabajo en condiciones reales (línea roja), frente al diagrama teórico que se daría en condiciones ideales en líneas entrecortadas (línea azul).

Las pérdidas durante la combustión (A), se da debido a que, no ocurre instantáneamente y genera una desviación respecto a la presión máxima teórica. También se presentan pérdidas de calor (B), producto de la transferencia térmica hacia las paredes del cilindro, y pérdidas por apertura anticipada del escape (C), que reducen la presión antes de completar la expansión. Las pérdidas por bombeo (D) reflejan el trabajo necesario para la admisión y el escape, mientras

que las pérdidas de carga (E) están asociadas a un llenado incompleto del cilindro. Como resultado, el área útil (T) correspondiente al trabajo neto se reduce respecto al ciclo ideal [32].

La relación de compresión suele encontrarse entre 16:1 y 24:1, dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema de inyección utilizado. El aire es comprimido a presiones de entre 30 y 50 bares en motores atmosféricos, y de 70 a 150 bares en motores sobrealimentados, alcanzando temperaturas entre 700 y 900 °C. Estas condiciones son más que suficientes para encender el combustible, cuyo punto de inflamación es cercano a los 250 °C [35].

**Figura 13.** Diagrama de trabajo teórico vs real de un MEC



Tomado de: Santiago Sanz, Motores, 2020

La inyección del combustible también puede ser directa o indirecta. La inyección directa tiene un consumo de combustible más económico (hasta un 20% de ahorro). Los motores de inyección directa tienen un nivel de eficiencia más alto y funcionan de manera más económica que los motores de inyección indirecta. Se han desarrollado sistemas de inyección de combustible de alta presión como la inyección directa mediante el riel común (CRDI), que permite una dosificación precisa y controlada del combustible a presiones de entre 1600 a 1800 bar, optimizando así la combustión y reduciendo tanto el consumo como las emisiones y se utiliza en todo tipo de vehículos comerciales y en la mayoría de los automóviles diésel modernos [35].

### 2.4.3.1. Parámetros efectivos

Los parámetros efectivos corresponden a las salidas reales de potencia que el motor es capaz de suministrar a los sistemas que aprovechan su energía, como la transmisión en un vehículo, la toma de fuerza en maquinaria agrícola o de carga, equipos hidráulicos, generadores eléctricos, entre otros. Son estos valores los que usualmente se presentan en las especificaciones técnicas y materiales promocionales de los fabricantes [36].

Se obtienen luego del proceso termodinámico, a la salida del motor, y por lo general responden a ensayos en laboratorios. El balance entre el total de pérdidas y el 100% de la energía contenida en el combustible consumido dan lugar al rendimiento o energía efectiva ( $\eta_e$ ) del motor. Las pérdidas de energía se resumen en tres; por fricción, refrigeración y calor. En la Tabla 2, se puede observar que el motor MEC pierde un 5% menos en calor, debido a que trabaja a altas presiones y temperaturas (1800 bar y 700°C), así la energía efectiva que se obtiene en un MEP y MEC, será de aproximadamente 25 y 30% respectivamente [32].

**Tabla 2.** Rendimiento efectivo típico de un MCI vs un MEC

<b>Perdidas de energía</b>	<b>Otto</b>	<b>Diesel</b>
<b>Perdidas térmicas</b>	60-65%	60-50%
<b>Perdidas mecánicas</b>	10-15%	10-15%
<b>Total, de perdidas</b>	70-75%	60-70%
<b>Rendimiento efectivo</b>	25-30%	30-40%

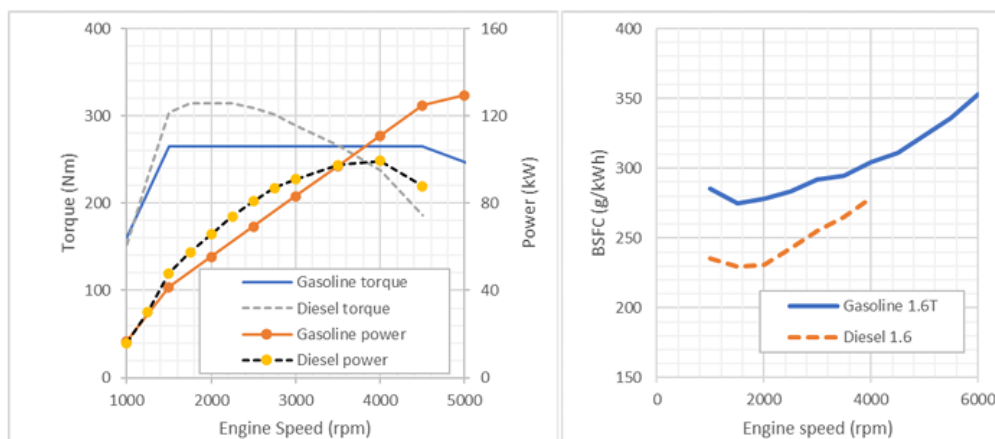
Tomado de: Santiago Sanz, Motores, 2020

Los valores que definen las prestaciones que se obtienen en un motor son el par motor, la potencia y el consumo específico de combustible, estos valores no son constantes, la obtención de estos depende del régimen de giro del motor (rpm). El consumo específico se define como la relación que existe entre la masa de combustible consumida y la potencia entregada. Se obtiene mediante pruebas de laboratorio y se expresa en  $\text{g/kW} \cdot \text{h}$  (gramos/kilovatio  $\cdot$  hora),

los valores de los motores Otto y diésel van de 280 a 320 g/kW · h y 180 a 280 g/kW · h respectivamente [32].

El punto de consumo específico efectivo (BSFC) mínimo se encuentra, tanto en los MEP como en los MEC, a bajo régimen de giro y sin llegar a plena carga. La Figura 14 muestra la curva de par máximo y potencia de los motores de gasolina y diésel (izquierda), así como la tasa de consumo de combustible (Derecha). Específicamente, el motor diésel presenta una tasa más baja, aproximadamente un 8-18% inferior a la de la gasolina. Los motores MEP se destacan por los valores de potencia que pueden alcanzar conforme aumentan el rpm, mientras que los MEC, se destacan por alcanzar altos valores de par, a bajas rpm [37].

**Figura 14.** Rendimiento a plena carga y consumo de combustible específico



Tomado de: Hyeonjik Lee, Comparative Evaluation, 2020

La obtención de los valores óptimos de estos parámetros, están condicionados por las condiciones de operación del motor, es decir, en un vehículo convencional, dependerá del tipo de manejo que se le dé y las condiciones del entorno en el que se encuentre.

### 2.1.3.1. Sistemas de control de emisiones

Los sistemas de control de emisiones que pueden incluir estos motores son varios, estos sistemas se encargan de reducir las emisiones de gases contaminantes que se generan dentro de la cámara de combustión del motor [38]. El uso de estos sistemas está relacionado al tipo de motor y combustible, por ejemplo, para motores diésel, se incorporan sistemas especiales como

los filtros de partículas que tienen como función principal capturar el hollín generado durante la combustión, sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR), que utilizan una solución de urea también conocida como Adblue [35]. La Tabla 3, detalla todos los sistemas que se encuentran en uso actualmente y la función principal de cada uno de estos [39].

**Tabla 3.** Sistemas de control de emisiones utilizados en los MEP Y MEC

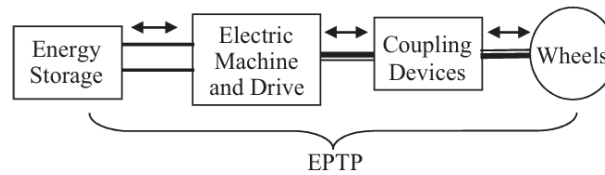
Sistema	MEP	MEC	Función
<b>Catalizador de tres vías</b>	Sí	No	Reduce simultáneamente NO <sub>x</sub> , CO y HC
<b>Recirculación de gases de escape (EGR)</b>	Sí	Sí	Reduce la formación de óxidos de NO <sub>x</sub> al recircular parte de los gases
<b>Filtro de partículas</b>	Sí	Sí	Atrapa partículas sólidas (hollín) en el escape
<b>Sistema de inyección de urea (SCR)</b>	No	Sí	Reduce NO <sub>x</sub> mediante la inyección de urea (AdBlue) que reacciona químicamente
<b>Canister / EVAP</b>	Sí	No	Controla la evaporación de vapores de combustible, evitando que escapen al ambiente
<b>Sensor de oxígeno</b>	Si	Sí	Mantiene la mezcla aire-combustible ideal
<b>Catalizador oxidante</b>	No	Sí	Oxida HC y CO en los gases de escape
<b>Válvula PCV</b>	Sí	Sí	Recircula vapores del cárter al sistema de admisión

Tomado de: G. Amba Prasad Rao, Engine emission control technologies, 2020

### 2.2.3. Vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico (EV) se caracteriza por contar con una fuente de energía portátil de tipo electroquímico o electromecánico, y por utilizar exclusivamente un motor eléctrico para generar el movimiento. La dependencia de un MCI es nula, toda la potencia de tracción necesaria es generada por el motor eléctrico. En la Figura 15, se muestra el tren de potencia (EPTP), que conecta la fuente de energía, con las ruedas, se encuentra compuesto por elementos tanto eléctricos como mecánicos. La energía necesaria para su funcionamiento se almacena en dispositivos como paquetes de baterías, desde donde se suministra según la demanda. [31].

**Figura 15.** Ruta de transmisión de potencia en un vehículo eléctrico



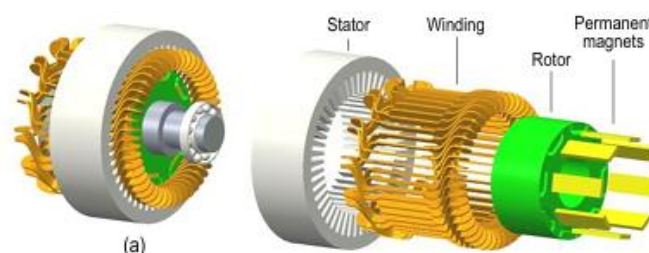
**Tomado de:** Iqbal Husain, Electric and hybrid vehicles, 2021

Los vehículos eléctricos funcionan utilizando únicamente energía eléctrica almacenada en baterías recargables como fuente de propulsión. Este tipo de vehículos cuenta con varios sistemas clave que permiten su funcionamiento: las baterías, generalmente de ion-litio, que almacenan la energía necesaria; el inversor; el propio motor eléctrico, que transforma esa energía en movimiento y el controlador de potencia, que regula la distribución de energía hacia el motor según la demanda del vehículo, como durante la aceleración o en velocidad constante. Esta arquitectura permite una operación totalmente eléctrica basada en una cadena de componentes electromecánicos bien coordinados [40].

### 2.1.3.2. Motores eléctricos

Los motores eléctricos, suelen ser motores de corriente alterna, usualmente síncronos trifásicos con imanes permanentes y pueden funcionar como generadores. La Figura 16 detalla una arquitectura muy común en este tipo de motore, que por lo general son usados en vehículos eléctricos o híbridos.

**Figura 16.** Máquina síncrona de imán permanente

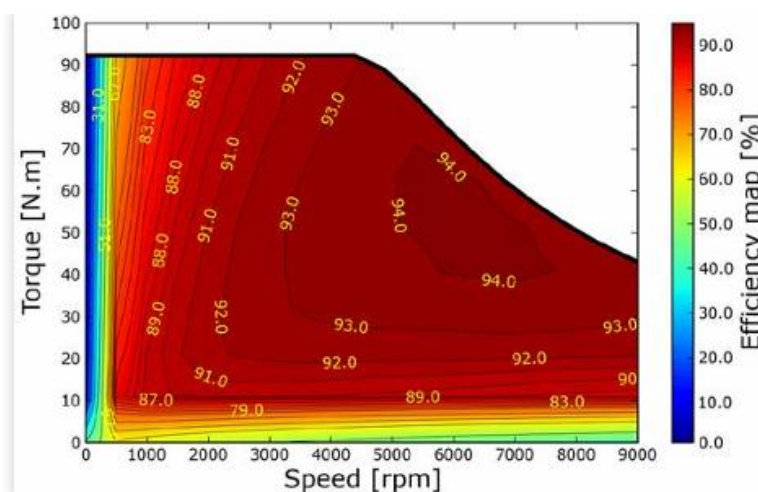


**Tomado de:** Pierre Magne, Making the Case for Electrified Transportation, 2015

Dentro de los vehículos estos motores, dependen de convertidores de energía eléctrica, que se encargan de convertir la corriente directa proveniente de la batería en forma de corriente alterna y viceversa en el caso de que el motor eléctrico funcione como generador. Algunos vehículos integran más de un motor eléctrico, conectados a la transmisión o directamente en las ruedas para generar la tracción de las mismas [41].

El vehículo eléctrico (EV) o híbrido (HEV), utiliza un motor eléctrico alimentado por baterías recargables (batería de alto voltaje adicional a la convencional de 12V) desde una fuente externa. La Figura 17, muestra un mapa de eficiencia del par de un motor eléctrico a distintos regímenes. En comparación, un motor de combustión interna no genera par a bajas revoluciones, por lo que necesita una transmisión para adaptarse al rango útil de potencia. En cambio, el motor eléctrico ofrece alto par desde cero y mantiene potencia constante en un amplio rango, lo que permite conectar directamente a las ruedas mediante una transmisión fija. Suelen alcanzar hasta 15,000 rpm frente a unos 1,000 rpm en las ruedas. Además, presentan mayor densidad de potencia y par que un motor de combustión similar, y estas mejoran con la velocidad. Su control se realiza mediante un convertidor electrónico que regula la corriente suministrada al motor [42].

**Figura 17.** Curvas de torque de un motor eléctrico



Tomado de: Iqbal Husain, Electric and Hybrid Vehicles, 2021

Entre sus principales ventajas destacan su alto rendimiento de alrededor del 90%, además de que tiene la capacidad de recuperar energía actuando como generador (tecnología de frenado regenerativo, sistemas start stop y recarga automática de la batería de alto voltaje en vehículos híbridos o eléctricos), la posibilidad de recarga en tomas domésticas, el elevado par motor a bajas revoluciones y una estructura más simple al contar con menos piezas móviles. Su principal limitación es el almacenamiento energético: para lograr potencias elevadas y buena autonomía, se requieren baterías de gran tamaño, lo que incrementa el peso y el costo, reduciendo así parte de sus beneficios [20].

### **2.2.3.2. Batería de alto voltaje**

Las baterías tienden a ser lo más costoso de los vehículos eléctricos, también son conocidas como baterías de alto voltaje y suelen requerir mantenimiento o reemplazo periódico. Para el almacenamiento de energía eléctrica en vehículos híbridos y eléctricos se utilizan baterías de alta capacidad y voltaje, generalmente entre 100 y 300 voltios.

Las baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) emplean un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo hecho de una aleación de hidruro metálico. Cada celda genera aproximadamente 1,2 V, por lo que una batería de 288 V requiere unas 240 celdas. Estas baterías ofrecen una densidad energética de 80 Wh/kg y soportan más de 1.000 ciclos de carga. Recientemente, se han desarrollado las baterías de iones de litio (Li-ion), las cuales presentan ventajas claras frente a las Ni-MH. Ofrecen una mayor densidad energética (120 Wh/kg), lo que permite almacenar más energía con menos peso. Además, tienen una vida útil más prolongada, menor tasa de autodescarga y no sufren el efecto memoria, permitiendo cargas parciales sin pérdida de capacidad. Estas baterías también cuentan con sensores integrados para controlar su estado y evitar sobrecargas o descargas profundas que puedan dañarlas [32].

### 2.3.3.2. Tipos de baterías

Entre las baterías más comunes se encuentran las de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, ion-litio y polímero de ion-litio. En la Tabla 4, se muestran los valores de densidad de energía este tipo fuentes de energía, considerando también fuentes de origen fósil [20].

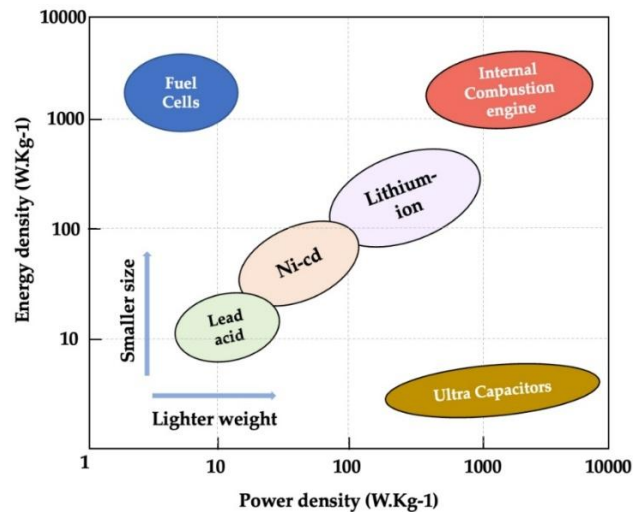
**Tabla 4.** Valores de densidad de energía (Wh/kg) y tensión (V)

<b>Combustibles</b>	Gasolina	12500	-
	Diésel	12000	-
<b>Baterías</b>	Plomo acido	50	2
	Níquel-Cadmio	20-30	1.25
	Níquel-metal hidruro	70	1.25
	Ion-litio	150	3.6
	Polímero de ion-litio	200	3.6

**Tomado de:** Iqbal Husain, Electric and Hybrid Vehicles, 2021

Para las aplicaciones en vehículos eléctricos e híbridos, se busca que las baterías posean ciertas cualidades clave: alta potencia y energía específica, buena capacidad de carga rápida, tanto durante la recarga convencional como en el frenado regenerativo y una vida útil prolongada, tanto en términos de tiempo como de ciclos de uso. En la Figura 18, se muestra una comparación de la densidad de energía y potencia de distintas fuentes, en ella se destaca la capacidad energética que poseen los combustibles seguidos de las baterías de ion-litio. La densidad de energía (o densidad energética) es la cantidad de energía que se puede almacenar o que se contiene en una determinada cantidad de masa o volumen (Wh/kg). La densidad de potencia, en términos generales, se refiere a la cantidad de potencia por unidad de masa o volumen (W/kg). En particular, los vehículos (EV) y los híbridos enchufables (PHEV) necesitan una mayor energía específica (Wh/kg) que los híbridos convencionales (HEV), lo que llevó a que, se adoptaran ampliamente las baterías de ion de litio. [31].

**Figura 18.** Comparación de la densidad de potencia y energía de distintas fuentes



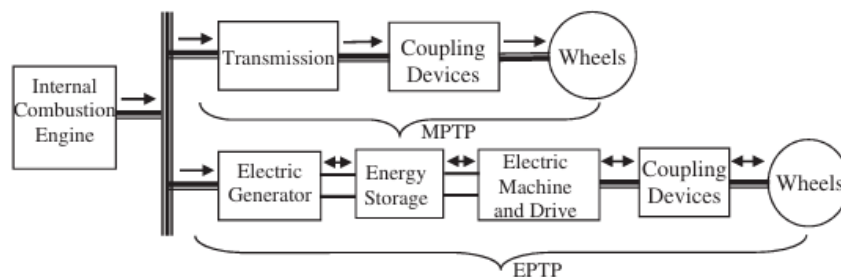
**Tomado de:** Tao LEI, Características de distintas fuentes de energía, 2019

Las baterías de Ion-Litio, es la más prometedora entre las baterías mencionadas anteriormente, y actualmente, se han empleado métodos de reciclaje luego de que finalizan su vida útil [31].

### 2.3.3. Vehículos híbridos

Los vehículos híbridos (HEV), se caracterizan por utilizar más de un tipo de fuente para generar la energía necesaria para su aceleración. Constan de una configuración que combina un MCI con uno o más motores eléctricos, junto con sus respectivos sistemas de almacenamiento de energía, como el tanque de combustible y la batería [21]. En la Figura 19, se muestra que el sistema de propulsión integra rutas de transmisión tanto eléctricas como mecánicas. La forma en que se estructuran estos componentes depende del tipo específico de híbrido.

**Figura 19.** Ruta de transmisión de potencia de un vehículo híbrido



**Tomado de:** Iqbal Husain, Electric and Hybrid Vehicles, 2021

La fuerza de propulsión se genera a partir de uno o más motores eléctricos en conjunto con el motor térmico, y se transmite a las ruedas mediante un sistema mecánico (MPTP), uno eléctrico (EPTP), o una combinación de ambos. El MPTP está relacionado con el motor de combustión y su transmisión, mientras que el EPTP incluye el sistema de almacenamiento de energía, un motor eléctrico generador, el motor eléctrico de tracción y la transmisión correspondiente [31]. En el caso de los híbridos de carga autosostenida, aquellos que no requieren conexión a una fuente externa para recargar su batería la única fuente de energía es el combustible utilizado por el motor térmico. Toda la energía necesaria para mover el vehículo pasa por el motor de combustión interna, sin importar si se transmite por vía eléctrica o mecánica. La disposición de estos elementos permite distintas configuraciones del sistema híbrido, como las arquitecturas en serie, en paralelo o combinadas, según cómo se organicen las fuentes de energía y los elementos de conversión de potencia [31].

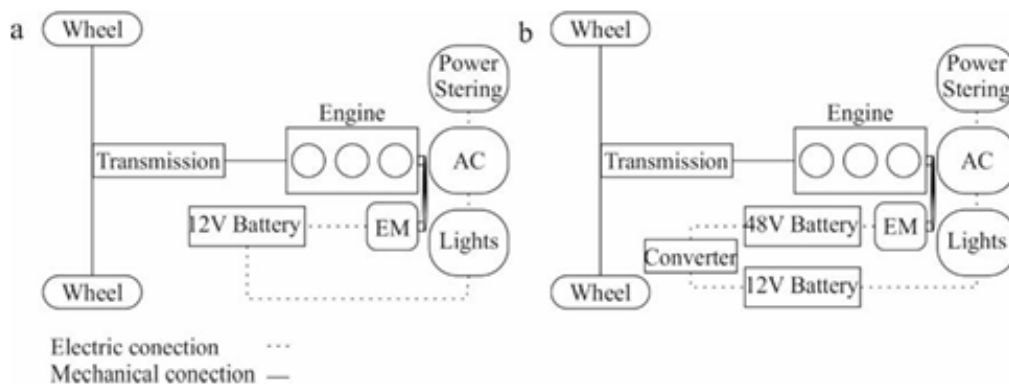
### **2.1.3.3. Motor Atkinson**

En los vehículos híbridos completos (HEV) o enchufables (PHEV), los motores de combustión interna pueden utilizar tecnologías distintas a las de los motores convencionales con el objetivo de optimizar la eficiencia. Una de las más comunes es el uso del ciclo Atkinson en lugar del ciclo Otto, ya que permite una mayor eficiencia térmica sacrificando densidad de potencia, lo cual es aceptable en los PHEV debido a que la tracción principal proviene del motor eléctrico. Este ciclo modifica la relación entre las fases del motor para alargar el tiempo de expansión, mejorando el aprovechamiento del calor generado. Modelos como el Toyota Prius Plug-in Hybrid, el Ford C-Max Energi y el Honda Accord Plug-in Hybrid emplean esta tecnología, alcanzando eficiencias térmicas de hasta un 38,5% con motores de 1.8 L. Además, al reducirse la carga sobre el motor térmico, componentes como el sistema de escape y la transmisión pueden diseñarse en versiones más compactas y ligeras, contribuyendo a un diseño más eficiente del tren motriz [41].

### 2.2.3.3. Microhíbridos

Los híbridos leves presentan un nivel de hibridación muy bajo, inferior al 5%. En estos sistemas, el motor eléctrico que actúa como un pequeño generador y motor de arranque integrado se encarga de apagar el MCI cuando el vehículo se detiene por completo, y de encenderlo nuevamente al liberar el pedal del freno (tecnología start stop) y para alimentar los accesorios del vehículo como la dirección asistida, el aire acondicionado, las luces y otros sistemas que suelen consumir energía del motor (Figura 20). La propulsión corre únicamente por cuenta del motor térmico, ya que el motor eléctrico no aporta par adicional [31].

**Figura 20.** Configuración de: (a) microhíbridos de 12V; (b) microhíbridos de 48V



**Tomado de:** Daniel Cardoso, A review of micro and mild hybrid systems, 2019

El motor eléctrico posee una potencia máxima cercana a los 2.5 kW y funcionamiento a 12 V (a), actualmente se han desarrollado soluciones que permiten que funcione eficientemente a 48 V, lo que incrementa su capacidad para recuperar energía, especialmente durante el frenado (b). Dado que las demandas energéticas no son elevadas, el motor eléctrico puede mantenerse compacto, evitando así cambios en la estructura del vehículo o en el motor de combustión interna. Otra ventaja es el uso de baterías de plomo-ácido, una tecnología económica y bien establecida. Gracias a su bajo costo de implementación, se espera que los microhíbridos se adopten ampliamente en los próximos años, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> [43].

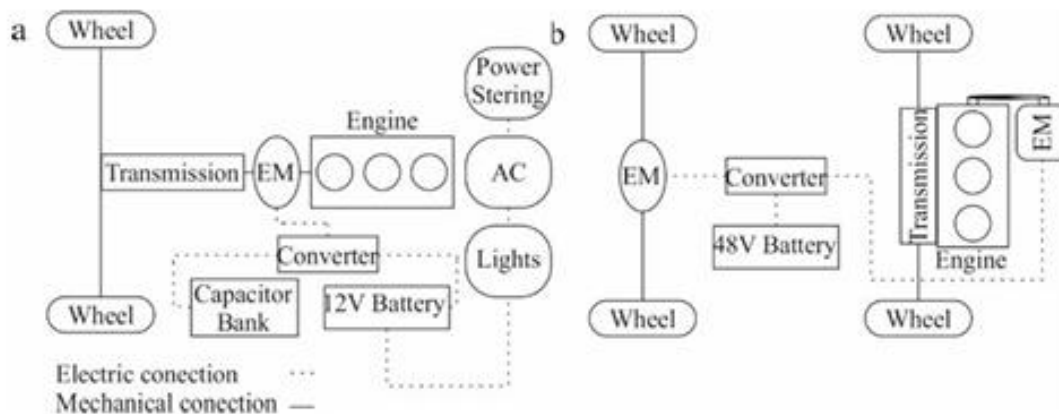
### 2.3.3.3. Híbridos suaves

Los híbridos leves (MHEV), son similares a los microhíbridos, pero incorporan un motor eléctrico de mayor tamaño, que puede alcanzar hasta el 10% de la potencia del motor térmico, y una batería que permite asistencia en la propulsión [42].

En condiciones reales de conducción, estos sistemas logran mejorar la eficiencia del combustible entre un 20% y 30% en comparación con un vehículo no híbrido. Los sistemas híbridos suaves presentan una configuración más compleja en comparación con los microhíbridos [44].

Pueden incorporar un ME acoplado al cigüeñal que funciona como motor y generador, o bien combinar un ME acoplado a la transmisión junto con otro conectado al motor de combustión interna, como en los sistemas microhíbridos (Figura 21). Estos sistemas suelen ofrecer entre 10 y 20 kW de potencia y un par de 200 a 250 Nm. Aunque pueden operar con altos voltajes, la mayoría de los sistemas en desarrollo actualmente utilizan 48 V por razones de seguridad, reemplazando a los sistemas de 42 V introducidos hace más de una década [43].

**Figura 21.** (a) Configuración de MHEV suaves: (a) con un ME; (b) con dos ME



**Tomado de:** Daniel Cardoso, A review of micro and mild hybrid systems, 2019

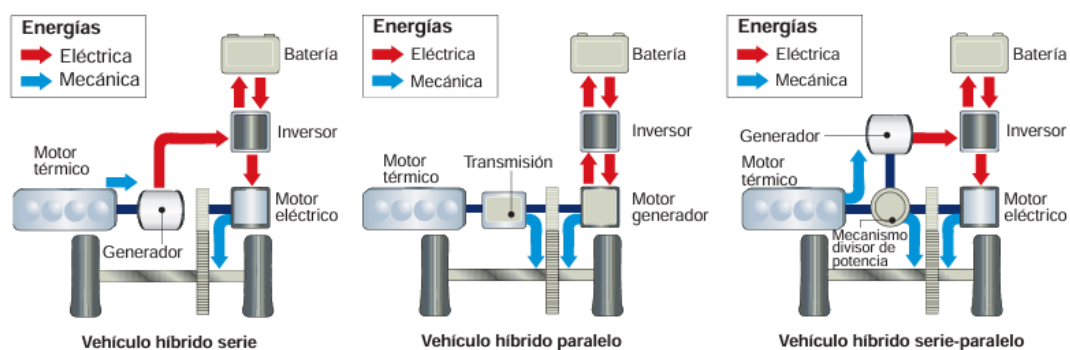
El crecimiento acelerado de esta tecnología responde no solo a la necesidad de vehículos más eficientes en el consumo de combustible, sino también al avance de otras tecnologías complementarias que mejoran la eficiencia sin afectar la seguridad, el confort o el costo. La

energía en los híbridos suaves es regulada por un convertidor que equilibra el estado de carga entre la batería convencional de 12 V (plomo-ácido) y la batería que alimenta al ME cuando actúa como motor y proporciona energía al vehículo. Estos sistemas pueden utilizar baterías de litio o ultra capacitores. Al igual que en los microhíbridos, los ME empleados pueden ser síncronos de imanes permanentes, de inducción o de reluctancia conmutada (SRM). Sin embargo, el SRM es el más común en los sistemas actuales y en desarrollo, debido a su eficiencia, robustez y facilidad de control [43].

### 2.4.3.3. Híbridos completos

En los híbridos completos (HEV), tanto el motor eléctrico como las baterías son considerablemente más grandes que en los micro o híbridos leves, en la Figura 22, se detallan las configuraciones de cada uno de los modos en los que puede estar configurado. Esto permite que, según la demanda de potencia, el vehículo pueda moverse únicamente con energía eléctrica. En comparación con los sistemas menos complejos, cuentan con motores térmicos más pequeños y requieren una gestión energética más avanzada. [43].

**Figura 22.** Configuración de un híbrido en serie, paralelo y combinado



Tomado de: Santiago Sanz, Motores, 2020

Los híbridos completos destacan por tener la mayor participación de energía eléctrica en comparación con los microhíbridos y los híbridos suaves. En estos vehículos, la potencia nominal del sistema eléctrico suele ser de al menos 30 kW, especialmente en el caso de los sedanes. Se caracterizan por su capacidad de operar en tres modos distintos: exclusivamente

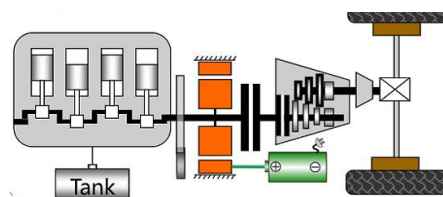
con el motor de combustión, únicamente con la batería eléctrica, o utilizando ambos sistemas de forma combinada [41]. Pueden desplazarse utilizando solo la propulsión eléctrica, lo que también les permite cubrir las necesidades energéticas de los sistemas auxiliares del vehículo. No obstante, debido al tamaño relativamente limitado del motor eléctrico y del paquete de baterías, el alcance en modo totalmente eléctrico suele ser reducido y la potencia disponible en este modo es moderada [31]. Integran una mayor proporción de potencia eléctrica dentro del sistema de propulsión, lo que requiere baterías de mayor capacidad para lograr una conducción eléctrica eficaz [41].

La sofisticación de estos vehículos conlleva un incremento en los costos de producción, ya que se requieren baterías más grandes, motores eléctricos más potentes y una integración mecánica más elaborada. A pesar de ello, los beneficios en ahorro de combustible y desempeño suelen justificar la inversión adicional en este tipo de tecnología híbrida [41].

### 2.5.3.3. Híbrido enchufable

Los híbridos enchufables (PHEV), comparten la arquitectura básica de los HEV completos, pero incorporan un sistema de carga externa, un motor eléctrico y una batería de mayor capacidad, además de un motor térmico más pequeño. Gracias a estos componentes, los PHEV pueden operar en modo completamente eléctrico durante trayectos más largos [44]. La Figura 23, muestra la configuración más común de un PHEV, el motor de combustión que se incorpora, suele ser el motor Atkinson.

**Figura 23.** Configuración de un vehículo híbrido enchufable



Tomado de: X. Liu, Comparative analysis for different vehicle powertrains, 2023

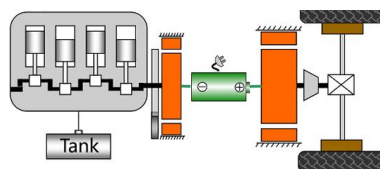
También son posibles configuraciones en serie y paralelo al igual que los híbridos completos, aunque la configuración en serie suele ser la más adecuada. Por ello, se clasifican principalmente según la distancia que pueden recorrer utilizando únicamente energía eléctrica proveniente de una fuente externa. Esta clasificación se expresa como PHEV 'X', donde 'X' representa la cantidad de millas que el vehículo puede recorrer sin activar el motor de combustión interna. A esta distancia se la denomina autonomía de cero emisiones (ZEV, por sus siglas en inglés) [31].

Este tipo de vehículo depende en gran medida de su batería para la mayoría de sus trayectos diarios, lo que reduce los costos asociados al mantenimiento, ya que el motor de combustión opera con menos frecuencia. Además, los PHEV tienen el potencial de integrarse con el sistema eléctrico nacional. En determinadas circunstancias, pueden devolver energía a la red durante los periodos de mayor demanda, gracias al excedente de carga almacenada en sus baterías, contribuyendo así al equilibrio energético general [41].

### 2.6.3.3. Eléctrico de rango extendido

Los vehículos eléctricos de rango extendido (REEV) son impulsados exclusivamente por un motor eléctrico, mientras que un motor de combustión interna Figura 24, por lo general de ciclo Atkinson, actúa como generador para recargar la batería cuando su carga está cerca de agotarse.

**Figura 24.** Configuración típica de un REEV



**Tomado de:** X. Liu, Comparative analysis for different vehicle powertrains, 2023

A diferencia de los híbridos convencionales, el motor térmico en los REEV no impulsa directamente las ruedas, sino que su función principal es mantener la batería cargada, permitiendo así una mayor autonomía sin depender exclusivamente de la infraestructura de carga eléctrica [45]. Se considera una hibridación debido a que depende de un MCI para poder

recargar la batería, y en comparación a un PHEV, el consumo de combustible es mayor, debido a que el motor de combustión interna estará en constante funcionamiento para mantener recargada la batería de alto voltaje [46].

## **2.4. Eficiencia energética**

Para que un vehículo comience a moverse, debe superar diversas fuerzas de resistencia que se oponen a su avance. El vehículo podrá avanzar solo si la tracción iguala dicha resistencia. La energía necesaria para su desplazamiento es el resultado de multiplicar esta fuerza por la distancia a recorrer y se expresa en kW/h [47].

La eficiencia energética, se define como el cociente entre la energía aprovechada y la energía consumida para desarrollar el movimiento [48]. En los vehículos, se la relaciona con el aprovechamiento óptimo del combustible y/o la energía almacenada en las baterías de alto voltaje y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> [49].

### **2.1.4. Indicadores**

Los indicadores de eficiencia energética suelen ser valores expresados en términos de energía o en términos porcentuales. En la Tabla 5, se definen cada uno de los valores más comunes que se usan para tener una perspectiva con respecto a la eficiencia energética de un vehículo. Las unidades de medida pueden variar dependiendo el país en el que se usen, pero por lo general suelen expresarse en unidades que se muestran a continuación.

Un valor más bajo en estos valores indican un mayor aprovechamiento del combustible y, por lo tanto, un vehículo más eficiente, la autonomía se exceptúa de esta ponderación, ya que, este debe ser lo más alto posible [50]. El reducir la emisión del CO<sub>2</sub> responde a la reducción del consumo de la energía almacenada en el tanque de combustible o batería de alto voltaje [51]. Estos valores se obtienen luego de que un modelo representativo de un vehículo sea sometido a ensayos dinámicos o estáticos que simulan perfiles de velocidad típicos en condiciones reales de conducción, a estos ensayos se los conoce como ciclos de conducción.

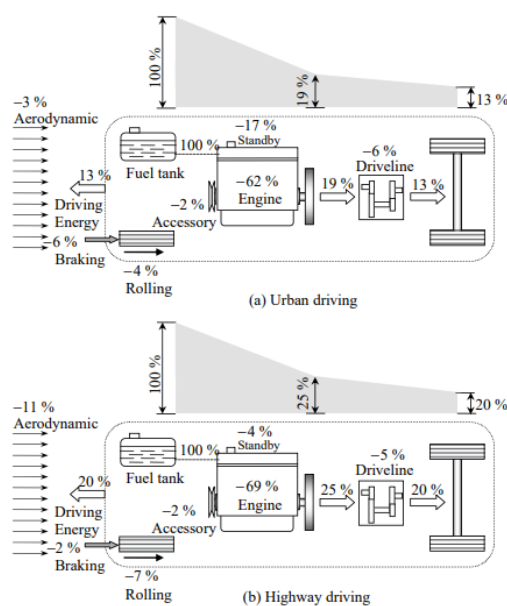
**Tabla 5.** Indicadores de la eficiencia energética de un vehículo

Indicador	Descripción	Unidad
<b>Consumo energético</b>	Cantidad de combustible usado por cada 100 km	L/100 km
	Consumo energético por cada por cada 100 km	kWh/100km
<b>Emisiones GEI</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub>	g/km
<b>Emisiones contaminantes</b>	Gases de escape perjudiciales para la salud	g/km
<b>Autonomía</b>	Kilómetros recorridos por unidad de energía	km/kWh

(Autoría propia)

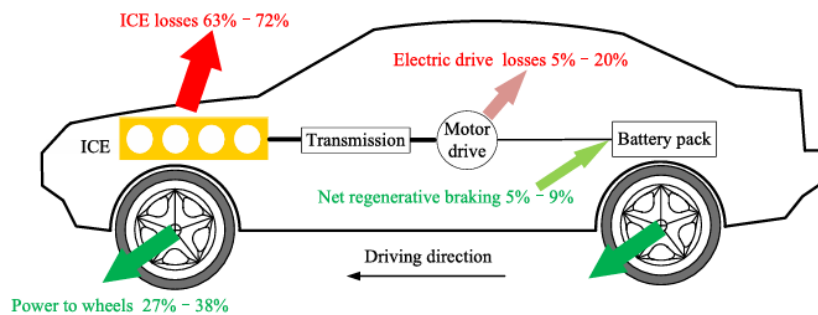
#### 2.2.4. Eficiencia de los trenes de potencia

El diseño y la eficiencia del tren de potencia son fundamentales para el rendimiento, la eficiencia energética y las emisiones del vehículo [52]. En la Figura 25 se detallan las pérdidas que energía que se dan en vehículos convencionales, obteniendo así eficiencias que van desde el 13 al 20%. Este valor varío también debido a las condiciones de manejo, en condiciones urbanas, la eficiencia se reduce, debido a que las condiciones de operación del MCI no son óptimas, mientras que, en condiciones en carretera, estas condiciones mejoran.

**Figura 25.** Flujos de energía típicos durante la conducción urbana (a) y en carretera (b)

En un HEV paralelo, hay una pérdida de energía del 63 al 72% en un motor de combustión interna y una pérdida de energía del 5 al 20% en el sistema de propulsión eléctrica, como se muestra en la Figura 26. Para lograr una mayor autonomía de conducción, menor consumo de combustible y reducción de emisiones es necesario minimizar y/o recuperar la energía desperdiciada, mejorar la eficiencia de utilización de la energía de la combustión de combustible, introducir combustibles alternativos y aprovechar la energía mecánica de las vibraciones y el frenado del vehículo [53].

**Figura 26.** Distribución típica de energía en un vehículo eléctrico híbrido paralelo



Tomado de: Shengxi Bai, Energy harvesting and emission reduction technologies, 2021

En un vehículo totalmente eléctrico, la eficiencia de un motor eléctrico es buena en un rango de operación muy amplio. Por encima del 10% de las RPM nominales y del 10% del par nominal, la eficiencia se vuelve muy buena. Los sistemas de manejo y de transmisión absorben algo de energía, haciendo que el sistema motor-transmisión tenga un 85%-90% de eficiencia. Algunos vehículos acoplan la rueda directamente al motor, evitando las pérdidas en los sistemas de transmisión y de transmisión [47]. En la Tabla 6, se muestran los valores de la eficiencia energética de distintos trenes de potencia, en comparación con el eléctrico.

**Tabla 6.** Eficiencia de tren motriz para vehículos de diferentes combustibles

Vehículo	Gasolina	Diesel	HEV serie	HEV paralelo	Eléctrico
<b>Eficiencia (%)</b>	17	20	25	28	90

### 2.1.4.2. Tecnologías que mejoran la eficiencia

Para mejorar la eficiencia de un vehículo convencional, se pueden incorporar tecnologías que pueden actuar sobre el motor, la transmisión o durante el funcionamiento. La Tabla 7 muestran todas las tecnologías, de la cuales se destacan las mejoras en el sistema de inyección y la reducción del tamaño del motor [54].

**Tabla 7.** Estrategias de eficiencia energética en vehículos livianos

<b>Componente</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Aumento</b>
<b>Motor</b>	Arranque - parada	3 % - 4 %
	Arranque - parada con freno regenerativo	3 % - 7 %
	Válvula de actuación variable	5 % - 9 %
	Sistema de inyección directa	10 % - 13 %
	Tiempo variable de válvula de admisión	1,5 % - 2,5 %
	Reducción del motor con turbo o sobrealimentación	10 % - 15 %
	Relación de compresión variable	4 % - 10 %
	Desconexión selectiva de cilindros	6 % - 8 %
	Lubricación de menor viscosidad	1 % - 2 %
	<b>Transmisión</b>	Variación en la caja de cambios
Transmisión variable continua		3 % - 8 %
Transmisión de doble embrague o clutch		4 % - 10 %
Transmisiones automáticas		7 % - 9 %
<b>Funcionamiento</b>	Mejoras aerodinámicas	4 % - 7 %
	Reducción del 10 % en el peso del vehículo	5 % - 7 %
	Reducción del ralentí	0,5 % - 8 %

(Autoría propia)

Los vehículos híbridos combinan la potencia eléctrica y mecánica mediante dispositivos como divisores de potencia. Estos dispositivos permiten distribuir la energía entre el motor y la

batería para optimizar el consumo de combustible y el desempeño. La Tabla 8, indica que tecnologías como la regeneración de energía en frenado, el apagado automático del motor y la conducción eléctrica en bajas velocidades contribuyen significativamente a la eficiencia. Sin embargo, esta eficiencia mejorada implica un mayor costo de producción debido al uso de baterías más grandes, motores eléctricos potentes y sistemas más sofisticados [41].

**Tabla 8.** Tecnologías en los vehículos electrificados

<b>Tipo</b>	<b>Potencia eléctrica</b>	<b>Ahorro en el consumo</b>	<b>Costo</b>	<b>Tecnologías</b>
				Start-and-stop
<b>Microhíbridos</b>	3–5 kW	~10%	Bajo	Frenado regenerativo moderado Alimentación de accesorios Start-and-stop
<b>Híbridos suaves</b>	7–15 kW	~20%	Medio	Frenado regenerativo Alimentación de accesorios Asistencia eléctrica moderada Start-and-stop
<b>Híbridos completos</b>	>30 kW	~40%	Alto	Frenado regenerativo Alimentación de accesorios Asistencia eléctrica Conducción solo eléctrica
<b>Eléctricos</b>	>80 kW	~95%	Alto	Incluye todas

(Autoría propia)

#### **2.2.4.2. Rendimiento energético**

Estudios realizados han determinado que el cambio de un sistema de carburación a uno de inyección electrónica representa una mejora del 60,4% con relación al consumo [55]. La Tabla 9 plasma como, los sistemas de control de emisiones por su parte, en los vehículos no solo

reducen la contaminación ambiental, sino que también mejoran el rendimiento del vehículo, en ella se muestra una comparación global de todos los tipos de vehículos que se han tratado [53].

**Tabla 9.** Rendimiento y emisiones de CO<sub>2</sub>, por tipo de tecnología

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Energía efectiva (%)</b>	<b>Autonomía Promedio (km)</b>	<b>Consumo Energético (kWh/100 km)</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (g/km)</b>
<b>Gasolina</b>	20-30	600–800	52,8–79,2	150–180
<b>Diésel</b>	30-35	800–1000	43,7–63,1	120–150
<b>Microhíbrido</b>	20-40	650–850	48,4–70,4	130–160
<b>MHEV</b>	30-40	700–900	44,0–61,6	110–140
<b>HEV</b>	40-45	700–1000	35,2–52,8	90–120
<b>PHEV</b>	40-50	600–800	30–45	30–60
<b>REEV</b>	80	500–700	28–40	20–50
<b>BEV</b>	87-91	300–500	15–20	0

**Nota:** Los valores se consideran aproximados, estos pueden variar dependiendo del vehículo, además, en cuanto a las emisiones, se consideran únicamente las del tanque a la rueda (Autoría propia)

Al optimizar la combustión y minimizar las pérdidas de energía, estos sistemas permiten un mejor aprovechamiento del combustible, lo que se traduce en un menor consumo y una mayor autonomía. Se prolonga la vida útil del motor y se disminuyen los costos de mantenimiento. Por lo tanto, la implementación de sistemas de control de emisiones contribuye a mejorar la eficiencia operativa de los vehículos [56].

Dentro del apartado de los vehículos electrificados, los vehículos eléctricos a batería (BEV) destacan como la alternativa más viable para el transporte personal y urbano, gracias a su alta eficiencia y el continuo avance tecnológico en temas de rendimiento energético. Los híbridos

enchufables (PHEV) y los híbridos convencionales (HEV) cumplen un rol de transición, pero se prevé que sean desplazados gradualmente por tecnologías como BEV. Estos operan sin generar emisiones directas. Los PHEV ofrecen versatilidad de uso, mientras que los HEV resultan convenientes al no requerir puntos de carga. Considerando su autonomía, tiempos de recarga reducidos y cero emisiones, los REEV se perfilan como una opción clave para el futuro de la movilidad eléctrica [40].

#### **2.3.4. Emisiones vehiculares**

Los vehículos, obtienen su energía mediante la combustión de hidrocarburos (composición química de los combustibles de origen fósil), una reacción entre el combustible y el aire que genera calor, el cual se convierte en energía mecánica dentro del motor, mientras que los gases resultantes se liberan a la atmósfera [41]. Si la quema de hidrocarburos ocurriera de forma completa y en presencia suficiente de oxígeno, los únicos productos formados serían, agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), este último no es tóxico, sin embargo, está asociado al calentamiento global por su papel como gas de efecto invernadero [57].

En condiciones reales de operación esto no sucede, en los motores de combustión interna se generan otros gases adicionales que son contaminantes, debido a la ineficiencia en el proceso de combustión.[41].

##### **2.1.4.3. Composición de los gases del tubo de escape**

En el caso de los motores a gasolina, los gases expulsados suelen incluir óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). El nitrógeno, al ser quemado a altas temperaturas junto al exceso de oxígeno, reacciona y se forman los NO, que, al ser expulsado al ambiente, este se combina con el oxígeno para formar  $NO_2$ , que corresponde a un gas tóxico [31]. La Tabla 10 detalla el porcentaje de participación cada uno de los gases, tanto en los vehículos a diésel y gasolina, donde aproximadamente el 2% de estos corresponden a gases que se consideran tóxicos para la salud de las personas [58]. Aquellos que se consideran no

tóxicos, no tienen incidencia alguna para la salud humana ni están relacionados a la contribución del calentamiento global, papel que, si cumple el gas de efecto invernadero  $\text{CO}_2$ , ya que es considerado un gas que actúa directamente en la formación del efecto invernadero en el ambiente y es el que mayor tiempo dura en la atmosfera en comparación con otros gases del mismo estilo como el metano. En los vehículos convencionales este gas representa entre un 10 y 12% de las emisiones totales [59].

Por su parte, los motores diésel liberan menores cantidades de CO y HC, aunque presentan niveles comparables de  $\text{NO}_x$  respecto a los motores a gasolina. El diésel contiene más azufre que la gasolina, y su combustión genera óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y mayor cantidad de material particulado (PM), compuesto principalmente por hollín y residuos de hidrocarburos, es por ello que el proceso de combustión del diésel, tiende a ser más nocivo y contaminante para la salud y el medio ambiente [59].

**Tabla 10.** Volumen en porcentaje de los gases que forman parte de las emisiones de un MCI

Componente	Vehículo a gasolina	Vehículo a diésel	Rol
<b>Nitrógeno (<math>\text{N}_2</math>)</b>	74-77	76-78	No tóxico
<b>Hidrógeno (<math>\text{H}_2</math>)</b>	0-5	-	No toxico
<b>Oxígeno (<math>\text{O}_2</math>)</b>	0.3-8	2-18	No toxico
<b>Dióxido de carbono (<math>\text{CO}_2</math>)</b>	5-12	1-10	GEI
<b>Vapor de agua (<math>\text{H}_2\text{O}</math>)</b>	5-5.5	0.5-4	No tóxico
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	0.5-12	0.01-5	Tóxico
<b>Dióxido de azufre (<math>\text{SO}_2</math>)</b>	0-0.002	0-0.3	Tóxico
<b>Óxidos nítricos (<math>\text{NO}_x</math>)</b>	0-0.8	0.002-0.5	Tóxico
<b>Aldehídos</b>	0-0.2	0.001-0.009	Toxico
<b>Hidrocarburos (<math>\text{C}_x\text{H}_x</math>)</b>	0.2-3	0.009-0.5	Tóxico
<b>Material particulado (PM)</b>	-	0.05	Cancerígeno

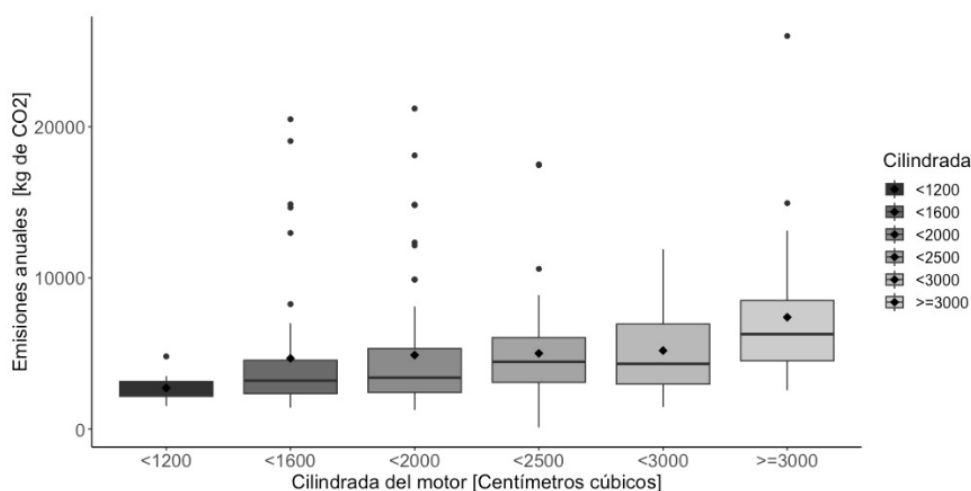
Tomado de: M. Kovaleva, Environmental problems of gasoline and diesel fuel, 2020

Aunque los motores diésel operan con exceso de aire, el combustible se inyecta tras la compresión, creando zonas con mezcla rica donde se forma hollín. En cambio, en los motores a gasolina, la mezcla aire-combustible es más homogénea, lo que reduce significativamente estas emisiones. La cantidad de partículas generadas en el diésel depende del diseño del sistema de inyección, la cámara de combustión y las condiciones de operación [41].

### 2.2.4.3. Emisiones de CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tiene la capacidad de durar mucho tiempo en la atmosfera en comparación a otros gases de efecto invernadero [31]. El apartado del transporte contribuye con el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina y el Caribe [3]. En el mundo se busca reducir la emisión de este gas a través de la reducción del consumo de combustible de los vehículos [60]. La cantidad de CO<sub>2</sub> emitida, considerando exclusivamente el tipo de vehículo, está determinada por la energía (combustible o electricidad) requerida para su desplazamiento y la eficiencia energética del tren de potencia de un vehículo [61]. La Figura 27, muestra los valores de las emisiones que un vehículo puede generar durante un año en relación a la cilindrada que posea el mismo, se hace referencia a un vehículo convencional, el cual engloba a su vez vehículos a gasolina y diésel [36].

**Figura 27.** Emisiones de CO<sub>2</sub> anuales por cilindrada del motor de un vehículo liviano



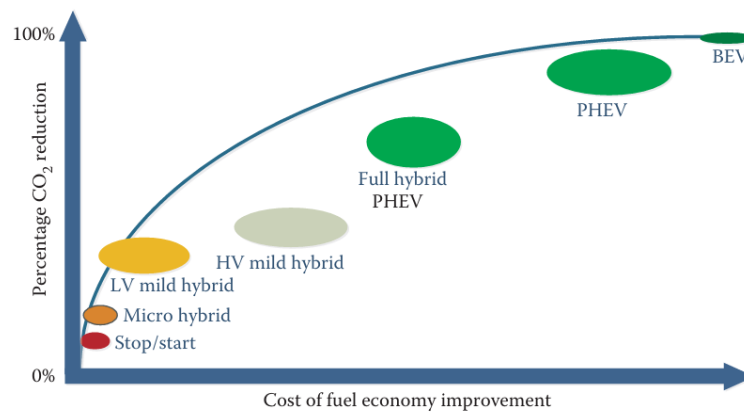
Tomado de: REM, Emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de combustible, 2020

La cantidad de energía requerida está determinada por el peso y la potencia del vehículo. Por lo tanto, a medida que aumentan la potencia y el peso del vehículo, se incrementa el consumo de combustible y, en consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> [62].

#### 2.4.4. Transporte sostenible

La transición hacia un sistema de transporte sostenible implica un cambio fundamental desde vehículos con motores de combustión interna, menos eficientes, hacia alternativas electrificadas que ofrecen mayor eficiencia energética y menores impactos ambientales. Esta electrificación no solo se limita al sistema de propulsión, sino que también puede aplicarse a componentes auxiliares del vehículo. La Figura 28 evidencia como medida que se incrementa el nivel de electrificación, se reduce el uso de combustibles fósiles, lo cual contribuye a una mejor economía de combustible y a una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> [63].

**Figura 28.** Mejora típica en la eficiencia y consumo del motor de tracción eléctrica



Tomado de: G. Wirasingha, and O. Gross, Advanced Electric Drive Vehicles, 2014

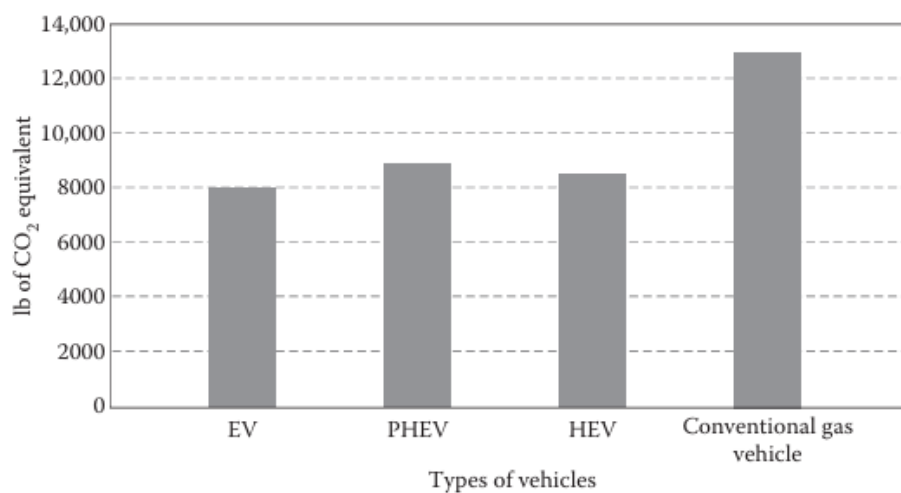
El proceso de electrificación abarca diferentes niveles, comenzando por los vehículos convencionales que incorporan cargas auxiliares eléctricas, hasta llegar a tecnologías más avanzadas como los híbridos suaves, híbridos completos, híbridos enchufables y finalmente los vehículos 100 % eléctricos. En este avance progresivo, se observa una reducción en el consumo de combustible y una ampliación en la autonomía eléctrica [42].

En los sistemas de propulsión electrificados, resulta clave la eficiencia del flujo de energía eléctrica, así como la densidad de energía y potencia de los componentes involucrados. Factores como la arquitectura del tren motriz, el diseño de sus elementos, los sistemas de control y el software asociado están estrechamente vinculados entre sí, influyendo de manera conjunta en el desempeño y la confiabilidad del vehículo.

#### 2.1.4.4. Beneficios del uso de hibridaciones

El uso de vehículos PHEV es visto para muchos gobiernos como la mejor opción de salida hacia la reducción de emisiones por parte de los vehículos, esencialmente, no se generan emisiones de escape porque el único subproducto del uso de máquinas eléctricas es la batería agotada, que puede ser reciclada o reutilizada para otras aplicaciones [31]. En general, los PHEV producen emisiones de escape mucho más bajas que los vehículos convencionales similares, mientras que producen cero emisiones de escape durante el rango de conducción totalmente eléctrica. Incluso cuando se comparan con las emisiones del pozo a la rueda (CO<sub>2</sub> equivalente), los PHEV reducen significativamente las emisiones en un tercio en comparación con los vehículos de gasolina convencionales, como se muestra en la Figura 29 [41].

**Figura 29.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en diferentes tipos de vehículos



Tomado de: Ali Emadi, Advanced Electric Drive Vehicles, 2020

Las centrales eléctricas que generan electricidad suelen tener una eficiencia mayor que los motores de combustión interna; mientras tanto, se ha generado cada vez más electricidad renovable, como la hidroeléctrica y la eólica, por lo que las emisiones en el lado de la generación se reducen aún más [41]. Además, dado que muchas centrales eléctricas están lejos de las ciudades, las emisiones están alejadas de las áreas residenciales humanas, mientras que los motores de combustión interna convencionales producen emisiones en las ciudades de manera significativa. Así, aprovechando la electricidad en las máquinas eléctricas, los vehículos PHEV pueden reducir considerablemente las emisiones de los tubos de escape de los vehículos [42].

## **2.5. Regulaciones alrededor del mundo en materia de eficiencia vehicular**

Con el objetivo de establecer rangos de referencia en cuanto al consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>, resulta fundamental analizar los límites establecidos por normativas internacionales. Diversos países han implementado estándares regulatorios más estrictos para vehículos de pasajeros, lo cual permite contar con parámetros comparativos que orienten el diseño de políticas y metodologías de evaluación en contextos locales.




130 g/km en 2015 a 95 g/km en 2021, utilizando un promedio corporativo basado en el peso del vehículo. Estados Unidos, por su parte, regula tanto la economía de combustible como GEI, alcanzando hasta 55.2 millas por galón (mpg) y 147 gCO<sub>2</sub>/mi para 2025. Japón aplica un sistema con metas de eficiencia que llegan hasta 20.3 km/L en 2020, mientras que China emite, exigencias que reducen el consumo hasta 5.0 L/100 km. Finalmente, Corea del Sur combina regulaciones de economía de combustible y emisiones de GEI, con metas que llegan hasta 24 km/L o 97 gCO<sub>2</sub>/km en 2020, siguiendo un modelo de promedio corporativo basado en peso.

### **2.1.5. Normativa de emisiones alrededor del mundo**

Las normas de emisiones establecen la cantidad máxima de gases contaminantes que un vehículo puede emitir a través del tubo de escape. La Figura 30 muestra una comparación

cronológica de las principales regulaciones de emisiones y consumo de combustible implementadas entre 2012 y 2025 en diversas regiones del mundo, como la Unión Europea, Estados Unidos y China [57].

**Figura 30.** Estándares de emisiones establecidos en distintos países

Country	Topic	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
	Limits	Euro 5b		Euro 6b		Euro 6d-TEMP		Euro 6d		?	?		Euro 7				
	RDE						Monitor	RDE NOx + PN		RDE CF* NOx 1.43, CF PN 1.5							
	CO <sub>2</sub> /FC						130 g/km CO <sub>2</sub>				95 g/km CO <sub>2</sub> (NEDC based)				-15%		
	Tech. Reg.	UNR 83 (NEDC)					EU 2017/1151 (WLTP)										
	EPA	US-EPA – Tier 2					US-EPA – Tier 3										
	CARB	US-CARB – LEV II				US-CARB – LEV III, phase in of 1 mg/mi PM standard 2025-2028											
	RDE																
	CO <sub>2</sub> /FC	GHG (2012-2016) 263 -> 225 g CO <sub>2</sub> /mi					GHG (2017-2025) 212 -> 143 g CO <sub>2</sub> /mi										
	Tech. Reg.	40 CFR PART 86					40 CFR PART 1066										
	National	China 4				China 5			China 6a			Ch 6b: Eu6 - 50%					
	Beijing	Beijing 5							China 6b ?								
	RDE										Monitor	RDE CF NOx and PN 2.1					
	CO <sub>2</sub> /FC	Fuel Consumption Stage 2		6.9 l/100km (161 g CO <sub>2</sub> /km)				Stage 4: 5 l/100km (117 g CO <sub>2</sub> /km), NEDC				Stage 5					
	Tech. Reg.	GB 18352.3-2005 (NEDC)				GB18352.5-2013 (NEDC)				GB 18352.6-2016 (WLTP)							

Tomado de: Engeljehring, Kurt, Emission Regulation Trends, 2018

El continente europeo ha establecido una evolución progresiva desde los límites Euro 5b hacia Euro 6d y la futura implementación de Euro 7. A partir de 2017, se introdujo el reglamento WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure, un ciclo de pruebas más realista que simula condiciones de conducción reales), reemplazando el antiguo NEDC (New European Driving Cycle, un ciclo anterior que subestimaba el consumo real), para reflejar mejor el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. También se han implementado pruebas de emisiones en condiciones reales de conducción (RDE, Real Driving Emissions), con factores de conformidad (CF) que controlan las emisiones de NOx (óxidos de nitrógeno) y partículas (PM). Desde 2021, se establece una reducción del 15% en emisiones promedio respecto a los valores base de WLTP [64].

EE. UU. emplea regulaciones bajo dos entidades principales: la EPA (Environmental Protection Agency, encargada de establecer límites nacionales de emisiones) y CARB (California Air Resources Board, organismo de California con normativas más estrictas). Se pasó de Tier 2 a Tier 3 (niveles de regulación federal sobre emisiones) y de LEV II a LEV III (Low Emission Vehicle, estándares que clasifican vehículos según sus emisiones, siendo LEV III más estricto que LEV II) [65]. Las normas CARB proyectan un estándar de partículas (PM) para el período 2025–2028. Además, se utilizan límites de GHG (Greenhouse Gases, gases de efecto invernadero) que acompañan al consumo de combustible bajo los códigos regulatorios 40 CFR PART 86 y 1066. A partir de 2017, también se considera el uso de dispositivos portátiles (PEMS, Portable Emissions Measurement System) para detección de trampas de emisiones [66]. China ha seguido una trayectoria escalonada de estándares desde China 4 hasta China 6, que incluye subdivisiones como 6a y 6b (esta última con una reducción del 50% en algunos límites). En Beijing, los estándares locales suelen anticiparse al resto del país. China también adoptó el ciclo WLTP (según la norma GB 18352.6-2016) y estableció metas de consumo desde Stage 2 hasta Stage 5 para 2025, con límites progresivamente más exigentes. El país también implementa fases de monitoreo y ensayos RDE adaptados a sus condiciones de altitud [67].

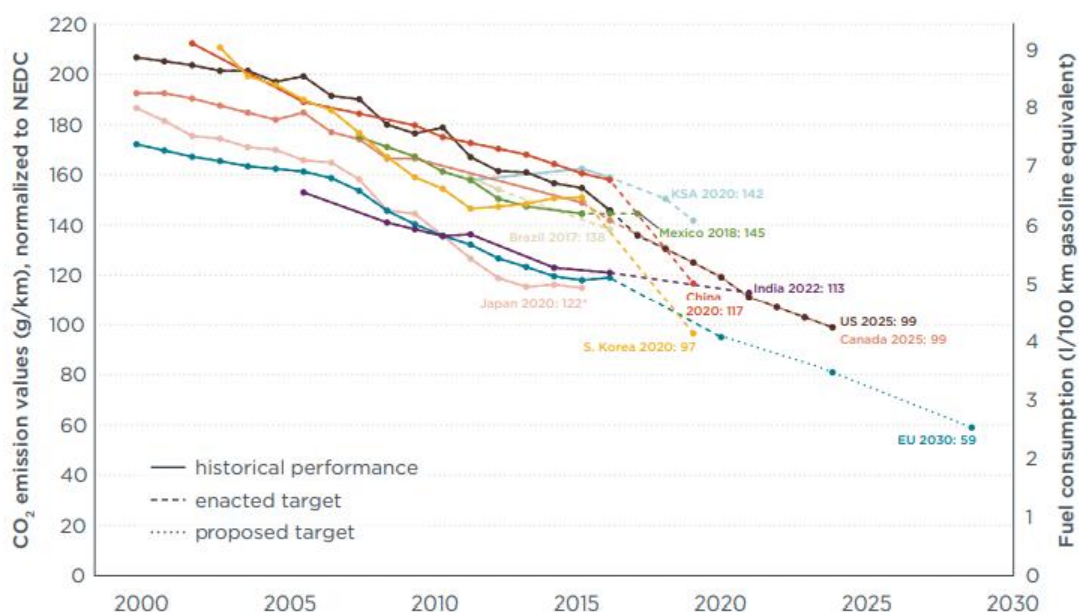
#### ***2.2.5. Objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible***

Las características de las flotas de automóviles varían según las regiones. Las especificaciones del vehículo, incluido el tamaño del motor, la potencia del motor, el peso del vehículo y el tamaño del vehículo, tienen un impacto en el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los vehículos a diésel son típicamente más eficientes que los automóviles de gasolina debido a la mayor densidad de energía del combustible diésel en comparación con la gasolina, y debido al diferente proceso de combustión. Este y los aspectos mencionados anteriormente son tomados muy en cuenta antes de establecer objetivos de consumo de combustible y emisiones

de CO<sub>2</sub>. La Figura 31 ofrece una visión general de los estándares de emisiones a nivel mundial de distintos países junto con su valor objetivo [68]. Con estos objetivos se busca una mejora constante en la eficiencia energética de los vehículos. Las líneas continuas representan el desempeño real, mientras que las líneas punteadas indican metas ya establecidas o propuestas para el futuro. La Unión Europea presenta los objetivos más ambiciosos, con una meta proyectada de 59 g CO<sub>2</sub>/km para 2030. Otros países como Japón, Corea del Sur, China, India, México, Brasil, Canadá y Estados Unidos también muestran progresos, aunque con distintos niveles de exigencia [69].

**Figura 31.** Objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible



**Tomado de:** Gerda Kuschel, Testing New Zealand vehicles to measure real-world fuel use and exhaust emissions, 2019

### 2.3.5. Regulaciones de emisiones ecuatoriana

En Ecuador, el control de emisiones vehiculares se rige por los Reglamentos Técnicos Ecuatorianos (RTE) y Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) emitidos por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN). Desde 2016, se exige que los vehículos importados o ensamblados cumplan al menos con la norma euro 3, mientras que en regiones como la Unión

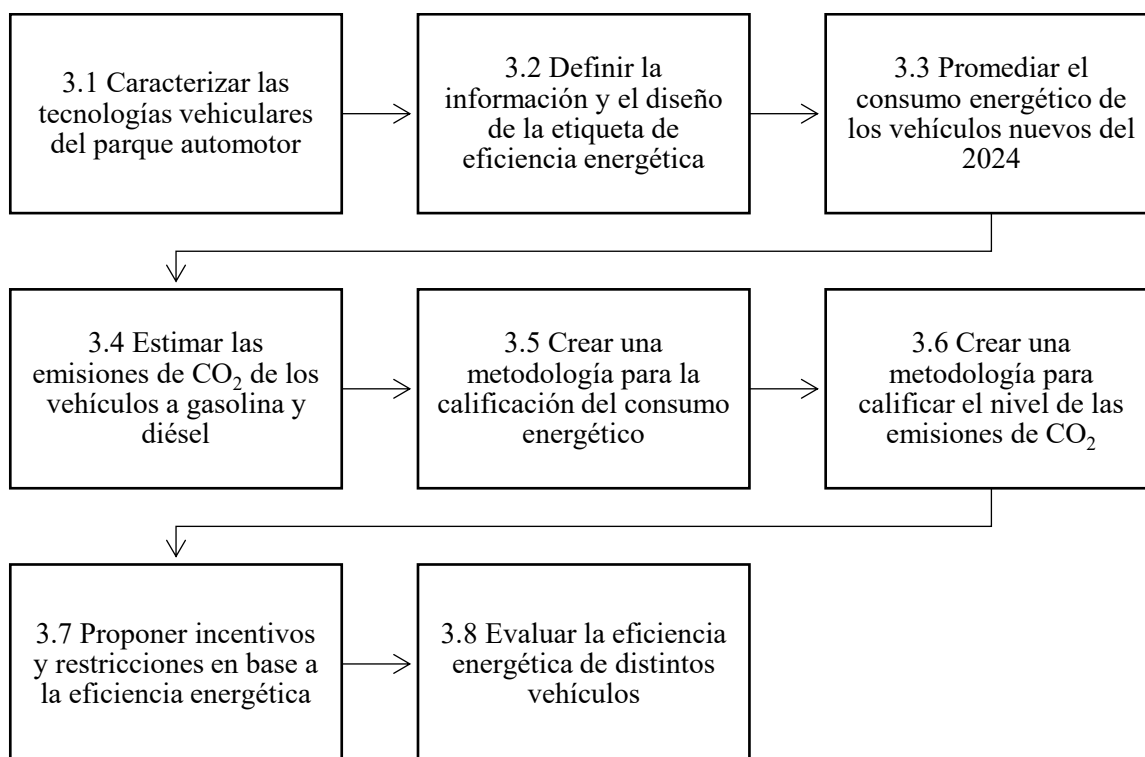
Europea ya se aplican estándares más estrictos como euro 6 [70]. Las normativas ecuatorianas, como la NTE INEN 2204 para vehículos a gasolina y la NTE INEN 2207 para diésel, establecen límites de emisiones mediante pruebas estáticas, que son menos exigentes en comparación con las pruebas dinámicas utilizadas en otras regiones. Estudios comparativos han evidenciado que los límites de emisiones permitidos en Ecuador pueden ser hasta un 210% más altos que los establecidos por las normativas europeas, lo que indica una necesidad de actualización y alineación con estándares internacionales más rigurosos para reducir el impacto ambiental del parque automotor nacional [71]. Ecuador no ha mostrado posturas, para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de los vehículos.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

Este estudio se centra en el desarrollo de una metodología de etiquetado de vehículos livianos para el Ecuador, considerando la situación actual del parque automotor y tomando en cuenta varios parámetros que influyen en la eficiencia energética de un vehículo, buscando así una ruta que se adapte a las condiciones del país. La Figura 32, redacta de forma sistemática el proceso a seguir para llevar a cabo el desarrollo de la metodología, partiendo desde una caracterización del parque automotor de todos los vehículos nuevos registrados en 2024, que va de la mano con el análisis de cada uno de los apartados hasta llegar a la propuesta de incentivos y restricciones fiscales, culminando con una evaluación a los vehículos más vendidos del 2024 a manera de poner a prueba la metodología final.

**Figura 32.** Metodología para el desarrollo del etiquetado de vehículos livianos



(Autoría propia)

Tras la revisión realizada en el marco teórico, el parque automotor ecuatoriano, se conforma principalmente por vehículos propulsados por gasolina y diésel, razón por la cual, se consideran únicamente estos dos combustibles líquidos para el desarrollo de la metodología. Se considera el mismo criterio para los HEV y EV, los subclasificados del primer tipo, serán considerados en base al nivel de electrificación para su propulsión y en base a el nivel de participación dentro del parque automotor. La metodología considera todos los vehículos livianos del parque automotor ecuatoriano, por lo que, todos los vehículos sin importar el sistema de control de emisiones pueden participar; ya que, lo único que se toma en cuenta es el consumo energético.

### 3.1. Caracterizar las tecnologías vehiculares del parque automotor

La caracterización de tecnologías vehiculares involucra la identificación y clasificación de las diferentes tecnologías. Se enfoca en comprender cómo estas tecnologías afectan en la eficiencia energética, emisiones de los gases del tubo de escape, seguridad y experiencia del usuario [72]. La implementación de un sistema de etiquetado de eficiencia energética para vehículos livianos requiere una evaluación multicriterio que priorice variables, tras una revisión bibliográfica, las variables que involucran el rendimiento de un vehículo están relacionadas con los siguientes grupos que se muestran en la Tabla 11.

Los datos correspondientes a la edad y el tipo de sistema de control de emisiones proporcionarán una visión clara de la manera en la que se debe llevar a cabo el etiquetado y la imposición de restricciones, así como la focalización de los incentivos.

**Tabla 11.** Grupos para la caracterización del parque automotor de vehículos livianos

<b>Grupo</b>	<b>Fuente</b>
<b>Edad</b>	Parque automotor 2024 [6]
<b>Sistema de control de emisiones</b>	Vehículos nuevos 2024 [73]

**Nota:** Esta distribución de fuentes se da debido al acceso limitado a la información (Autoría propia)

### 3.2. Definir la información y el diseño de la etiqueta de eficiencia energética

La información que se va a mostrar en la etiqueta debe ser fácil de comprender para el usuario común, sin dejar de ser información técnica. El contenido para el etiquetado responde a una combinación de factores técnicos, ambientales, económicos y funcionales que permiten una evaluación integral del desempeño de cada vehículo. La información en la etiqueta diferirá en ciertos aspectos dependiendo de si este es propulsado por combustibles líquidos, baterías, o una combinación de ambas, teniendo como caso especial a los híbridos enchufables.

La etiqueta contendrá información de la economía de combustible, la cual se define como el número promedio de kilómetros recorridos por un automóvil por cada litro de gasolina, la cual se mostrará en relación con otros vehículos de la misma clase. Para los vehículos que no usen combustibles líquidos, la economía de combustible se muestra en km/L equivalente, la cual representa una conversión de kilovatios hora a litros, tomando como factor que 1 litro de gasolina equivale a 8,9 kWh de energía para facilitar la comparación entre los vehículos, independientemente de la tecnología. Para ello, el fabricante de cada vehículo será el responsable de proporcionar la información de consumo de combustible en ciudad y carretera, posteriormente se obtendrá el valor de economía de combustible combinado mediante la siguiente ecuación:

$$FC_{\text{combinado}} = \frac{1}{\frac{0,55}{FC_{\text{urbano}}} + \frac{0,45}{FC_{\text{extrau}}}} \quad \text{ec.1}$$

Donde:

$FC_{\text{combinado}}$ : economía de combustible expresada en l/100km.

$FC_{\text{ciudad}}$ : economía de combustible en condiciones urbanas expresada en l/100km.

$FC_{\text{extraurbano}}$ : economía de combustible en condiciones extraurbanas expresada en l/100 km.

0,55 y 045, son coeficientes que definen los porcentajes de conducción en condiciones urbanas o extraurbanas, establecidas por la Normativa Europea (Directiva 1999/100/CE y Reglamento UE 2017/1151).

Como prioridad luego de la información del consumo energético, la etiqueta mostrará una barra deslizable de números que califiquen la eficiencia energética y el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, que irá acompañada de información específica sobre el valor de emisiones de CO<sub>2</sub> en g/km. Como datos adicionales importantes acerca del vehículo, se mostrará, el nombre y el año del modelo, la identificación del tipo de sistema de control de emisiones, el costo estimado anual de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el ahorro proyectado a 5 años, la calificación de la economía de combustible, todo esto con relación a toda la flota de vehículos nuevos, y por último un código QR con acceso a una ficha técnica. Para los vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos, se mostrarán rangos de autonomía. En el caso de la dependencia de una fuente de electricidad externa, se mostrarán los tiempos de carga a 220 y 240 voltios o 120 voltios como última opción.

En el caso de un híbrido enchufable, se mostrará el uso de energía durante la operación con la batería completamente cargada (en serie o paralelo, se combina el consumo energético con la batería y el motor de combustión interna) y cuando la batería no este proporcionando ninguna asistencia, es decir, se muestran valores de economía de combustible para cada modo de operación. La calificación estará determinada por un supuesto del uso relativo de los dos combustibles. Aquellos que operen sin dicha combinación, mostrarán el rango de autonomía solo con la electricidad, y en el caso de que la propulsión si sea combinada se mostrará el rango total por cada modo de operación y en combinado.

Dicha información se distribuye en cuatro secciones principales (Tabla 12), la primera que abarca información relacionada al consumo energético y demás datos de rendimiento del vehículo, la segunda sección muestra la barra deslizable con las respectivas calificaciones y la información sobre el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, la tercera sección contendrá todo lo relacionado a los costos monetarios y por último un mensaje hacia el usuario acerca de la importancia de realizar un manejo responsable acompañado del QR antes mencionado.

**Tabla 12.** Distribución de la información en la etiqueta de eficiencia energética

Modelo	Tipo de vehículo
Información de consumo de combustible en l/100km, rangos de autonomía y tiempos de carga para tecnologías alternativas.	Costos de consumo de combustible proyectados a 5 años y costo del galón a los 100 km
Zona de calificación a través de una barra deslizante con un número del 1 al 10 y el valor de emisiones de CO <sub>2</sub> , a manera de información.	
Información adicional para el usuario y un código QR	

(Autoría propia)

### 3.3. Promediar el consumo energético de los vehículos nuevos del 2024

Este apartado se centra en obtener valores promedio de consumo energético combinado de todo el parque automotor de vehículos que se registraron como nuevos en 2024.

Para estimar el consumo energético, en primer lugar, se debe considerar que los fabricantes serán los encargados de proporcionar tal información, que en primer lugar deberá estar proporcionada bajo ciclos de conducción tales como: WLTP, FTP-75 + HWFET, o sus equivalentes, dependiendo del país de origen. En todo caso, entes autorizados del estado ecuatoriano se encargarán de que estos valores sean verídicos y de encontrar discrepancias, deberán velar por imponer tolerancias o solicitar nuevos ensayos por parte del fabricante.

Para el presente estudio, se obtendrán valores de consumo energético, a partir de información proporcionada por fuentes bibliográficas colgadas en la web, la Tabla 13, muestra las diferentes fuentes a las que se recurrirá para obtener los datos de la presente sección. Los valores de consumo energético se consideran estimadas, debido a que actualmente en el Ecuador no se solicita de manera estricta que el fabricante proporcione información.

**Tabla 13.** Fuentes para la obtención de valores de consumo energético

<b>Datos</b>	<b>Fuente</b>
<b>Parque automotor de vehículos nuevos</b>	Vehículos nuevos 2024 [73]
<b>Consumo energético combinado</b>	Fichas técnicas, o sitios web confiables

(Autoría propia)

Para aquellos vehículos ensamblados en el Ecuador, el valor del consumo energético combinado estará determinado por un único valor, el cual puede ser empírico, debido a que, estos no son sometidos a ciclos de conducción o ensayos dinámicos que determinen el consumo energético en condiciones de ciudad o carretera antes de ser comercializados.

### 3.4. Estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos a gasolina y diésel

Para la obtención de este valor, al igual que el consumo energético, se requiere de ensayos dinámicos bajo ciclos de conducción, por ende, algunos vehículos carecerán de este valor en sus características técnicas. La Tabla 14, indica que este valor se puede encontrar en fichas técnicas o sitios web, sin embargo, como se mencionó anteriormente, un vehículo puede carecer de este valor a manera de información. Para estimar este valor, se recurre a metodologías utilizadas por la IPCC, que integra ecuaciones matemáticas dependiendo de la información que se tenga acerca de los combustibles utilizados específicamente en la región.

**Tabla 14.** Fuentes para la obtención de valores de emisiones de CO<sub>2</sub>

Fichas técnicas o sitios web de fabricantes
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b>
Estimación a través de metodologías definidas por la IPCC.

**Nota:** La estimación se calcula a partir de los valores del consumo energético (Autoría propia)

El cálculo a través de la metodología descrita en el capítulo tres como combustión móvil por la IPCC, menciona que las emisiones pueden calcularse a partir del volumen de combustible utilizado o la distancia que recorren los vehículos. La forma más precisa de obtener estas

emisiones es considerando tanto la cantidad como el tipo de combustible consumido, así como su proporción de carbono. La metodología orienta la selección entre los métodos de Nivel 1 o Nivel 2, los cuales se describen a continuación

El enfoque de Nivel 1 estima las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la multiplicación del volumen de combustible vendido por un factor de emisión predeterminado. Esta metodología se encuentra representada en la siguiente ecuación.

$$\text{Emisión} = \text{Consumo} * \text{FE} \quad \text{ec.2}$$

Donde:

Emisión: Emisiones de CO<sub>2</sub> (g/km)

Consumo: Combustible consumido (kg/km)

FE = Factor de emisión (g/kg)

El consumo de combustible que se utiliza en este apartado será el que se obtuvo luego de la ecuación, es decir se considera el consumo de combustible combinado expresado en kg/km.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> considera la totalidad del carbono presente en el combustible, incluyendo aquel que se libera en forma de dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles distintos del metano y material particulado.

Por otro lado, el enfoque de Nivel 2 se asemeja al de Nivel 1, con la diferencia de que utiliza datos nacionales sobre el contenido de carbono específico de los combustibles comercializados para el transporte terrestre, El factor de emisión se calcula en función del contenido real de carbono del combustible consumido en el país, el cual se puede estimar a partir de la proporción de carbono e hidrógeno en el combustible:

$$\text{FE} = 44.001 * \frac{1000}{12.011 + 1.008 * \frac{r_H}{C}} \quad \text{ec.3}$$

Donde:

FE: Factor de emisión másica de CO<sub>2</sub> (g/kg)

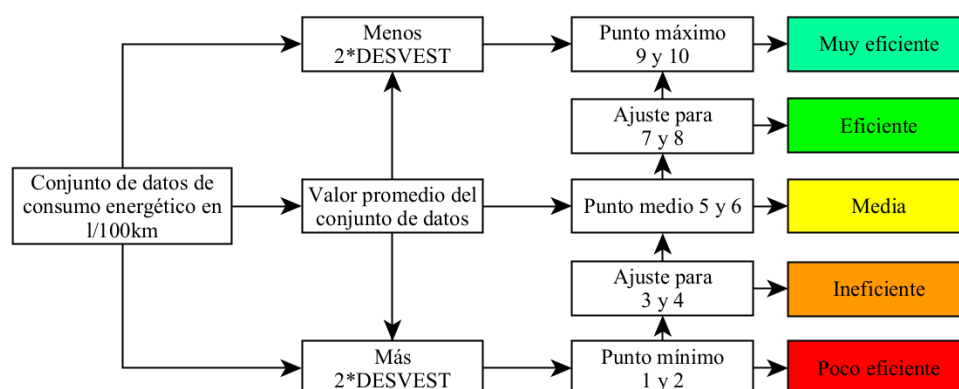
rH/C: Proporción de átomos de carbono a hidrógeno en el combustible ( $\sim 1,008$  para la gasolina y  $\sim 2,0$  para el diésel).

### 3.5. Crear una metodología para la calificación de la economía de combustible

El sistema de calificación de la economía de combustible deberá ser universal, es decir, deberá tomar en cuenta todos los vehículos nuevos, evitando tener en cuenta grupos o clases. Para ello se recurre al uso de una tabla que integra números del 1 al 10 en la que “10” figura como muy eficiente y “1” figura como poco eficiente.

La metodología que se muestra en la Figura 33, distribuye los valores de consumo energético correspondientes a cada número a manera de calificación. El valor promedio del consumo energético que se obtuvo en el apartado 3.3 de la presente sección, se establecerá como un punto medio de la tabla, que representará el número 5 y 6. Los valores de consumo energético que sean iguales o mayores a el valor promedio más dos desviaciones estándar se establecen como muy eficientes, es decir, obtendrán una calificación de 10, los valores de consumo energético que sean iguales o menores a el valor promedio, menos dos desviaciones estándar se establecen como poco eficientes, es decir obtendrán una calificación de 1. Los valores comprendidos entre las calificaciones de 9-7 y 4-2, se ajustarán en intervalos iguales hasta alcanzar los valores máximos y mínimos.

**Figura 33.** Metodología para definir la tabla de consumo energético



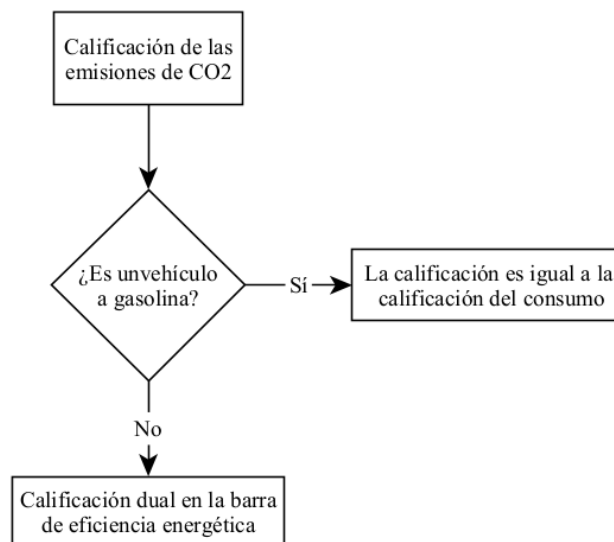
(Autoría propia)

### 3.6. Crear una metodología para la calificación de las emisiones de CO<sub>2</sub>

La calificación del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, será directamente proporcional a los valores de consumo energético obtenidos en la sección anterior, es decir, se sigue el mismo modelo de tabla que comprende valores que van del 1 al 10, y los valores de emisiones se obtendrán en función a los valores de consumo, a través de las ecuaciones matemáticas descritas en el apartado 3.4 de la presente sección, tomando en cuenta únicamente los valores del combustible con mayor presencia dentro del parque automotor.

El árbol de decisión que se muestra en la Figura 34, determina la manera en la que se llevará a cabo la calificación para las emisiones de CO<sub>2</sub>. En vehículos a gasolina será directamente proporcional, es decir, si un vehículo a gasolina obtiene una calificación “9” en la tabla del consumo energético, la calificación para las emisiones de CO<sub>2</sub>, será la misma. La calificación será diferente si se trata de vehículos a diésel o algún otro tipo de combustible.

**Figura 34.** Árbol de decisión para la calificación del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>



(Autoría propia)

Para el caso de los vehículos eléctricos, se deberá señalar que dicho vehículo, emite cero emisiones de CO<sub>2</sub>, durante su uso, por lo que la calificación de emisiones de este será de 10, así como para la calificación del consumo de combustible, este caso se considera especial.

Aunque esta forma de calificación no es determinante para determinar la eficiencia energética, por ello se pondrá en práctica otro método de calificación en el que la calificación del nivel de emisiones determina la eficiencia energética del vehículo, estudios realizados en años anteriores, establecieron como valor objetivo o valor intermedio de emisiones de CO<sub>2</sub>, y a partir de ella se tenía una ponderación alfabética, dicha metodología se describe a continuación.

La ponderación alfabética, está condicionada por la desviación de emisiones de CO<sub>2</sub>, respecto a un valor promedio, que se considera intermedio, tal como se muestra en la Figura 33. Pese a que Ecuador no ha establecido un objetivo referente a este gas. Estudios realizados por la Escuela Politécnica Nacional, establecieron un objetivo de referencia para nuestro país, el resultado de dicha investigación fue de 175,2 gCO<sub>2</sub>/km. Partiendo de esta premisa, países como España y Alemania establecen el siguiente método para establecer la calificación alfabética [5].

**Figura 35.** Clasificación según la desviación de las emisiones de CO<sub>2</sub> con la media

Desviación del consumo respecto a la media	Clasificación
-25 % o menos	A
-15% a -25%	B
-5% a -15%	C
Media a +5%	D
+5 a +15%	E
+15 a +25%	F
+25% o más	G

Tomado de: Real Decreto 837/2002

Para calcular esta desviación se usa la siguiente ecuación:

$$Desviación = \frac{Emisión - Emisión_{ref}}{Emisión_{ref}} * 100 \quad \text{ec.4}$$

Donde:

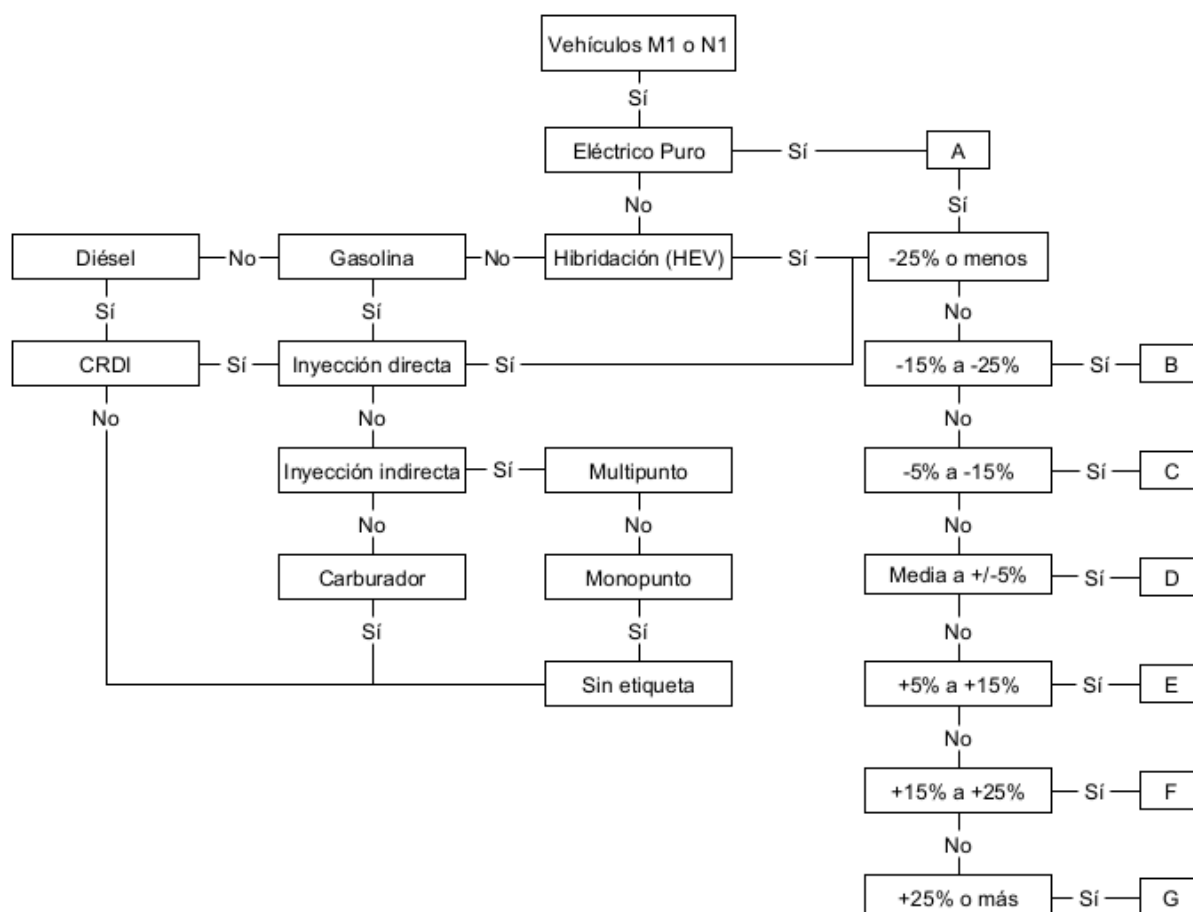
Desviación: desviación del consumo respecto a la media (%)

Emisión: emisión de CO<sub>2</sub> del vehículo (gCO<sub>2</sub>/km)

Emisión<sub>ref</sub>: emisión de CO<sub>2</sub> objetivo (175,2 gCO<sub>2</sub>/km).

En base a ello se propone una metodología de etiquetado que se muestra en la Figura 36, teniendo como principales tecnologías a los vehículos a gasolina, todas las hibridaciones y los vehículos eléctricos, se excluyen cierto tipo de tecnologías debido a que se consideran muy obsoletas y pueden resultar demasiado afectadas al momento de recibir una calificación.

**Figura 36.** Árbol de decisión para el etiquetado en base al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>



**Nota:** El cómo respondan los resultados en el apartado de la evaluación en distintos vehículos responderá a la viabilidad de la metodología establecida en el árbol de decisión

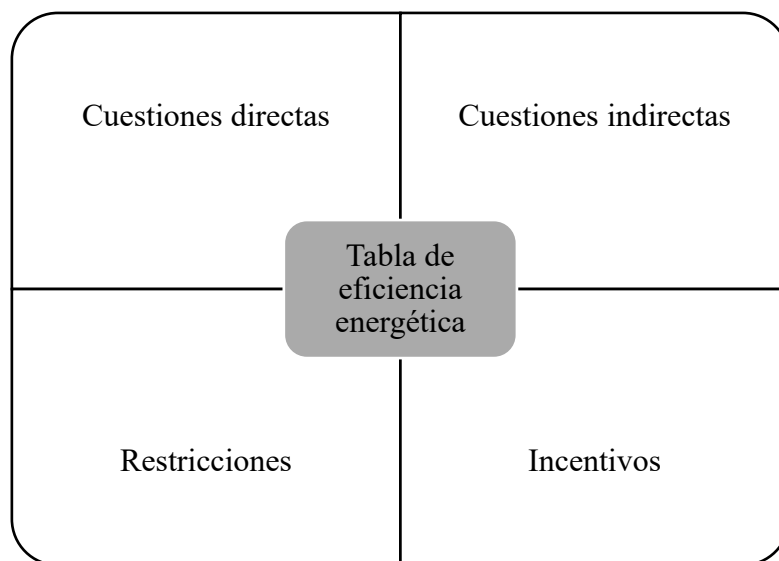
(Autoría propia)

### 3.7. Proponer incentivos y restricciones

Los EV representan una alternativa clave para descarbonizar el sector transporte y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En la última década, diversos países europeos han aplicado políticas de incentivos financieros orientadas a estimular su adopción.

Estudios recientes demuestran que los incentivos aplicados en el momento de la compra tienen un efecto positivo sostenido en el aumento de las matriculaciones de vehículos eléctricos de batería (BEV) y vehículos híbridos enchufables (PHEV), siendo más significativo y duradero en el caso de los BEV. En contraste, las políticas orientadas exclusivamente a propietarios, como beneficios fiscales posteriores a la compra, no generan impactos relevantes en la adopción. Asimismo, se observa que la efectividad de estas políticas varía según el nivel de ingreso per cápita y el grado de penetración de energías renovables en cada país [74]. En la Figura 37, se muestran las áreas en las que el estudio puede aportar como instrumento informativo hacia otro tipo de instrumentos como normativos y fiscales tras una revisión del estado de las políticas regidas en Ecuador en el marco teórico.

**Figura 37.** Matriz de propuestas en base a la tabla eficiencia energética



(Autoría propia)

Diversos estudios han evidenciado que los potenciales usuarios de EV están principalmente motivados por la reducción de costos, tanto iniciales como operativos, más que por preocupaciones ambientales. No obstante, persisten barreras como el alto costo de implementación de estas tecnologías y la incertidumbre sobre su rentabilidad, aspectos que también inquietan al sector empresarial. Por ello, se vuelve crucial que las políticas públicas

incluyan incentivos económicos dirigidos a reducir los costos de adquisición y operación, así como restricciones graduales a tecnologías más contaminantes, para orientar de forma efectiva el cambio de comportamiento de los usuarios y favorecer una mayor adopción de vehículos con tecnologías limpias [75].

### 3.8. Evaluar la eficiencia energética de distintos vehículos

Para la aplicación del etiquetado se seleccionarán vehículos aleatoriamente sin importar el tipo de sistema de control de emisiones, la edad o el modelo. En la Tabla 15, se muestra la marca, el año y modelo correspondiente a cada vehículo. Todo esto con el objetivo de analizar la viabilidad de las distintas metodologías descritas anteriormente.

**Tabla 15.** Vehículos para evaluar

<b>Modelo</b>	<b>Clase</b>	<b>Año</b>
<b>D-max</b>	Camioneta	2024
<b>Groove</b>	SUV	2025
<b>Soluto</b>	Automóvil	2025
<b>Sportage</b>	SUV	2014
<b>F-150</b>	Camioneta	2012
<b>Hilux</b>	Camioneta	2008
<b>Tahoe</b>	SUV	2005
<b>Susuki forza</b>	Automóvil	1989

(Autoría propia)

## CAPITULO IV

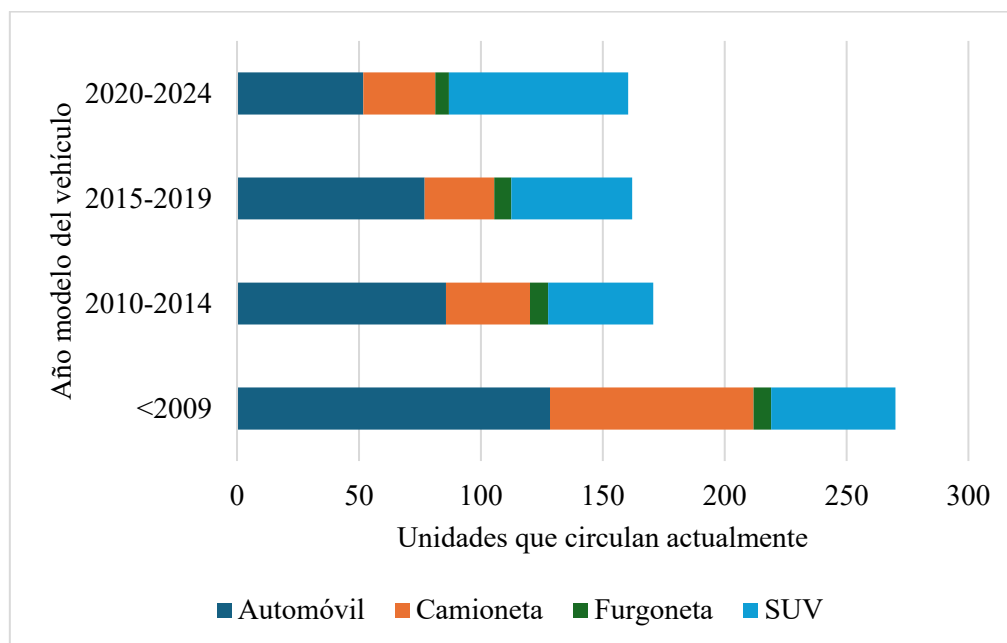
### RESULTADOS Y ANÁLISIS

La obtención de la información y los resultados, responden a las tablas modelo y los árboles de decisión desarrollados en la metodología. A continuación, se muestran los resultados obtenidos, en función de cada una de los flujogramas y el análisis de la viabilidad de la metodología en general para la aplicación de etiquetado en base a la eficiencia energética. Los resultados engloban el total de los vehículos que circulan en el Ecuador en función del tipo de vehículo ya sea convencional o alternativo y el tipo de sistema de control de emisiones con el que se encuentra equipado. Se hizo un análisis de toda la flota de vehículos y especialmente se tomó como referencia para el promedio de consumo energético la flota de vehículos livianos que se registraron como nuevos en el 2024.

#### **4.1. Concentración del parque por edad y clase**

El parque automotor de vehículos livianos conformado por 763 359 unidades en total, se encuentran distribuido en distintos rangos de edades. La Figura 38 indica que aproximadamente el 35% de estos corresponden a modelos inferiores al año 2009, es decir vehículos con más de 15 años, lo cual indica un envejecimiento de la flota y por ende la circulación de tecnologías obsoletas e ineficientes con respecto a la alternativa que se tienen en la actualidad.

En los últimos años la presencia de vehículos SUV ha ido en aumento, en contraste la presencia de automóviles es menor, es decir, la presencia de vehículos grandes representa un incremento en el consumo energético, aunque para analizar bien esto hay que ver si estos corresponden a vehículos convencionales o alternativo como HEV, PHEV, EV, etc.

**Figura 38.** Unidades de vehículos por año modelo

(Autoría propia)

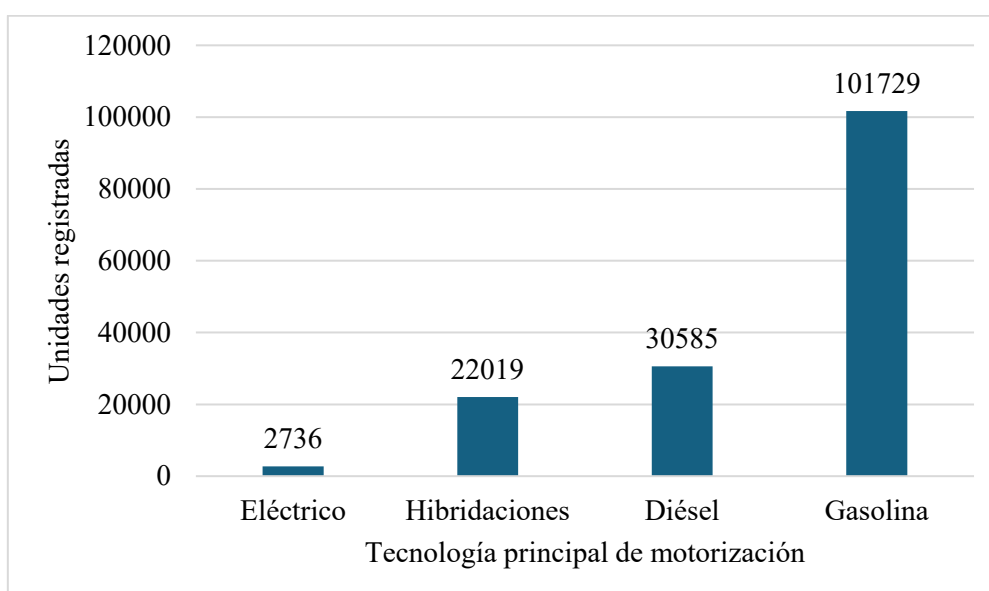
Si analizamos la distribución de los vehículos en el resto de los años, estos se encuentran distribuidos casi uniformemente de la siguiente manera, el 22,36% se concentra entre 2010 y 2014, el 21,23% entre 2015 y 2019, y finalmente el 21,02% entre 2020 y 2024, en ellos también se evidencia una distribución aproximadamente frecuente respecto al tipo de vehículo. Esto indica que la forma en la que se venden o se prefiere adquirir un vehículo en el Ecuador sigue un modelo de preferencia con respecto al tipo de vehículo que se va a adquirir (propósito de fabricación del vehículo).

Los automóviles y las camionetas son los vehículos que tienden al envejecimiento, mientras que aquellos que corresponden a los SUV, muestran un crecimiento notable a partir del año 2019, siendo el único tipo de vehículo que ha cambiado su dinámica dentro del parque automotor del Ecuador. Las furgonetas por su parte se han mantenido igual en todos los años términos de proporción de ventas.

#### 4.2. Concentración de sistemas de control de emisiones

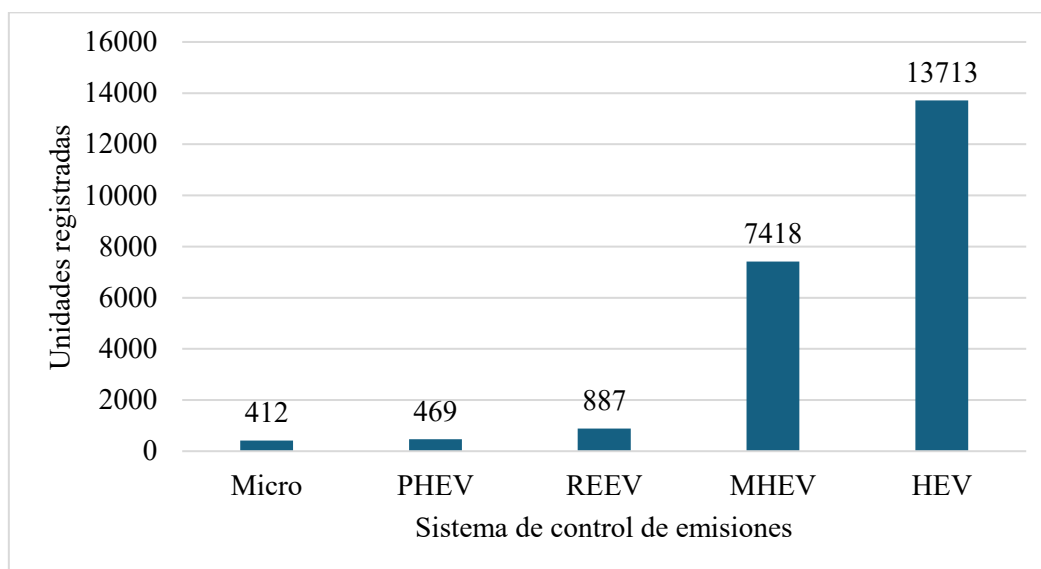
El parque automotor de vehículos nuevos registrados en el 2024 está conformado principalmente por aquellos vehículos que son propulsados por la gasolina, seguido por el diésel, las hibridaciones y los eléctricos. La Figura 39, muestra el número de unidades registradas por tipo de motorización, en el caso de los vehículos a gasolina, conforman el 63% del total, el diésel con un 19%, seguido muy de cerca por las hibridaciones que conforman el 14%, los eléctricos por su parte representaron únicamente el 1,7% del total.

**Figura 39.** Tipos de motorizaciones de los vehículos nuevos



(Autoría propia)

Teniendo en cuenta que dentro de los vehículos que se consideran como híbridos dentro del Ecuador, se debe analizar la presencia de los distintos tipos de hibridaciones que se registraron en 2024. La Figura 40, muestra la concentración de cada tipo de vehículo híbrido por el número de unidades que se registraron como nuevos en el 2024. La presencia de los híbridos suaves (MHEV), y los híbridos completos (HEV), representan más de 85%, lo cual muestra, que aún se sigue dependiendo de motores de combustión interna para la movilización. Las tecnologías consideradas más eficientes, luego de la revisión bibliográfica aún no tienen una presencia consolidada en la preferencia de los usuarios dentro del sector automotriz.

**Figura 40.** Concentración de vehículos electrificados nuevos en 2024

(Autoría propia)

Adicionalmente, hay que considerar que la mayoría de estos vehículos, aun ingresan al país bajo normativas como la Euro 3 o en el mejor de los casos Euro 5, sin embargo, la calidad de los combustibles y la falta de regulaciones más estrictas en temas de sistemas de postratamiento, hacen que este tipo de tecnologías tiendan a malograrse, lo cual genera algún tipo de desconfianza por parte de los usuarios, haciendo que aun opten por tecnologías dependientes de tecnologías convencionales para su propulsión.

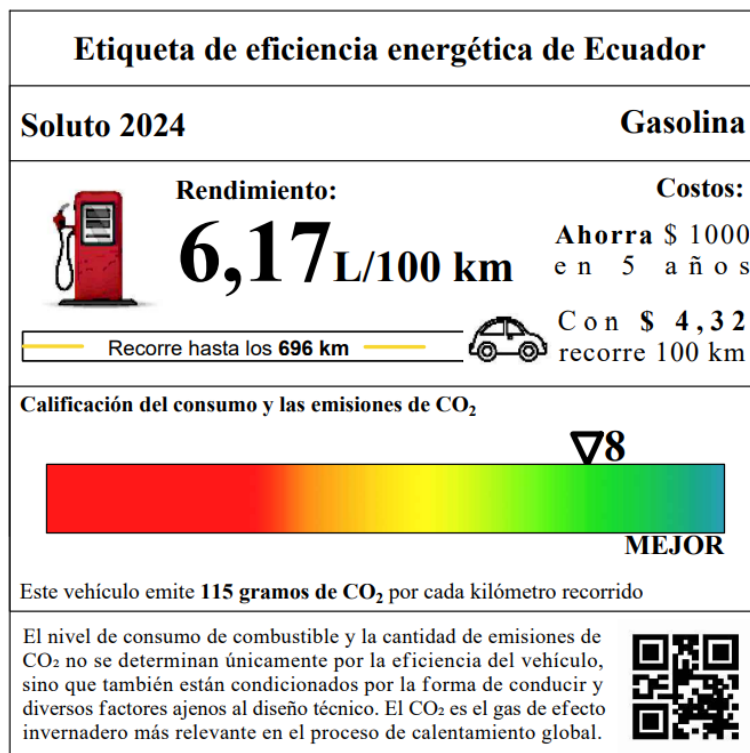
Definir un cuadro de eficiencia energética en base a todos los resultados previos obtenidos hasta aquí y las tecnologías definidas en la metodología, definirá la mejora de estas falencias en base a políticas de implementación y la imposición de incentivos y restricciones.

#### 4.3. Etiquetas de eficiencia energética

Las etiquetas deberán ir enfocadas hacia aquellas tecnologías con mayor presencia dentro del parque automotor, a partir de la Figura 39 y Figura 40, se puede concluir que las etiquetas deberán ir enfocadas hacia tecnologías como: vehículos convencionales a gasolina y a diésel; vehículos microhíbridos, híbridos medios, híbridos completos, híbridos enchufables, híbridos de rango extendido y finalmente vehículos eléctricos de baterías.

La etiqueta destinada a vehículos convencionales diferirá únicamente en apartado de la identificación del tipo de combustible y la calificación del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, la Figura 41 muestra la etiqueta propuesta para el uso en los vehículos convencionales.

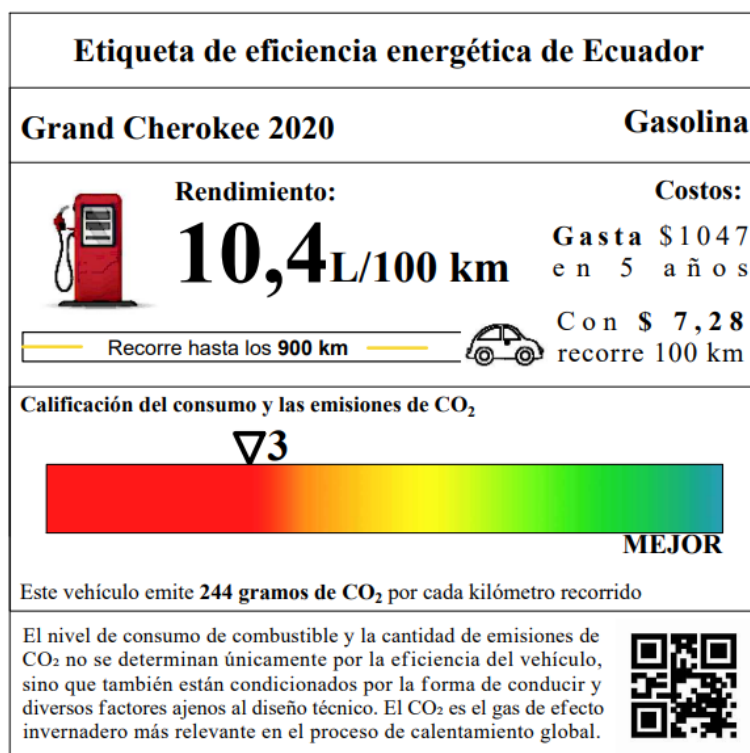
**Figura 41.** Etiqueta para vehículos convencionales a gasolina.



(Autoría propia)

En cuanto a las dimensiones, se propone una etiqueta con forma cuadrada, con sus respectivas subdivisiones, teniendo en cuenta la prioridad de cada información, resaltándola con tamaños de letras más grandes y formatos de letra en negrita. En el caso anterior se ejemplifica la información a ser mostrada al tratarse de un vehículo por encima del promedio, es decir un vehículo eficiente con una calificación superior a 6. La Figura 42, muestra la etiqueta que se usará para un vehículo que resulte ineficiente o que se encuentre por debajo del promedio, es decir con una calificación por debajo de 5. La información que se modifica es la que habla del “ahorra” en cuanto al repostaje, siendo sustituida por la palabra “gasta”.

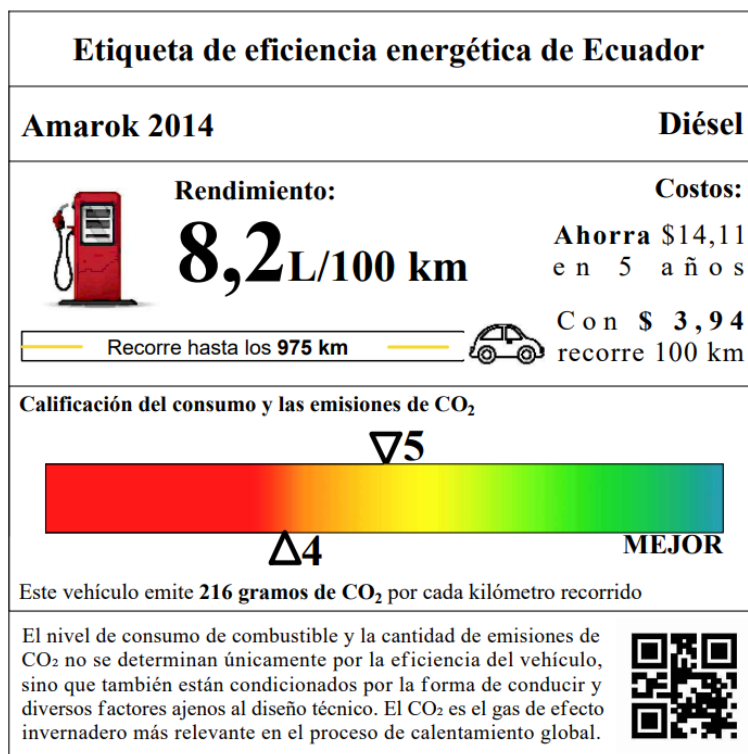
**Figura 42.** Etiqueta de eficiencia energética para un vehículo ineficiente



(Autoría propia)

En el caso de que se trate de un vehículo a diésel, se mencionara el cambio del tipo de combustible en la etiqueta y se añade una calificación adicional acerca de las emisiones de CO<sub>2</sub>, dado que se definió como punto importante en la metodología. La Figura 43, muestra que en la barra de eficiencia energética se añade otra calificación correspondiente al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, que se tiene en un vehículo a diésel, indicando que es importante considerar que el vehículo emite mayores cantidades de este gas, con respecto a una tabla referencial basada en el proceso de combustión de un vehículo a gasolina, aunque hay que aclarar que esta segunda calificación, solamente tiene como objetivo informar al usuario sobre estas emisiones.

**Figura 43.** Etiqueta de eficiencia energética para un vehículo a diésel

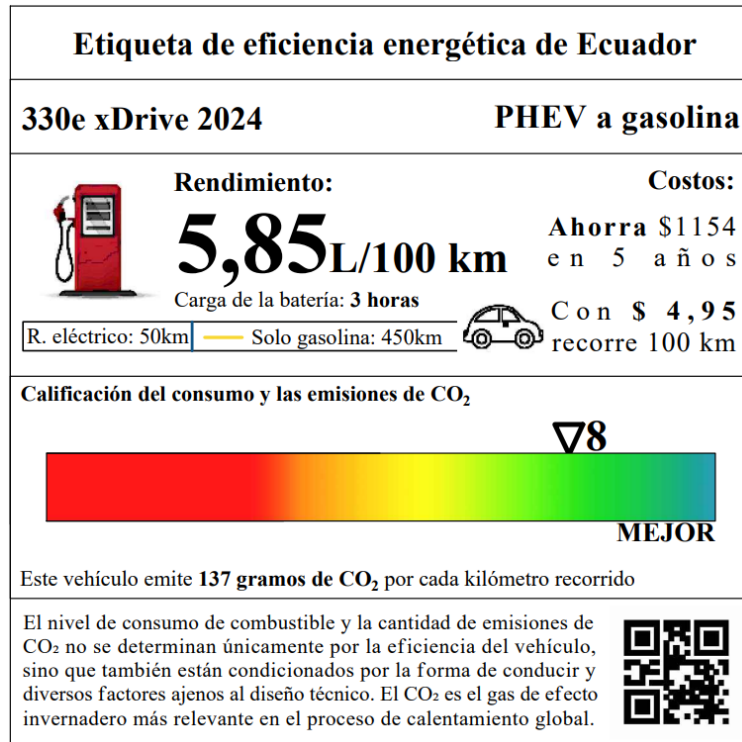


(Autoría propia)

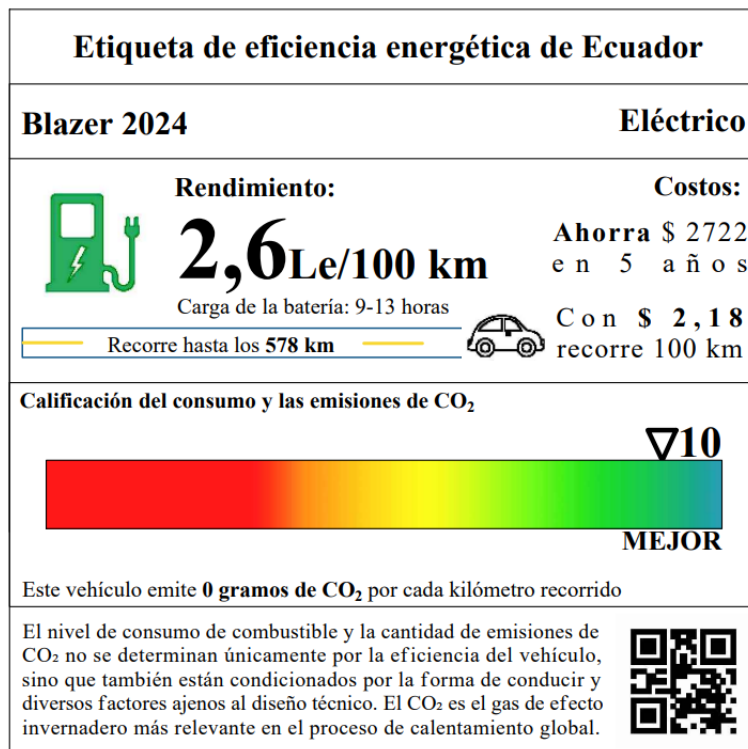
Las etiquetas para vehículos como los; microhíbridos, híbridos medios, híbridos completos e híbridos de rango extendido, conservaran el mismo diseño al de la etiqueta de gasolina, con la única diferencia de que en ellas será necesario identificar el tipo de sistema de control de emisiones y el tipo de combustible líquido que se usa para la propulsión.

Si seguimos avanzando en base al nivel de electrificación de un vehículo, un sistema híbrido completo enchufable y un eléctrico, representan cambios importantes en cuanto a la propulsión, por lo que, definir un tipo de etiqueta diferente resulta puntual para estos tipos de sistemas de control de emisiones. La Figura 44, ejemplifica cada una de las etiquetas respectivamente, teniendo como resultados la necesidad de mostrar la autonomía del PHEV en cada modo de operación y los tiempos de carga que son necesarios para que la batería de alto voltaje logre cargarse por completo desde 0 hasta el 100% en ambos casos.

Figura 44. Etiqueta de eficiencia energética de un (1) PHEV y (2) EV



(1)



(2)

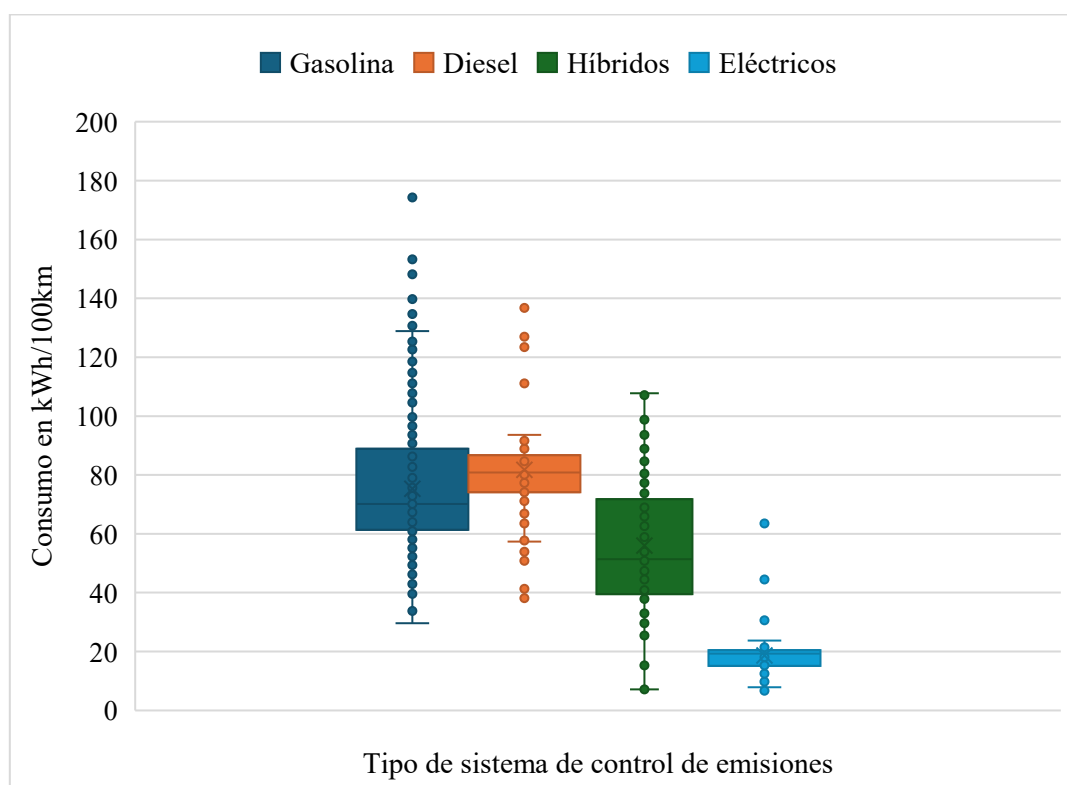
(Autoría propia)

Todas las etiquetas mostradas hasta aquí son fáciles de distinguir y muestran información clara para el consumidor, las calificaciones y la información mostrada en cada una de ellas corresponden a vehículos reales y por lo tanto son etiquetas que fácilmente ya pueden ser utilizadas para identificar a dichos vehículos.

#### **4.4. Valores de consumo energético**

Los valores de consumo energético que se obtuvieron luego del levantamiento de datos a través de fichas técnicas y sitios web, dictan que los vehículos a gasolina son los que mayor consumo pueden llegar a alcanzar, llegando a tener valores máximos de hasta 19 l/100km, lo cual se traduce en términos energéticos como 169 kWh/100km, en cambio un vehículo eléctrico puede llegar a alcanzar valores de consumo de hasta 0,8 l/100km, lo cual se traduce en 7.1 kWh/100km, es decir el vehículo eléctrico es un 95.8 % más eficiente en comparación al vehículo a gasolina. La Figura 45 muestra como para romper esta diferencia en términos de eficiencia energética, surgen sistemas de control de emisiones como las hibridaciones, que logran estrechar esta diferencia en aproximadamente un 70% en comparación al modelo que más consumo energético tiene dentro de los híbridos, incluso, se observa que se en casos aislados, llega a alcanzar la misma eficiencia energética, ya que, existen modelos híbridos que logran un consumo de 0.8 l/100km.

En términos de flotas dentro del parque automotor ecuatoriano, en promedio los vehículos a gasolina consumen alrededor de 8,46 l/100km, los vehículos a diésel consumen en promedio aproximadamente 9,27 l/100km, las hibridaciones logran reducir el consumo promedio a 6,32 l/100km y finalmente los vehículos eléctricos del parque automotor logran reducir el promedio hasta los 2,86 l/100km, o lo que se traduce en 75.3, 82.5, 56.3 y 25,5 kWh/100km respectivamente.

**Figura 45.** Valores de consumo energético por sistema de control de emisiones

(Autoría propia)

Cabe recalcar que los vehículos que mejor eficiencia energética poseen son los que en menor cantidad de consumo energético poseen, gran parte de los vehículos nuevos aún se concentran por encima de los valores óptimos para alcanzar un parque automotor eficiente. La capacidad de aprovechar la energía por parte de los vehículos eléctricos se ve reflejada en este apartado, por lo que actualmente son los vehículos más eficientes que se pueden encontrar dentro del sector de los vehículos livianos junto con las hibridaciones, reduciendo en un 70 a 80% el consumo energético frente a los vehículos a gasolina y diésel.

#### 4.5. Tabla para la calificación de consumo de combustible

Se analizaron 1365 modelos como población total de vehículos registrados como nuevos en el mercado automotriz del 2024. De los cuales se pudo obtener que en promedio un vehículo consume aproximadamente 8,23 litros de combustible por cada 100 kilómetros recorridos o lo que se traduce en 12,15 kilómetros por cada litro de combustible. Todo esto englobando todos

los tipos de sistemas de control de emisiones dentro de los vehículos livianos nuevos, se exceptúa el consumo de combustible equivalente por parte de los vehículos eléctricos para la obtención de este valor, debido a que, si se utilizan estos valores, el valor del consumo de combustible disminuye hasta los 5,80 litros de combustible por cada 100 kilómetros recorridos o los 17,23 kilómetros por cada litro de combustible, lo cual representa un promedio más exigente en relación a tecnologías más obsoletas. La desviación estándar del primer promedio fue de 2,47 l/100km.

Para hacer uso de estos valores en la tabla de calificación, se aproximará el valor, al entero inmediato más cercano, teniendo como valor promedio 8 l/100km y como desviación estándar para establecer los extremos entre el 10 y el 1 el valor de 2 l/100km. Esta desviación estándar se usa para ser multiplicada por 2 y ser sumada para establecer el valor mínimo, y restada para establecer el valor máximo. La Tabla 16, muestra los valores, una vez definidos para la respectiva calificación del consumo de combustible que deberá estar dado siempre en litros por cada 100 kilómetros recorridos. La calificación puede ser aplicable o no para aquellos vehículos que posean más de 15 años, ya que debido a la antigüedad que poseen los mismos, estos pueden llegar a ser perjudicados por la presente tabla.

Se consideran valores de consumo energético en l/100km debido a que es un valor más cercano para el comprador o el peatón, pues es fácil de interpretar, pero, sobre todo, es un valor que se adapta mejor a los cálculos para establecer umbrales de máximo y mínimo, pues si estos valores se manejan en otras unidades, establecer dichos umbrales resulta ser más difícil, ya que, la desviación estándar que se calcula a partir de los datos difiere y hace que el valor mínimo caiga hasta valores negativos y el valor máximo resulta ser demasiado permisible.

**Tabla 16.** Cuadro de calificación del consumo de combustible

Calificación	Consumo (kWh/100km)	Consumo (L/100km)	Rendimiento (km/GAL)
10	< 35	<4	> 95
9	35 – 44	4-5	76 – 95
8	44 – 53	5-6	63 – 76
7	53 – 62	6-7	54 – 63
6	62 – 71	7-8	47 – 54
5	71 – 80	8-9	42 – 47
4	80 – 89	9-10	38 – 42
3	89 – 98	10-11	34 – 38
2	98 – 107	11-12	31 – 34
1	> 107	>12	< 31

**Nota:** Antes de la calificación, verificar que el valor de consumo se encuentre en las unidades correctas.

(Autoría propia)

#### 4.6. Tabla para la calificación del nivel de las emisiones de CO<sub>2</sub>

La tabla para la calificación del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de un vehículo, estará definida a partir de los valores establecidos en la Tabla 16, para posteriormente llegar a obtener valores de emisiones en la Tabla 17 **Tabla 16**, y, en consecuencia, serán directamente proporcionales a la calificación de un vehículo a gasolina.

La tabla será necesaria para poder calificar las emisiones de vehículos a diésel, híbridos completos, híbridos enchufables e híbridos de rango extendido, también para poder añadir la información acerca de las emisiones luego de la barra deslizante en la etiqueta de eficiencia energética. El método que se utilizó para definir estos valores fue la propuesta por la IPCC, detallada en el apartado 3.4 de la metodología, utilizando específicamente datos provenientes de la gasolina extra que es la que comúnmente se utiliza en el Ecuador.

**Tabla 17.** Cuadro de calificación para el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>

Calificación	Emisiones de CO <sub>2</sub> (g/km)
10	<89
9	89 - 111
8	111 - 133
7	133 - 155
6	155 - 178
5	178 - 200
4	200 – 222
3	222 - 244
2	244 – 266
1	>266

**Nota:** Valores correspondientes un vehículo a gasolina

(Autoría propia).

Al igual que el cuadro de calificación anterior, puede ser aplicable o no para vehículos que posean más de 15 años en circulación dentro del parque automotor. Aunque considerando que el objetivo de esta tabla es informar sobre el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, se puede tomar otras formas de uso para la misma.

#### **4.7. Propuesta de restricciones e incentivos**

Una vez que se caracterizó el parque y se definieron los valores de eficiencia energética refiriéndonos al consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>, se pueden establecer ciertas restricciones o incentivos para aquellos vehículos con valores óptimos o malos de eficiencia energética. Este apartado se considera una propuesta que puede ser tomada en cuenta o no para el desarrollo de una campaña de etiquetado vehicular dentro del territorio ecuatoriano. La Tabla 18, detalla cómo se podría llevar a cabo esta campaña tocando cada tema propuesto en el apartado metodológico.

**Tabla 18.** Incentivos y restricciones para vehículos en base a su eficiencia energética

<b>Área</b>	<b>Imposición</b>
<b>Impuestos</b>	Reducir la carga tributaria a vehículos cuya calificación sea de 8 o más, para abaratar los costos de estos frente a tecnologías menos eficientes
<b>Restricciones</b>	Restringir el acceso y la circulación de vehículos cuya calificación sea de 3 o menos en zonas de alta intensidad vehicular y zonas urbanas Establecer tarifas para el uso de parqueaderos en zonas urbanas, para aquellos vehículos cuya calificación se encuentre entre 4 y 7
<b>Incentivos</b>	Acceso a subsidios temporales de combustibles para aquellos propietarios que decidan cambiar vehículos cuya calificación sea de 4 o menos por vehículos cuya calificación sea de 7 o más
<b>Cuestiones indirectas</b>	La calidad de normativas de emisiones y la calidad de los combustibles para vehículos deben ir mejorando progresivamente

(Autoría propia)

Estos lineamientos también se establecen a partir de la revisión bibliográfica realizada, acerca de las condiciones del parque automotor dentro del territorio ecuatoriano dentro del apartado del marco teórico. La adopción de estas dependerá de entes reguladores del gobierno y los GADs parroquiales de cada provincia. La tabla refleja un equilibrio entre medidas restrictivas para los vehículos menos eficientes y beneficios para los más limpios, evitando una aplicación regresiva de la política. Además, considera la antigüedad del parque automotor, un factor clave en el contexto ecuatoriano, donde más del 30% de los vehículos supera los 15 años. La propuesta es viable, adaptable a nivel local, y se alinea con los objetivos de reducción de emisiones y modernización del parque vehicular.

#### **4.8. Eficiencia energética de los vehículos**

Para este apartado se recopiló la información del consumo de combustible y el nivel de las emisiones de CO<sub>2</sub>, del mismo modo que se hizo para promediar el consumo de combustible y

estimar las emisiones en apartados anteriores. La Tabla 19, muestra estos valores con las respectivas calificaciones basadas en los cuadros metodológicos establecidos en el apartado 5.4 y 5.2 dentro de esta sección.

**Tabla 19.** Valores de emisiones y rangos de desviación para la discriminación energética

Vehículo	Año modelo	Consumo	Emisión CO <sub>2</sub>	Calificación	Calificación
		(l/100km)		Consumo	Emisiones
<b>D-Max</b>	2024	7,88	180,43	6	5
<b>Groove</b>	2025	6,17	136,99	7	7
<b>Soluto</b>	2025	5,18	115,01	8	8
<b>Swift ISG</b>	2012	4,34	3,12	9	9
<b>Sportage</b>	2008	7,2	159,86	6	6
<b>F-150</b>	2005	13,8	306,39	1	1
<b>Hilux</b>	1989	8,3	218,84	5	4
<b>Tahoe</b>	2005	14,6	314,16	1	1
<b>Swift</b>	1989	5,3	117,67	8	8

(Autoría propia)

Ningún vehículo logra alcanzar la mejor calificación, sin embargo, luego de haber aplicado la metodología a vehículos antiguos, se observa que únicamente

Para la segunda metodología descrita en el apartado 4.5, se evaluaron únicamente los primeros cinco vehículos, la estimación fue realizada siguiendo el proceso de la combustión, descrita en el apartado metodológico de la investigación. La Figura 46 muestra las emisiones específicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por kilómetro recorrido para cinco vehículos con diferentes motorizaciones y características técnicas. Se observa una clara variabilidad en los niveles de emisiones entre los modelos analizados, lo que refleja tanto diferencias en el tipo de motorización como en el peso y eficiencia del tren motriz.

**Figura 46.** Emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículo

(Autoría propia)

El vehículo con mayores emisiones es la D-Max 2.5, con 226,75 gCO<sub>2</sub>/km, lo cual se relaciona con su motorización diésel de gran cilindrada y su naturaleza de vehículo utilitario o de trabajo, generalmente con un peso y requerimientos de potencia más elevados. En contraste, el Suzuki Swift 1.2 presenta las menores emisiones del grupo, con 96,36 gCO<sub>2</sub>/km, lo que evidencia una mayor eficiencia energética asociada a su motorización más pequeña, su bajo peso y su posible orientación hacia un uso urbano.

Entre ambos extremos se ubican vehículos con motorizaciones a gasolina de menor cilindrada, como el Chevrolet Groove 1.4 (136,99 gCO<sub>2</sub>/km), el Kia Soluto 1.5 (115,01 gCO<sub>2</sub>/km) y el Kia Sonet 1.5 (139,88 gCO<sub>2</sub>/km). Estos modelos muestran un comportamiento intermedio, en el que las diferencias de emisiones pueden atribuirse a factores como el peso del vehículo, las tecnologías de control de emisiones incorporadas, la eficiencia del tren motriz y la aerodinámica. Cabe destacar que la tendencia general del gráfico indica que los vehículos más pequeños y con motorizaciones de menor cilindrada tienden a generar menores emisiones, lo cual refuerza la importancia del diseño y la elección del tren motriz como variables clave para reducir el impacto ambiental del parque automotor.

La discriminación energética responde al árbol de decisión para el etiquetado y a los rangos de emisiones de CO<sub>2</sub> establecidos en base a parámetros iniciales, como el de si son considerados aptos para el etiquetado y la consideración de las emisiones, teniendo como base una emisión de referencia u objetivo, que en este caso es de 172 gCO<sub>2</sub>/km. En la Tabla 20 se muestran los valores obtenidos a través del cálculo de la desviación y la discriminación a través del árbol de decisión descrito en el apartado 2.3.3.

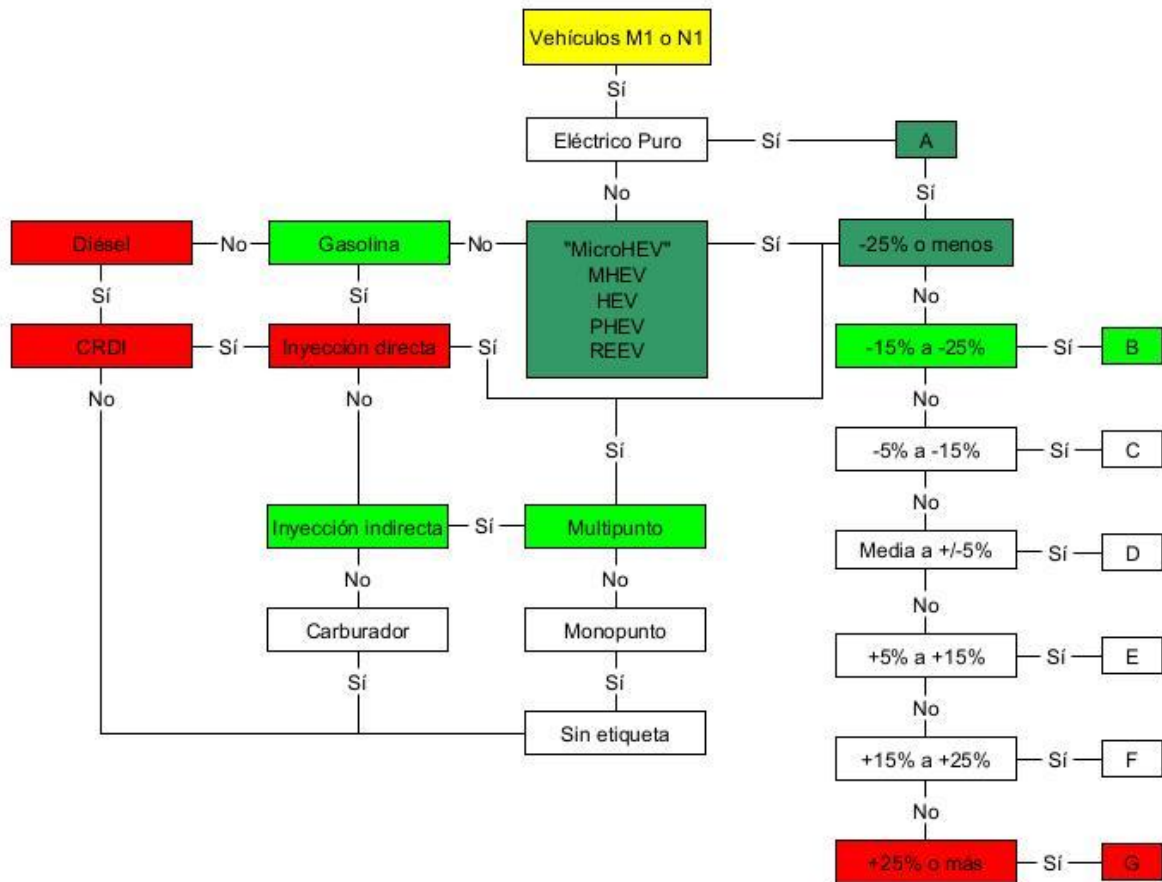
**Tabla 20.** Valores de emisiones y rangos de desviación para la discriminación energética

<b>Vehículo</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub></b>	<b>DESV.</b>	<b>Calificación</b>
<b>D-Max 2.5</b>	226,75	33,23	G
<b>Groove 1.4</b>	136,99	-19,51	B
<b>Soluto 1.5</b>	115,01	-32,43	A
<b>Sonet 1.5</b>	139,88	-17,82	B
<b>Swift 1.2</b>	96,36	-43,38	A

(Autoría propia)

Todos los vehículos se consideran aptos para recibir la etiqueta de eficiencia energética, según el árbol de decisión, la ruta que sigue cada vehículo en base a los valores descritos en la tabla anterior se muestra en la Figura 47. Se muestra en color rojo la ruta trazada para el vehículo diésel, en color verde oscuro la ruta para el microhíbrido Swift, y una tonalidad de verde más clara para el vehículo a gasolina, de esta manera se obtienen resultados de G (D-max), B (Groove), A (Soluto), B (Sonet) y A (Swift).

**Figura 47.** Calificación de la eficiencia energética por el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>



(Autoría propia)

Considerar un vehículo a diésel para este enfoque metodológico resulta injusto, ya que a pesar de que el mismo se considera nuevo, este obtiene una calificación muy baja, lo cual puede resultar perjudicial para el mercado automotriz de los demás vehículos a diésel. Entonces la metodología que considera únicamente las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos resulta inviable para ser aplicable a todos los vehículos livianos.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Aproximadamente el 32% de la flota actual supera los 15 años de antigüedad. El parque automotor de vehículos nuevos está compuesto principalmente por vehículos que utilizan combustibles líquidos (85%), seguidos por diversas formas de hibridaciones (14%) como: microhíbridos, híbridos medios, híbridos completos, híbridos enchufables e híbridos de rango extendido. Solo una pequeña proporción corresponde a vehículos eléctricos de batería (2%).

El consumo promedio es de 8,23 L/100km (73,25 kWh/100 km). Sin embargo, si se incluye el equivalente energético de los vehículos eléctricos, este valor disminuye a 51,62kWh/100 km (5,80 L/100 km). En cuanto a las emisiones, se estimó que un vehículo liviano emite en promedio 177,62 gramos de CO<sub>2</sub>/km, considerando valores específicos del contenido de carbono y la densidad de la gasolina (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> y 720 kg/m<sup>3</sup>).

La metodología para el etiquetado de vehículos se centra en el consumo energético que representa cada uno de ellos, partiendo de un promedio de toda la flota de modelos registrados como nuevos, para posteriormente establecer extremos de eficiencia en base a cuan dispersos se encuentran los valores, para que así se, puedan establecer ajustes en una tabla de eficiencia energética que reflejará estos valores como indicadores a través de una calificación comprendida entre el 1 y 10, siendo la ultima la mejor calificación.

La implementación de un sistema de etiquetado vehicular basado en la eficiencia energética constituye una herramienta clave para orientar tanto las políticas públicas como las decisiones de los consumidores en el mercado automotor del Ecuador.

## 5.2. Recomendaciones

Hay que considerar que los vehículos tienden a comportarse de diferente manera dependiendo de las condiciones meteorológicas y la altitud en la que se encuentra funcionando, por lo considerar estos aspectos puede ser otra forma de caracterizar la flota de vehículos.

Los valores del consumo energético no siempre estarán dados en L/100km, en las fichas técnicas o sitios web oficiales, estos valores pueden estar dados en km/L, Gal/km, Millas/Gal, etc., por lo que, a la hora de hacer uso de estos datos, se deben manejar y trabajar con distintas conversiones de unidades.

Para estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se puede considerar realizar la estimación de este valor a través de pruebas en base a ensayos de análisis de gases, muy similar al que se realiza en la revisión técnica vehicular

La metodología es únicamente informativa, por lo que, para próximos estudios, desarrollar normas relacionadas a la eficiencia energética de vehículos podría aportar a la una forma correcta de implementación del etiquetado de vehículos.

Del mismo modo, es importante que el etiquetado, vaya acompañado de políticas e incentivos públicos que motive a la sociedad a optar por adquirir vehículos considerados más eficientes, por lo que realizar un estudio enfocado únicamente en estos temas sería un complemento importante para estos instrumentos de eficiencia energética.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. N. de E. y Censos, «Vehículos Matriculados», Instituto Nacional de Estadística y Censos. Accedido: 5 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/vehiculos-matriculados/>
- [2] «Ecuador - Emisiones de CO2 2023 | Datosmacro.com». Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>
- [3] H. M. Salgado y S. Castellanos, «Etiqueta y norma de eficiencia para vehículos livianos: Beneficios, barreras y estudios de caso: una herramienta para su implementación en países latinoamericanos», *IDB Publ.*, sep. 2019, doi: 10.18235/0001877.
- [4] «Esto le ha costado al Estado subsidiar los combustibles en los últimos 13 años», *Primicias*. Accedido: 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/subsidios-gasolina-diesel-gasto-gobierno-ecuador/>
- [5] R. V. Calva Abad y T. P. Titumaita Quishpe, «Metodología de etiquetado de vehículos nuevos en el Ecuador basado en la Ley de Eficiencia Energética», Tesis Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, 2020. Accedido: 11 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20980>
- [6] «Estadísticas – Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana». Accedido: 6 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cinae.org.ec/estadisticas/>
- [7] L. H. del Arco, «¿Cuál es la edad promedio de los autos en Estados Unidos?», *Autos*. Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://us.as.com/autos/curiosidades/cual-es-la-edad-promedio-de-los-autos-en-estados-unidos/>

- [8] «Report – Vehicles on European roads 2025», ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads-2025/>
- [9] H. Del Pozo, «Ley Orgánica de Eficiencia Energética». Editorial Nacional, 2019.
- [10] «Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN – Ecuador». Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/>
- [11] «El Acuerdo de París | CMNUCC». Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- [12] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [13] «Anuarios – AEADE». Accedido: 5 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>
- [14] J. M. Velepucha-Sánchez y L. F. Sabando-Piguabe, «Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina», *Rev. Científica INGENIAR Ing. Tecnol. E Investig.* ISSN 2737-6249, vol. 4, n.º 8, Art. n.º 8, jul. 2021, doi: 10.46296/ig.v4i8.0024.
- [15] M. A. Sierra Calderón, «Propuesta de etiquetado vehicular en pro de la eficiencia energética y reducción de emisiones GEI para Colombia basada en experiencia internacional», 2017, Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/31852>
- [16] C. Sánchez y H. Fuquen, «EFICIENCIA ENERGÉTICA», ResearchGate. Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/333089139\\_EFICIENCIA\\_ENERGETICA](https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA)

- [17] J. Castillo, Á. Restrepo, J. Tibaquirá, y L. Quirama, «Estrategias de eficiencia energética en vehículos livianos del transporte por carretera en Colombia», *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, n.º 3, Art. n.º 3, may 2019, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019013>.
- [18] Editor, «El Poder del Consumidor», El Poder del Consumidor. Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://elpoderdelconsumidor.org/2021/12/un-etiquetado-de-rendimiento-y-emisiones-en-autos-permitiria-combatir-el-cambio-climatico-mejorar-la-calidad-del-aire-la-soberania-energetica-y-la-economia-de-la-poblacion/>
- [19] E. F. Díaz, D. G. Hidalgo, y L. J. Taípe, «Etiquetado de vehículos en Ecuador, en base al consumo de combustible, emisiones de CO<sub>2</sub> y kilometraje vehicular.», *Investig. Tecnológica IST Cent. Téc.*, vol. 2, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2020.
- [20] E. Secundino, *Motores*. Macmillan Iberia, S.A., 2011. Accedido: 11 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/101844?as\\_all=MOTORES&as\\_all\\_op=unaccent\\_&\\_icontains&prev=as](https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/101844?as_all=MOTORES&as_all_op=unaccent_&_icontains&prev=as)
- [21] R. B. GmbH, *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [22] G. Chiriboga, R. Chamba, A. Garcia, R. Heredia-Fonseca, C. Montero- Calderón, y G. Carvajal C, «Useful energy is a meaningful approach to building the decarbonization: A case of study of the Ecuadorian transport sector», *Transp. Policy*, vol. 132, pp. 76-87, mar. 2023, doi: 10.1016/j.tranpol.2022.12.019.
- [23] Husk, «4 motivos para renovar tu vehículo » ChevyPlan Ecuador», ChevyPlan Ecuador. Accedido: 6 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.chevyplan.com.ec/4-motivos-para-renovar-tu-vehiculo/>

- [24] «Sube la demanda de carros a diésel en Ecuador y las camionetas hechas en el país son las más vendidas», Primicias. Accedido: 6 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/economia/ventas-carros-diesel-ecuador-incremento-camionetas-suv-88392/>
- [25] «Ecuador, un entusiasta comprador de autos eléctricos e híbridos», Primicias. Accedido: 7 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/carros-electricos-ventas-ecuador-lidera/>
- [26] «Boletines | MERCAPITAL | Casa de Valores | Quito - Ecuador». Accedido: 12 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mercapital.ec/es/mercado/boletines/>
- [27] F. Schaffitzel, M. Jakob, R. Soria, A. Vogt-Schilb, y H. Ward, «Can government transfers make energy subsidy reform socially acceptable? A case study on Ecuador», *Energy Policy*, vol. 137, p. 111120, feb. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111120.
- [28] H. X. Jara, P. C. Lee, L. Montesdeoca, M. Varela, y UNU-WIDER, *Fuel subsidies and income redistribution in Ecuador*, 144.<sup>a</sup> ed., vol. 2018. en WIDER Working Paper, vol. 2018. UNU-WIDER, 2018. doi: 10.35188/UNU-WIDER/2018/586-2.
- [29] «La eliminación del subsidio al diésel: ¿por qué el presidente Noboa logró sostener la medida?», Primicias. Accedido: 2 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/politica/eliminacion-subsidio-diesel-presidente-noboa-logro-sostener-medida-107844/>
- [30] «Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE) - Datos Abiertos Ecuador». Accedido: 12 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/https-www-controlrecursosyenergia-gob-ec-balance-nacional-de-energia-electrica>
- [31] «Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals», Routledge & CRC Press. Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.routledge.com/Electric-and-Hybrid-Vehicles-Design-Fundamentals/Husain/p/book/9780367693930>

- [32] S. Sabtiago, *Motores*. Editex. [En línea]. Disponible en: [https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/9788490031728%20-%20MOTORES-2\\_compressed\\_opt.pdf](https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/9788490031728%20-%20MOTORES-2_compressed_opt.pdf)
- [33] T. Korakianitis, A. M. Namasivayam, y R. J. Crookes, «Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions», *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 37, n.º 1, pp. 89-112, feb. 2011, doi: 10.1016/j.pecs.2010.04.002.
- [34] J. Gilardi, *Motores de combustión interna*. Agroamerica, 1985.
- [35] K. Reif, *Diesel Engine Management: Systems and Components*. Springer, 2014.
- [36] J. Soca, «Manual Técnico: Parámetros indicados y efectivos de los MCI», ResearchGate. Accedido: 23 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/357635090\\_Manual\\_Tecnico\\_Parametros\\_indicados\\_y\\_efectivos\\_de\\_los\\_MCI](https://www.researchgate.net/publication/357635090_Manual_Tecnico_Parametros_indicados_y_efectivos_de_los_MCI)
- [37] H. Lee y K. Lee, «Comparative Evaluation of the Effect of Vehicle Parameters on Fuel Consumption under NEDC and WLTP», *Energies*, vol. 13, n.º 16, Art. n.º 16, ene. 2020, doi: 10.3390/en13164245.
- [38] «Sistemas de control de emisiones del automovil», prezi.com. Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://prezi.com/0d2ldfsq\\_idb/sistemas-de-control-de-emisiones-del-automovil/](https://prezi.com/0d2ldfsq_idb/sistemas-de-control-de-emisiones-del-automovil/)
- [39] G. A. P. Rao y T. K. Sharma, *Engine Emission Control Technologies: Design Modifications and Pollution Mitigation Techniques*. Burlington, ON ; Palm Bay, Florida, 2021.

- [40] I. Kusuma, Ruliyanta, R. a. S. Kusumoputro, y A. Iswadi, «Electric Vehicle Review: BEV, PHEV, HEV, or FCEV?», *J. Konversi Energi Dan Manufaktur*, pp. 70-83, ene. 2025, doi: 10.21009/JKEM.10.1.8.
- [41] «Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles», Routledge & CRC Press. Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.routledge.com/Modern-Electric-Hybrid-Electric-and-Fuel-Cell-Vehicles/Ehsani-Gao-Longo-Ebrahimi/p/book/9781498761772>
- [42] M. P. Kazmierkowski, «Advanced Electric Drive Vehicles», *ResearchGate*, doi: 10.1109/MIE.2015.2485198.
- [43] D. S. Cardoso, P. O. Fael, y A. Espírito-Santo, «A review of micro and mild hybrid systems», *Energy Rep.*, vol. 6, pp. 385-390, feb. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.08.077.
- [44] I. Veza, M. Z. Asy'ari, M. Idris, V. Epin, I. M. Rizwanul Fattah, y M. Spraggon, «Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV», *Alex. Eng. J.*, vol. 82, pp. 459-467, nov. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.10.020.
- [45] Ben, «EV vs. PHEV vs. REEV; Differences Between Types of Electric Cars», GuangcaiAuto. Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://guangcaiauto.com/types-of-electric-cars/>
- [46] X. Liu, F. Zhao, H. Hao, y Z. Liu, «Comparative analysis for different vehicle powertrains in terms of energy-saving potential and cost-effectiveness in China», *Energy*, vol. 276, p. 127564, ago. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127564.
- [47] «Energy Efficiency of Vehicles, Second Edition». Accedido: 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/books/content/r-579/>
- [48] L. A. Horta, «Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y El Caribe».

- [49] «Vehicle Efficiency | EESI». Accedido: 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eesi.org/topics/vehicle-efficiency/description>
- [50] «Rendimiento Vehicular: Cómo Calcularlo y Optimizarlo», Simpliroute. Accedido: 12 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://simpliroute.com/es/blog/rendimiento-vehicular>
- [51] «Soluciones para las emanaciones industriales», <https://emmi.mx>. Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://emmi.mx/como-reducir-las-emisiones-de-co2-en-la-industria>
- [52] D. Crolla y B. Mashadi, *Vehicle Powertrain Systems*. Chichester, West Sussex, U.K, 2012.
- [53] S. Bai y C. Liu, «Overview of energy harvesting and emission reduction technologies in hybrid electric vehicles», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 147, p. 111188, sep. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111188.
- [54] J. Castillo, Á. Restrepo, J. Tibaquirá, y L. Quirama, «Estrategias de eficiencia energética en vehículos livianos del transporte por carretera en Colombia», *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, n.º 3, Art. n.º 3, may 2019, doi: 10.18273/revuin.v18n3-2019013.
- [55] J. A. B. Ruiz, «Análisis de emisiones en un motor a gasolina con sistema de inyección directa e indirecta multipunto», *Rev. Cient. UNANCHAY ISSN 2953-6707*, vol. 2, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2023.
- [56] Distron, «Sistema de control de emisiones: Que función cumple | Distron®». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://distrion.es/sistema-de-control-de-emisiones/>
- [57] «State-of-the-Art of Establishing Test Procedures for Real Driving Gaseous Emissions from Light- and Heavy-Duty Vehicles». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/14/4195>

- [58] A. Miller, «Electric Vehicles in New Zealand: from Passenger to Driver?», ResearchGate. Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319153718\\_Electric\\_Vehicles\\_in\\_New\\_Zealand\\_from\\_Passenger\\_to\\_Driver](https://www.researchgate.net/publication/319153718_Electric_Vehicles_in_New_Zealand_from_Passenger_to_Driver)
- [59] M. Kovaleva y Ganzha, «Environmental problems of gasoline and diesel fuel use in Russia», *ResearchGate*, ene. 2025, Accedido: 24 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/347180061\\_Environmental\\_problems\\_of\\_gasoline\\_and\\_diesel\\_fuel\\_use\\_in\\_Russia](https://www.researchgate.net/publication/347180061_Environmental_problems_of_gasoline_and_diesel_fuel_use_in_Russia)
- [60] F. R. Arroyo y L. J. Miguel, «Análisis de la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y posibles escenarios al 2030 en Ecuador», *Rev. Espac.*, vol. 40, n.º 13, abr. 2019, Accedido: 11 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n13/19401305.html>
- [61] REM, «Emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de combustible». Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elmercurio.com.ec/2023/07/10/emisiones-consumo-combustible-cuenca/>
- [62] Transporte, «Emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos convencionales e híbridos • Ecologistas en Acción», Ecologistas en Acción. Accedido: 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/16233/2-emisiones-de-co2-de-los-vehiculos-convencionales-e-hibridos/>
- [63] B. Bilgin *et al.*, «Making the Case for Electrified Transportation», *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 1, n.º 1, pp. 4-17, jun. 2015, doi: 10.1109/TTE.2015.2437338.
- [64] «Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

- [65] O. US EPA, «EPA en español». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol>
- [66] «Homepage | California Air Resources Board». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ww2.arb.ca.gov/>
- [67] «DieselNet: Engine Emission Standards». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dieselnet.com/standards/#asia>
- [68] M. Damert y F. Rudolph, «Policy options for a decarbonisation of passenger cars in the EU : recommendations based on a literature review», Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2018. Accedido: 21 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/6954>
- [69] «(PDF) Testing New Zealand vehicles to measure real-world fuel use and exhaust emissions», ResearchGate. Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/340598983\\_Testing\\_New\\_Zealand\\_vehicles\\_to\\_measure\\_real-world\\_fuel\\_use\\_and\\_exhaust\\_emissions](https://www.researchgate.net/publication/340598983_Testing_New_Zealand_vehicles_to_measure_real-world_fuel_use_and_exhaust_emissions)
- [70] «Inspección de Vehículos Automotores bajo Reglamentos Técnicos INEN – Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN». Accedido: 20 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/inspeccion-de-vehiculos-automotores-bajo-reglamentos-tecnicos-inen/>
- [71] C. P. Loza-Lalangui, H. S. Q. Reinoso-Noble, y J. C. Rubio-Terán, «Análisis de las Normativas INEN de Ecuador y Euro de la Comunidad Europea, en cuanto a las consideraciones Técnicas y Procedimientos para la medición de las emisiones de gases contaminantes de los vehículos», *Polo Conoc.*, vol. 7, n.º 6, Art. n.º 6, jun. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i6.4084.
- [72] E. J. Cárdenas Ramos y J. G. Kaslin Duque, «Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitana de Quito y propuesta para la reforma de la normativa

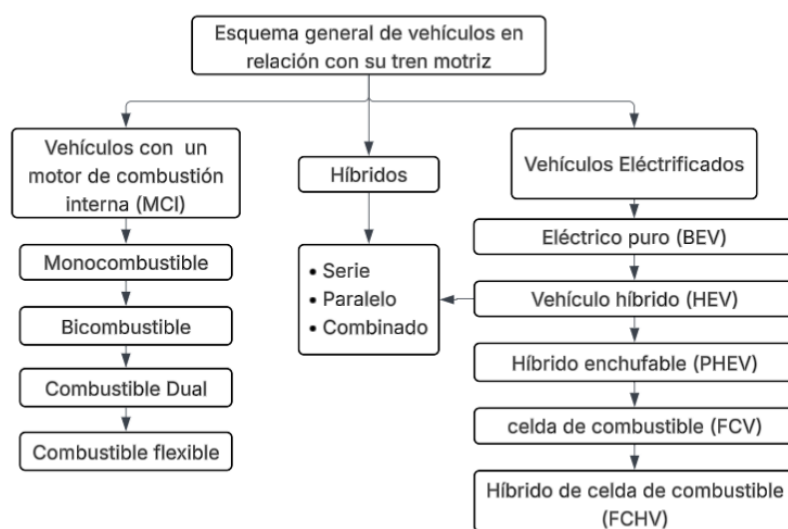
- ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres», bachelorThesis, QUITO/ EPN/ 2006, 2006. Accedido: 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/502>
- [73] «Estadísticas Vehículos 2024 - Datos Abiertos Ecuador». Accedido: 3 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/estadisticas-vehiculos-2024/resource/8c5d884e-74b3-4ace-bb59-12df09959111>
- [74] E. Correia Sinézio Martins, J. Lépine, y J. Corbett, «Assessing the effectiveness of financial incentives on electric vehicle adoption in Europe: Multi-period difference-in-difference approach», *Transp. Res. Part Policy Pract.*, vol. 189, p. 104217, nov. 2024, doi: 10.1016/j.tra.2024.104217.
- [75] S. Gong, V. Hin Sing Cheng, A. Ardeshiri, y T. H. Rashidi, «Incentives and concerns on vehicle-to-grid technology expressed by Australian employees and employers», *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 98, p. 102986, sep. 2021, doi: 10.1016/j.trd.2021.102986.
- [76] INEN, «Clasificación Vehicular INEN NTE 2656». Accedido: 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/CarroceriasJacome/nteinen26561pdf>
- [77] O. US EPA, «Fuel Economy». Accedido: 13 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/fueleconomy>
- [78] «Regulation - 2017/1151 - EN - EUR-Lex». Accedido: 13 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1151/oj/eng>
- [79] *Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2011. doi: 10.17226/12924.
- [80] «IDAE -». Accedido: 13 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://coches.idae.es/guia-emisiones-consumos>
- [81] «¿Qué es el consumo en ciclo mixto?», HR Motor. Accedido: 21 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hrmotor.com/que-es/consumo-en-ciclo-mixto/>

## ANEXOS

### 5.3. Normativa de clasificación vehicular NTE INEN 2656

Esta norma define cómo se clasifican los vehículos destinados a circular por tierra, tanto los motorizados como los no motorizados, basándose en sus características de diseño y en el propósito para el que fueron creados. Su aplicación abarca todos los vehículos construidos para desplazarse por vías terrestres, incluidas las unidades de carga y la maquinaria utilizada en actividades agrícolas o forestales. Quedan excluidos de esta clasificación los equipos industriales y la maquinaria pesada para construcción [76].

**Figura 48.** Clasificación de los vehículos según su tren motriz



Tomado de: INEN 2656, Clasificación vehicular, 2024

En marzo del 2024 entró en vigor la norma técnica INEN 2656, referente a la Clasificación Vehicular. Esta normativa incorpora el estándar internacional establecido por las Naciones Unidas, el cual unifica las categorías y definiciones de los vehículos según su sistema de propulsión: con motor de combustión interna (MCI), híbridos y electrificados [13].

### 5.4. Etiqueta de eficiencia energética.

Se analizan los sistemas de etiquetado de eficiencia energética vehicular de Estados Unidos (EPA) y la Unión Europea (UE) para identificar mejores prácticas aplicables al contexto

ecuatoriano. El modelo estadounidense, regulado por la Environmental Protection Agency (EPA), se enfoca en el consumo de combustible (mpg) y emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando pruebas dinámicas ajustadas a condiciones reales de conducción [77]. Por otro lado, la normativa europea (Reglamento UE 2017/1151) incorpora el ciclo WLTP, que proporciona datos más precisos bajo perfiles de conducción estandarizados, incluyendo tecnologías avanzadas como híbridos y eléctricos [78].

Mientras la EPA prioriza la claridad para el consumidor con etiquetas de "window stickers", como se muestra en la Figura 49, los países de la UE integran un esquema de información básica de emisiones, consumo y colores (A-G) [79].

**Figura 49.** Etiqueta de eficiencia energética de Estados Unidos y España



En todos los puntos de venta puede obtenerse gratuitamente una guía sobre el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en la que figuran los datos de todos los modelos de automóviles de turismo nuevos.

Marca/modelo:

Tipo de carburante:

CONSUMO OFICIAL  
(SEGÚN LO DISPUESTO EN LA DIRECTIVA 80/1268/CEE)

Tipo de conducción	l/100 km
En ciudad	
En carretera	
Media ponderada	

EMISIONES ESPECÍFICAS OFICIALES DE CO<sub>2</sub>  
(SEGÚN LO DISPUESTO EN LA DIRECTIVA 80/1268/CEE)

g/km

El consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> no sólo dependen del rendimiento del vehículo; también influyen el comportamiento al volante y otros factores no técnicos. El CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento del planeta.

Tomado de: EPA, Fuel Economy y Real Decreto 837/2002

Esta comparativa permite evaluar la viabilidad de adoptar elementos de ambos sistemas, considerando la disponibilidad de datos locales y la capacidad institucional para su implementación en Ecuador. De ambas etiquetas se rescatan los siguientes datos: Barra de eficiencia energética, datos de gasto anual en consumo energético y la presencia de un código QR de la etiqueta estadounidense; mientras que el consumo de combustible en l/100km, las

emisiones de CO<sub>2</sub> en g/km y la información final para el usuario se rescatan de la etiqueta española [80].

#### 5.1.4. Consumo de combustible combinado

El valor del consumo de combustible combinado de un vehículo representa un valor promedio ponderado que integra el consumo de combustible medido en condiciones de conducción urbana y extraurbana, siguiendo protocolos de ensayo estandarizados como el NEDC, el WLTC o los procedimientos FTP-75 utilizados por la EPA. La determinación del consumo combinado este dado por la siguiente ecuación:

$$FC_{\text{combinado}} = \frac{1}{\frac{0,55}{FC_{\text{urbano}}} + \frac{0,45}{FC_{\text{extrau}}}}$$

Donde:

$FC_{\text{combinado}}$ , corresponde al consumo de combustible combinado.

$FC_{\text{ciudad}}$ , corresponde al consumo de combustible urbano.

$FC_{\text{extrau}}$ , corresponde al consumo de combustible extraurbano.

El ciclo de conducción WLTC, se considera el más estricto debido a que simula condiciones reales de conducción y en comparación al NEDC, los valores que se obtienen luego de este ensayo son menores en cuanto al rendimiento y mayores en cuanto a las emisiones, tal como se muestra en la Tabla 21 [57]. Este valor constituye una referencia fundamental para comparar la eficiencia energética entre distintos tipos de vehículos, tecnologías de motorización y configuraciones de tren motriz. En el caso de vehículos electrificados, el consumo combinado puede expresarse en términos de energía equivalente (como MJ/100 km o kWh/100 km), considerando conversiones basadas en el contenido energético del combustible o electricidad utilizada [81]. Estos ensayos también determinan las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo, por lo que, la obtención de este valor también puede provenir de estos ensayos.

**Tabla 21.** Comparativa entre el ciclo de conducción NEDC Y WLTC

<b>Característica</b>	<b>NEDC</b>	<b>WLTC</b>
<b>Tiempo del ciclo</b>	20 minutos	30 minutos
<b>Distancia del ciclo</b>	11 kilómetros (6.83 millas)	23.25 kilómetros (14.44 millas)
<b>Conducción</b>	2 fases: conducción ciudad 66% / carretera 34%	4 fases: conducción ciudad 52% / carretera 48%
<b>Velocidad promedio</b>	34 km/h (21.12 mph)	46.5 km/h (28.89 mph)
<b>Velocidad máxima</b>	120 km/h (74.56 mph)	131 km/h (81.39 mph)
<b>Influencia del equipamiento</b>	No se considera el impacto del equipamiento en emisiones y consumo	Se considera el impacto del equipamiento en emisiones reguladas y consumo
<b>Temperatura de prueba</b>	Mediciones entre 20 y 30 °C	Mediciones a 23 °C y luego a 14 °C para emisiones de CO <sub>2</sub>

**Tomado de:** S. M. Ashrafur Rahman, State-of-the-Art of Establishing Test Procedures for Real Driving Gaseous Emissions from Light- and Heavy-Duty Vehicles, 2023.

### **5.5. Valores de consumo de combustible**

En base a lo detallado anteriormente en el presente apartado, se obtienen los valores de consumo de combustible de los vehículos correspondientes, es importante destacar que de los vehículos registrados como nuevos en el 2024, se consideran los modelos más actuales, es decir si un modelo fue registrado en distintas versiones de años diferentes, se considera únicamente el modelo más actual para la obtención de dicho valor, a continuación, se muestran los primeros 100 valores que se obtuvieron, así como su respectiva estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 22.** Primeros 100 valores de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> por marca y modelo

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Consumo L/100km</b>	<b>Emisión de CO<sub>2</sub></b>
<b>BMW</b>	118D CABRIO AC 2.0 2P 4X2 TM DIESEL	4,90	112,2
<b>BMW</b>	128TI HATCH AC 2.0 5P 4X2 TA	6,25	138,76
<b>RAM</b>	1500 BIG HORN AC 3.6 4P CD 4X4 TA HYBRID	9,04	200,92
<b>PEUGEOT</b>	2008 FIN L 12E AUTO6 AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	2008 FIN P 12E BA6 AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	2008 FIN T 12E BAUT6 AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	2008 MCA ACTIVE AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	2008 MCA ALLURE AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	2008 MCA GT LINE AC 1.2 5P 4X2 TA	5,78	128,33
<b>PEUGEOT</b>	208 ALLURE AC 1.2 5P 4X2 TA	4,50	100,05
<b>PEUGEOT</b>	208 H 12E BVA6 AC 1.2 5P 4X2 TA	5,20	115,45
<b>PEUGEOT</b>	208 R4 GRAVEL 1.2 5P 4X2 TX	5,20	115,45
<b>BMW</b>	218I GRAN COUPE AC 1.5 4P 4X2 TA	5,59	124,33
<b>BMW</b>	220I GRAN COUPE AC 2.0 4P 4X2 TA	6,10	135,46
<b>PEUGEOT</b>	3008 GT LINE AC 1.6 5P 4X2 TA	6,40	142,143
<b>PEUGEOT</b>	3008N ACT 16E BA6 AC 1.6 5P 4X2 TA	6,40	142,14
<b>PEUGEOT</b>	3008N GT 16E BA6 AC 1.6 5P 4X2 TA	6,40	142,14
<b>PEUGEOT</b>	301 ALL 16E BA6 AC 1.6 4P 4X2 TA	8,77	194,75
<b>PEUGEOT</b>	301 ALL 16H B5 AC 1.6 4P 4X2 TM DIESEL	4,54	104,07
<b>GMC</b>	305A	7,14	158,58
<b>CHEVROLET</b>	310S AC 1.5 5P 4X2 TA	6,75	150,01
<b>CHEVROLET</b>	310S AC 1.5 5P 4X2 TM	5,10	113,27
<b>BMW</b>	318I AC 1.5 4P 4X2 TA	4,50	103,13

<b>BMW</b>	320 D AC 2.0 4P 4X2 TA DIESEL	5,84	129,83
<b>BMW</b>	320I AC 2.0 4P 4X2 TA	5,84	129,83
<b>BMW</b>	330E AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	7,80	178,60
<b>TOYOTA</b>	4 RUNNER 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4 RUNNER AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4 RUNNER SR5 AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4 RUNNER SR5 PRE AC 4.0 5P 4X4 TA	6,60	146,55
<b>BMW</b>	430I CP AC 2.0 2P 4X2 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER AC 4.0 5P 4X2 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,2
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER LIMITED AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER SR5 AC 4.0 5P 4X2 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER SR5 AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER SR5 PREMIUM AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER SR5 PREMIUN AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER TRD OFF ROAD AC 4.0 5P 4X4 TA	11,49	255,20
<b>TOYOTA</b>	4RUNNER TRD OFF ROAD PREMIUM AC 4.0 5P 4X4 TA	6,71	149,
<b>PEUGEOT</b>	5008N GTL 16E BA6S AC 1.6 5P 4X2 TA	5,80	128,78
<b>BMW</b>	520I AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	6,13	136,21
<b>BMW</b>	530E AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	1,90	42,21
<b>BMW</b>	530E IPERFORMANCE AC 2.0 4P 4X2 TA HYBRID	0,8	17,7619847
<b>BMW</b>	550E XDRIVE AC 3.0 5P 4X2 TA HYBRID	7,	155,47
<b>BMW</b>	630I GRAN TURISMO AC 2.0 4P 4X2 TA	9,70	215,55
<b>PORSCHE</b>	718 BOXSTER GTS 4.0 AC 4.0 2P 4X2 TA	8,29	184,25

<b>BMW</b>	740I LIMOUSINE AC 3.0 4P 4X2 TA HYBRID	12,30	273,09
<b>MCLAREN</b>	765LT AC 4.0 2P 4X2 TA	10,60	235,44
<b>PORSCHE</b>	911 AC 3.8 2P 4X2 TA	10,60	235,44
<b>PORSCHE</b>	911 AC 3.8 2P 4X2 TM	10,60	235,44
<b>PORSCHE</b>	911 CARRERA CABRIOLET 4S AC 3.8 2P 4X2 TM	10,20	226,55
<b>PORSCHE</b>	911 CARRERA S AC 3.8 2P 4X2 TA	13,60	302,07
<b>PORSCHE</b>	911 GT3 AC 4.0 2P 4X2 TA	10,904	242,12
<b>PORSCHE</b>	911 TARGA 4S AC 3.0 2P 4X4 TA	12,	266,53
<b>PORSCHE</b>	911 TURBO S PDK AC 3.8 2P 4X2 TA	5,60	124,38
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 200 PROGRESSIVE AC 1.3 4P 4X2 TA	5,60	124,38
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 200 PROGRESSIVE AC 2.0 4P 4X2 TA	5,60	124,38
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 200 PROGRESSIVE SPORT AC 1.3 4P 4X2 TA	8	177,61
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 35 AMG AC 2.0 4P 4X4 TA HYBRID	8	177,61
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 35 AMG I AC 2.0 4P 4X4 TA HYBRID	8,33	185,02
<b>MERCEDES BENZ</b>	A 35 AMG SPORT AC 2.0 4P 4X4 TA HYBRID	4,70	104,38
<b>AUDI</b>	A3 8YSACW AC 1.4 4P 4X2 TA	4,70	104,38
<b>AUDI</b>	A3 SPORTBACK 8Y AACW AC 1.4 5P 4X2 TA	6,60	146,55
<b>AUDI</b>	A4 TFSI 8WCA9G STRONIC AC 2.0 4P 4X2 TA	6,99	155,26

<b>SOUEAST</b>	A5 AC 1.5 4P 4X2 TM	3,03	67,28
<b>AUDI</b>	A6 TFSI STRONIC 4A2B2Y AC 3.0 4P 4X4 TA HYBRID	5,74	127,60
<b>HYUNDAI</b>	ACCENT BN7 GL AC 1.5 4P 4X2 TM	5,74	127,60
<b>HYUNDAI</b>	ACCENT BN7 GLS AC 1.5 4P 4X2 TM	5,74	127,60
<b>HYUNDAI</b>	ACCENT BN7 L AC 1.5 4P 4X2 TM	4,90	108,83
<b>TOYOTA</b>	AGYA AC 1.2 5P 4X2 TA	4,90	108,83
<b>TOYOTA</b>	AGYA AC 1.2 5P 4X2 TM	6,80	151,03
<b>DFSK</b>	AITO M5 AC 5P 4X2 TA EV	6,80	151,03
<b>DFSK</b>	AITO M7 AC 5P 4X4 TA EV	6,80	151,03
<b>GAC</b>	ALL NEW GS4 1.5T AT GB AC 1.5 5P 4X2 TA	6,84	152,07
<b>GAC</b>	ALL NEW GS4 1.5T MT GB AC 1.5 5P 4X2 TM	8,60	197,04
<b>GAC</b>	ALL NEW GS4 1.5T MT GB AC 5P 4X2 TM	9,60	219,95
<b>CHANGAN</b>	ALSVIN COMFORT AC 1.4 4P 4X2 TM	8,60	197,04
<b>VOLKSWAGE</b>	AMAROK BI TDI PLUS AC 2.0 CD 4X4 TM	15,72	349,09
<b>N</b>	DIESEL		
<b>VOLKSWAGE</b>	AMAROK COMFORTLINE AC 3.0 CD 4X4	14,10	313,15
<b>N</b>	TA DIESEL		
<b>VOLKSWAGE</b>	AMAROK HIGHLINE AC 3.0 CD 4X4 TA	6,28	139,63
<b>N</b>	DIESEL		
<b>MERCEDES</b>	AMG G 63 AC 4.0 5P 4X4 TA	6,28	139,63
<b>BENZ</b>			
<b>MERCEDES</b>	AMG GTS AC 4.0 2P 4X2 TA	14,70	326,50
<b>BENZ</b>			
<b>JINPENG</b>	AMY 5P 4X2 TA EV	14,70	326,50

<b>FIAT</b>	ARGO DRIVE AC 1.3 5P 4X2 TM	19,60	435,34
<b>FIAT</b>	ARGO TREKKING AC 1.3 5P 4X2 TM	7,09	157,46
<b>NISSAN</b>	ARMADA AC 5.6 5P 4X2 TA	7,09	157,46
<b>NISSAN</b>	ARMADA AC 5.6 5P 4X4 TA	7,09	157,46
<b>BENTLEY</b>	ARNAGE AC 6.8 4P 4X2 TA	7,09	157,46
<b>CHERY</b>	ARRIZO 5 FL AC 1.5 4P 4X2 TM	7,09	157,46
<b>CHERY</b>	ARRIZO 5 LUXURY AC 1.5 4P 4X2 TM	4,80	106,58
<b>CHERY</b>	ARRIZO 5 PRO COMFORT AC 1.5 4P 4X2 TM	11,21	248,90
<b>CHERY</b>	ARRIZO 5 PRO LUXURY AC 1.5 4P 4X2 TM	7,30	162,18
<b>CHERY</b>	ARRIZO 5 PRO STANDARD AC 1.5 4P 4X2 TM	7,30	162,18
<b>MCLAREN</b>	ARTURA SPIDER AC 3.0 2P 4X2 TA HYBRID	11,21	248,90
<b>SUBARU</b>	ASCENT AC 2.4 5P 4X4 TA	11,21	248,90
<b>MITSUBISHI</b>	ASX AC 2.0 5P 4X2 TA	11,21	248,90

(Autoría propia)