

REPÚBLICA DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON MENCIÓN EN
NEGOCIOS AUTOMOTRICES**

**ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE
CO₂ PARA LA FLOTA DE TAXIS DE LA CIUDAD CAYAMBE BASADOS EN
EL ENFOQUE TOP-DOWN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magíster en:
Ingeniería automotriz con mención en negocios automotrices.

Línea de investigación: Ingeniería del transporte y logística

AUTOR: David Andrés Morocho Arroyo.

DIRECTOR: PhD. Paúl Michael Tafur Escanta.

ASESOR: MSc. Erik Paúl Hernández Rueda.

IBARRA – ECUADOR

2025



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE**

1. 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:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003981568		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morocho Arroyo David Andrés		
DIRECCIÓN:	Calle Morales y Genovesa – Cayambe		
EMAIL:	damorochoa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	0223533800	TELÉFONO MÓVIL:	0984640239

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estimación del consumo de combustible y las emisiones de CO ₂ para la flota de taxis de la ciudad Cayambe basados en el enfoque Top-Down
AUTOR (ES):	Morocho Arroyo David Andrés
FECHA:	21/07/2025
PROGRAMA DE POSGRADO:	Maestría en Ingeniería Automotriz con mención en negocios automotrices.
TITULO POR EL QUE OPTA:	MSc. Ingeniería Automotriz con mención en negocios automotrices.
DIRECTOR:	PhD. Paúl Michael Tafur Escanta.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de julio de 2025

EL AUTOR:

Nombre: David Andrés Morocho Arroyo

CI: 1003981568

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 21 de julio del 2025

CERTIFICO

Que el presente trabajo de investigación titulado: "Estimación del consumo de combustible y las emisiones de CO₂ para la flota de taxis de la ciudad Cayambe basados en el enfoque Top-Down". De autoría del maestrante David Andrés Morocho Arroyo, para optar el título de Magíster en: Ingeniería Automotriz con mención en negocios automotrices, se desarrolló bajo mi supervisión y como tal, doy fe que dicho trabajo cumple con todos los requisitos legales para ser sometido a presentación pública y revisión por parte del comité asignado.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

DIRECTOR

PhD. Paúl Michael Tafur Escanta.

CI: 1003867353

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1.....	1
El problema.....	1
1.1. Planteamiento del problema.	1
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Objetivos.....	6
Objetivo general.	6
Objetivos específicos.	6
1.4. Justificación.	7
CAPITULO 2.....	8
Marco referencial.....	8
2.1. Marco teórico.....	8
2.1.1. Transporte terrestre en Ecuador.....	8
2.1.2. Motores de combustión interna.....	9
2.1.3. Contaminación atmosférica.....	12
2.1.4. Inventario de emisiones.....	15
2.1.5. Nuevas tecnologías automotrices para la reducción de emisiones.....	18
2.2. Marco Legal.....	19
2.2.1. Constitución de la Republica del Ecuador.....	19
2.2.2. Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial.....	19
2.2.3. Reglamentos y Normativas de emisiones vehiculares.....	20
2.2.4. Acuerdos internacionales sobre el medio ambiente y cambio climático.....	20
CAPITULO 3.....	21
Marco metodológico.....	21
3.1. Descripción del área de estudio / grupo de estudio.	21
3.2. Enfoque y tipo de investigación.....	21
3.3. Procedimientos.....	22
3.3.1. Fase 1: Análisis de la composición de la flota vehicular.	22
3.3.2. Fase 2: Determinación de los factores de emisión de CO ₂	22
3.3.3. Fase 3: Estimación de las emisiones de CO ₂	23
3.3.4. Fase 4: Análisis del consumo de combustible y las emisiones de CO ₂	24
3.4. Consideraciones bioéticas.....	25
3.4.1. Principio de autonomía.	25
3.4.2. Principio de beneficencia.....	25

CAPITULO 4.....	26
Resultados y discusión.....	26
4.1. Caracterización de la flota vehicular de taxis.....	26
4.1.1. Análisis de la composición de la flota de taxis.....	26
4.1.2. Distribución de modelos.....	27
4.1.3. Determinación de los modelos más representativos.....	28
4.2. Cálculo del factor de emisiones de CO ₂	29
4.2.1. Determinación de la muestra de estudio.....	29
4.2.2. Rendimiento del consumo de combustible.....	30
4.2.3. Cálculo del factor de emisiones de CO ₂	31
4.3. Estimación de la cantidad de emisiones de CO ₂	32
4.3.1. Registro de los VKT promedio del último año.....	32
4.3.2. Cálculo de las emisiones de CO ₂ anuales.....	32
4.4. Análisis el consumo de combustible y los FE de CO ₂ para dos diferentes escenarios.....	33
4.4.1. Determinación de los modelos de vehículos propuestos.....	33
4.4.2. Determinación del rendimiento del consumo de combustible.....	35
4.4.3. Cálculo del factor de emisiones de CO ₂	36
4.4.4. Cálculo de las emisiones de CO ₂ anuales.....	37
4.4.5. Análisis de las emisiones de CO ₂	39
4.4.6. Análisis económico del consumo de combustible.....	39
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS.....	45
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transporte comercial en Ecuador. [20]	8
Figura 2. MCI Ciclo Otto. [28]	10
Figura 3. Cambio climático. [35].....	13
Figura 4. Enfoque Top-Down y Bottom- Up. [15]	15
Figura 5. vehículos híbridos.[44].....	18
Figura 6. Flota de taxis de Cayambe	21
Figura 7. Diagrama de procedimiento	22
Figura 8. Tendencia de los modelos usados.....	28
Figura 9. Porcentaje de modelos de análisis	28
Figura 10. Rendimiento del consumo de combustible.....	30
Figura 11. Factor de emisiones de CO ₂	31
Figura 12. Emisiones de CO ₂ totales por modelo	33
Figura 13. Tendencia de uso de tipo de vehículo.....	34
Figura 14. Rendimiento del consumo de combustible.....	36
Figura 15. Factor de emisiones de CO ₂	37
Figura 16. Emisiones de CO ₂ anuales.....	38
Figura 17. Comparativa de las emisiones de CO ₂	39
Figura 18. Comparativa de costos	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cooperativas de flota de taxis	26
Tabla 2. Marcas de vehículos que conforman la flota de taxis	27
Tabla 3. Modelos que conforman la flota	27
Tabla 4. Modelos de análisis	29
Tabla 5. Modelos de estudio por Isizán [52].....	29
Tabla 6. Muestra de estudio	30
Tabla 7. Rendimiento del consumo de combustible	30
Tabla 8. Factor de emisiones de CO ₂	31
Tabla 9. Kilometraje anual promedio	32
Tabla 10. Emisiones de CO ₂ anuales	32
Tabla 11. Modelos de estudio	34
Tabla 12. Rendimiento del consumo de combustible.	35
Tabla 13. Factor de emisiones de CO ₂	36
Tabla 14. Emisiones de CO ₂ anuales	38
Tabla 15. Costo de la flota actual.....	40
Tabla 16. Costo en los escenarios propuestos.....	40

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON MENCIÓN
EN NEGOCIOS AUTOMOTRICES

**ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE
CO₂ PARA LA FLOTA DE TAXIS DE LA CIUDAD CAYAMBE BASADOS EN
EL ENFOQUE TOP-DOWN**

Autor: David Andrés Morocho Arroyo
Director: PhD. Paúl Michael Tafur Escanta

RESUMEN

La investigación abordó la problemática de la contaminación ambiental, el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ generadas por la flota de taxis en el cantón Cayambe. El objetivo general consistió en desarrollar una metodología que permitiera estimar las emisiones de CO₂ a partir del consumo de combustibles, basándose en el enfoque Top-Down. Para ello, el proceso investigativo se dividió en varias etapas, cada una con actividades específicas orientadas a recolectar información sobre la flota, examinar los patrones de consumo de combustibles y establecer factores de emisión de CO₂ específicos de cada modelo analizado. Estas acciones permitieron no solo estimar la cantidad de emisiones generadas, sino también plantear posibles estrategias para disminuir las emisiones de CO₂. Los resultados principales mostraron que los taxis de Cayambe representaban una fuente considerable de emisiones de CO₂, lo que permitió comprender la situación actual del cantón. Asimismo, se identificó que, modificando la composición de la flota, especialmente mediante la incorporación de modelos con menores emisiones, podía contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de CO₂. Además, la investigación demostró que la metodología basada en el enfoque Top-Down resultaba adecuada para contextos donde no se tiene datos directos ni factores de emisión específicos, ya que permite realizar estimaciones utilizando únicamente información sobre el consumo de combustible.

Palabras clave: Enfoque Top-Down, factor de emisión, flota de taxis.

ABSTRACT

The research addressed the problems of environmental pollution, fuel consumption and CO₂ emissions generated by the cab fleet in the Cayambe canton. The general objective was to develop a methodology to estimate CO₂ emissions from fuel consumption, based on the Top-Down approach. To this end, the research process was divided into several stages, each with specific activities aimed at collecting information on the fleet, examining fuel consumption patterns and establishing specific CO₂ emission factors for each model analyzed. These actions made it possible not only to estimate the amount of emissions generated, but also to propose possible strategies to reduce CO₂ emissions. The main results showed that cabs in Cayambe represented a considerable source of CO₂ emissions, which made it possible to understand the current situation in the canton. It was also identified that modifying the composition of the fleet, especially by incorporating models with lower emissions, could contribute significantly to the reduction of CO₂ emissions. In addition, the research demonstrated that the methodology based on the Top-Down approach was suitable for contexts where there is no direct data or specific emission factors, as it allows estimates to be made using only fuel consumption information.

Keywords: Top-Down approach, emission factor, taxi fleet.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

La población mundial se ha visto preocupada por la creciente amenaza del cambio climático en los últimos años, un reciente anuncio emitido por la ONU [1] (Organización de las Naciones Unidas) menciona que los GEI (Gases de efecto invernadero) en el 2022 alcanzaron una concentración récord en las emisiones de CO₂ con un valor de 417,9 ppm, lo cual nos lleva a un incremento de la temperatura muy por encima de los objetivos del Acuerdo de París. El principal GEI presente en la atmósfera responsable del 64% del efecto del calentamiento global es el CO₂ producto de la quema de combustibles fósiles.

El 2022 marco un nuevo hito en las emisiones globales de CO₂ según el informe presentado por la EIA [2] (*International Energy Agency*) donde se evidencia un aumento en las emisiones globales de CO₂ relacionados con la producción de energía, alcanzando un valor de alrededor de 36.8 gigatoneladas. Las emisiones provenientes de la quema del petróleo experimentaron un incremento aproximado de hasta 11,2 gigatoneladas que corresponde al 30% de las emisiones relacionadas con la producción de energía, mientras que las emisiones de CO₂ derivadas del transporte (incluidos los buques internacionales y la aviación) aumentaron hasta las 8 gigatoneladas que corresponde al 22% de las emisiones totales. Por su parte, las emisiones de CO₂ provenientes de los automóviles y furgonetas también experimentaron un aumento, llegando a las 3,5 gigatoneladas que corresponde al 9,5% de las emisiones.

En la actualidad las emisiones GEI a nivel mundial se han convertido en un tema de investigación muy amplio debido a su impacto en el cambio climático. Por consiguiente, las diferentes organizaciones mundiales y entidades gubernamentales se han enfocado en desarrollar acciones con la finalidad de controlar y regular las distintas actividades y fuentes de emisiones GEI.

Durante la vigésimo primera reunión del CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) [3], conocida como COP 21 se logró un hecho histórico con la aprobación del Acuerdo de París, con la participación de 193 países. En este acuerdo se establecieron metas a largo plazo con el objetivo de contrarrestar los efectos del cambio climático. Entre sus objetivos se encuentra la reducción progresiva de las emisiones GEI para contener el incremento de la temperatura por debajo de 2°C, preferentemente a 1,5°C en este siglo. Se estipula alcanzar una temperatura máxima de 1,5°C para el 2030 y disminuir el total de las emisiones en un

mínimo de 45% respecto a los niveles registrados en 2010. Además, una transición hacia las emisiones netas cero para el 2050. Para alcanzar estos objetivos la CMNUCC propuso revisar cada 5 años el compromiso de cada país, los países enviarán su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) actualizado, el cual es un plan nacional de acciones climáticas.

La ONU, en colaboración con los líderes mundiales han establecido un conjunto de objetivos para eliminar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos a través de la nueva Agenda de Desarrollo Sostenible [4]. Esta agenda está compuesta por 17 objetivos específicos que deberán lograrse dentro de 15 años. Para el objetivo 13 se centra en la Acción por el Clima, destacando que el cambio climático es el resultado de las acciones humanas, específicamente de las emisiones GEI, cuyo rápido crecimiento puede provocar desastres a nivel mundial. Se resalta la urgente necesidad de realizar acciones para limitar el aumento de temperatura y así prevenir desastres irreversibles. Además, resalta la importancia de limitar y reducir las emisiones GEI y plantea soluciones para transformar el sistema energético, industriales, transporte, agrícola y forestales.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [5] ha presentado la Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este informe contiene una información detallada sobre los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) donde se explica la metodología y el proceso utilizado para cuantificar los GEI según los principales sectores. Para elaborar este inventario, se siguieron las directrices del IPCC 2006 (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Como resultado, se revela que las emisiones GEI en Ecuador en el 2018 alcanzaron las 75326,87 Gigagramos de CO₂, el sector de la energía es el que más aporta con un 51% de las emisiones nacionales, representando 38400,06 Gigagramos de CO₂, mientras que el subsector del transporte es responsable de emitir 19456,18 Gigagramos de CO₂.

Por su parte el Ministerio del Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica [6], menciona que el Ecuador se suscribió al Acuerdo de París, aunque el país sea el responsable de una pequeña fracción de las emisiones globales se suma al reto de reducir las emisiones internas como parte de su responsabilidad ambiental. En 2019 Ecuador presentó su primer NDC con la finalidad de cumplir con las obligaciones planteadas en el Acuerdo de París para alcanzar sus metas, para respaldar estos objetivos, el Ecuador a través de la estrategia Nacional de Cambio Climático, se propone establecer los

escenarios propicios para la ejecución de estas medidas permitirán reducir las emisiones GEI y potenciar los sumideros de carbono en áreas consideradas prioritarias para el desarrollo sostenible.

Ecuador ha desarrollado su primera NDC basándose en un estudio detallado de diferentes ámbitos económicos, que comprenden los sectores energético, agrícola, industrial y manejo de desechos. Este plan estratégico se ejecutará durante cinco años desde el 2020 hasta el 2025, periodo en el cual el país implementará diversas iniciativas sectoriales enfocadas a contrarrestar los efectos del cambio climático. En el ámbito energético la estrategia contempla tres ejes fundamentales: potenciar las fuentes renovables de energía, optimizar el uso de recursos energéticos y transformar los hábitos de consumo de la población. Adicional se considera prioritario el desarrollo del sistema de movilidad sostenible con particular énfasis en el sector del transporte, el plan busca disminuir las emisiones GEI tanto en el transporte de mercancías como en los sistemas de movilidad de pasajeros en las tres principales ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca.

El enfoque Top-Down es uno de los dos enfoques principales utilizados para elaborar inventarios GEI a nivel nacional o regional, este enfoque se basa en estadísticas nacionales o regionales sobre el consumo de combustibles fósiles, actividades industriales y otras actividades que generan emisiones de GEI, según las directrices IPCC [7] se toma en consideración variables como: datos sobre el consumo de combustibles fósiles, factores de emisión predeterminados para cada tipo de combustible o actividad, que representan la cantidad de emisiones por unidad de consumo o actividad.

Por lo tanto, para poder desarrollar estos lineamientos que permitan regular y controlar las emisiones GEI se necesita conocer la situación actual en las diferentes regiones y ciudades del país, para ello se han realizado varios estudios con el fin de elaborar diferentes metodologías para estimar la cantidad de emisiones que se producen de los distintos sectores del Ecuador.

Sin embargo, existen zonas del país, como ocurre en el cantón Cayambe, que carecen de información ambiental y se desconoce el estado actual de la cantidad de emisiones de CO₂ generadas por el transporte público, específicamente de la flota de taxis que opera dentro del cantón. El estudio que se propone tiene como objetivo desarrollar una metodología que permita estimar la concentración de emisiones de CO₂ en base al consumo de combustible para la flota de taxis del cantón Cayambe basándose en el enfoque Top-Down.

1.2. Antecedentes

En la actualidad una de las principales temáticas de investigación a nivel mundial se enfoca en las fuentes de emisiones GEI, esto debido a que en los últimos años la cantidad de emisiones emitidas hacia la atmósfera han aumentado considerablemente [8].

Las instrucciones del IPCC de 2006 para elaborar los inventarios nacionales establecen métodos en tres niveles y una clasificación de las fuentes de emisiones. El método de Nivel 1 es sencillo ya que pueden utilizarse en todas las naciones y en diversas situaciones, deben incluir valores por defecto para los factores de emisión y todos los parámetros necesarios. Por otra parte, el método para el Nivel 2 debe seguir el mismo enfoque metodológico que el del Nivel 1, pero además deben permitir factores de emisión y datos de actividad específicos del país con mayor resolución, por lo tanto, se requieren factores de emisión específicos para cada ubicación. El método del Nivel 3 ofrece flexibilidad para niveles más avanzados de desagregación, esta metodología puede ser específica para cada país, como la modelización o los enfoques de medición directa, o ambos; se trata de una técnica más complicada que requiere las características de las emisiones nacionales y cada país necesitará su propio conjunto de parámetros [9]

Actualmente, se tiene diversas metodologías para obtener los factores de emisiones, que son datos fundamentales para elaborar inventarios, [10]. Partiendo desde un enfoque general, es posible distinguir dos métodos: método directo y método indirecto.

El método directo consiste en realizar mediciones a bordo en condiciones reales de funcionamiento del vehículo ya sea mediante el uso de un analizador de gases portátiles, sensores remotos o pruebas en dinamómetros para determinar los factores de emisiones, este tipo de mediciones presentan un bajo índice de incertidumbre, sin embargo, el costo para llevar a cabo estas mediciones es muy elevado [11].

Por otro lado, están las mediciones indirectas que se basan en los factores de emisiones obtenidos de los modelos internacionales preestablecidos, estas mediciones se pueden llevar a cabo mediante el uso de herramientas computacionales o softwares diseñados para calcular la cantidad de emisiones en condiciones teóricas de cada modelo, dentro de estas aplicaciones se puede encontrar MOBILE (Modelo de Factor de Emisión de Fuente Móvil), IVE (Modelo Internacional de Emisiones de Vehículos), COPERT (Programa Informático para Calcular las Emisiones del Transporte por Carretera), entre otros [12].

Una reciente investigación [13], llevada a cabo en China se enfoca en la reestimación de los factores de emisión de CO₂ de vehículos de turismo a gasolina.

Utilizaron un modelo de regresión progresiva que incorpora las características del vehículo, el comportamiento de conducción y el tráfico, Los resultados indicaron que, para los de turismos a gasolina de 7 pasajeros o menos en Beijing, el factor de emisión de CO₂ se vio significativamente influenciado por la cilindrada del motor, la antigüedad del vehículo, el país fabricación y la proporción del kilometraje total anual en las carreteras nacionales.

Además, se menciona que actualmente la estimación de factores de emisión de CO₂ se ha venido realizando mediante diferentes métodos, como el método de prueba de banco y dinamómetro de motor, medición de emisiones por carretera, sensores remotos, entre otros [14]. Aunque el método más para determinar los factores de emisiones de CO₂ es la prueba de banco y dinamómetro de motor, sin embargo, este y los demás métodos mencionados no consideran características como el tráfico vehicular, los comportamientos de conducción y las características específicas de cada vehículo. Mientras tanto los principales modelos de estimación de los factores de emisiones de CO₂ han logrado grandes avances dentro de estos modelos se pueden mencionar son MOBILE, IVE y COPERT, sin embargo, estos modelos presentan valores predeterminados, lo que hace que los modelos no puedan reflejar la condición real.

Fung [15]. ha evaluado la discrepancia entre los enfoques Top-Down y Bottom-Up, en una desagregación espaciotemporal de las emisiones de CO₂ en carreteras urbanas. La finalidad de este trabajo es determinar las diferencias en las emisiones de CO₂ obtenidas mediante diferentes métodos en Helsinki, Finlandia. Para ello, se llevaron a cabo mediciones utilizando un laboratorio móvil para cuantificar las emisiones del tráfico. Se compararon tres métodos diferentes basados en la resistencia aerodinámica utilizando el enfoque Top-Down, y tres modelos de emisiones microscópicas basada en la actividad de conducción utilizando el enfoque Bottom-Up. Como resultado se encontraron variaciones significativas en los flujos de CO₂ obtenidos mediante diferentes métodos. Además, se enfatizó la importancia de considerar las condiciones meteorológicas y las características del entorno urbano al elegir los métodos de medición adecuado.

A nivel nacional, también se han desarrollado investigaciones para la estimación de emisiones vehiculares. En estos estudios, se han utilizado metodologías similares a las mencionadas anteriormente. El estudio realizado por Patiño [16]. presenta la metodología empleada para el desarrollo de un inventario local de emisiones en la ciudad de Guayaquil, utilizando el modelo IVE, con una resolución espacial de 1 km x 1 km y temporal de 1 hora mediante un enfoque Top-Down. Esta investigación combina datos

del tráfico, la determinación de la flota vehicular, patrones de actividad y los kilómetros recorridos por vehículos (VKT). Los resultados indican que Guayaquil muestra patrones de emisiones obsoletos y altos factores de emisión. Además, se observa que las tasas de emisiones provienen principalmente de zonas densamente pobladas y que la variabilidad entre los meses es mínima, aunque el patrón diario típico de emisiones presenta picos tanto en las mañanas como en las noches.

Viteri [17] por su parte desarrolló un inventario de alta resolución de emisiones vehiculares a nivel del Ecuador utilizando el modelo IVE, mediante una desagregación espaciotemporal que considero factores la como intensidad vehicular, patrones de conducción, variables ambientales, clasificación y tecnologías vehiculares en varias provincias del país. Este estudio revelo que Guayaquil y Quito son las ciudades con mayores emisiones vehiculares.

Rosero [18], en su reciente investigación examina la interacción entre los vehículos y las condiciones reales de tráfico, y como estas afectan en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, para lo cual presenta una metodología que utiliza un dispositivo OBD para registrar en tiempo real los parámetros de funcionamiento del vehículo y del motor, permitiendo así estimar las emisiones de CO₂ a partir de la tasa de consumo de combustible registrado por el dispositivo. Se destaca que este es un método representa una herramienta potencial para determinar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de un vehículo en condiciones reales de tráfico.

En base a la revisión del estado del arte, se evidencia una falta de estudios sobre la estimación de la concentración de gases contaminantes a partir del consumo de combustible basado en un enfoque Top-Down por tanto este trabajo presenta una metodología relevante debido a la segregación de la flota de transporte de la ciudad de Cayambe dejando una brecha para futuros estudios.

1.3. Objetivos.

Objetivo general.

Estimar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ para la flota de taxis de la ciudad Cayambe basados en el enfoque Top-Down.

Objetivos específicos.

- Determinar la composición de la flota de taxis para precisar cantidad de vehículos y los modelos más representativos.
- Establecer el factor de emisiones de CO₂ basados en datos del consumo promedio de combustible de los modelos más representativos.

- Calcular la cantidad de emisiones de CO₂ (T/año) producido por la flota de taxis utilizando el enfoque Top-Down.
- Analizar el consumo de combustible y los factores de emisión de CO₂ de la flota de taxis para dos diferentes escenarios propuestos.

1.4. Justificación.

El presente trabajo de investigación propone desarrollar una metodología para la estimación de consumo de combustibles y emisiones de CO₂ producidos por la flota de taxis del cantón Cayambe, debido a que en la actualidad el tema de emisiones contaminantes es ampliamente estudiado con el propósito de implementar estrategias que permitan mitigar el impacto que tienen las emisiones contaminantes en el medio ambiente [19].

Por medio de la estimación del consumo de combustible y la determinación de la intensidad de uso, se podrá calcular la cantidad de emisiones de CO₂, lo cual permitirá tener una idea de las condiciones actuales en cuanto a la cantidad de CO₂ emitido por la flota de taxis del cantón Cayambe en el último año.

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco teórico

2.1.1. *Transporte terrestre en Ecuador*

El transporte terrestre en el Ecuador se refiere a los diversos medios de transportes que circulan en las carreteras del país con la finalidad de trasladar personas, animales u objetos desde una ciudad a otra, en la mayoría de los casos se realiza una transacción en el cual las personas realizan un pago a cambio de un servicio de transporte [20].



Figura 1. Transporte comercial en Ecuador. [20]

El transporte en el Ecuador ha sido clave para conectar las ciudades y en la actualidad las personas usan principalmente el transporte público para viajar entre diferentes lugares, en otras palabras, gracias a como se ha constituido el transporte público en el Ecuador las diferentes ciudades del país se han podido desarrollar y relacionarse unas con otras [21].

➤ **Clase de transporte**

La movilización dentro del territorio ecuatoriano es sencilla, debido a que es un país no tan extenso en cuanto a territorio, lo que hace posible su fácil circulación de una ciudad a otra, ya que este país tiene una extensión de 256.370 Km² según lo manifiesta el propio gobierno, lo que hace posible que en un solo día se pueda pasar de la región Costa a la Sierra y de la Sierra al Oriente [22].

Ashqui [23] menciona que en el Ecuador el transporte terrestre juega un papel fundamental en la movilización de personas y bienes dentro del país. Se distinguen diversas clases de transporte, cada una con sus características y contribuciones al sistema de movilidad nacional.

Transporte público: Este tipo de transporte abarca una variedad de medios, incluyendo buses, troles, metro, ecovía, entre otros. Se caracteriza por ofrecer servicios accesibles al público en general, con tarifas reguladas por las autoridades gubernamentales y rutas definidas que cubren áreas urbanas y rurales a lo largo del país.

Transporte particular: Comprende los vehículos de propiedad privada utilizados para el transporte personal, sin necesidad de obtener fines de lucro a cambio de su utilización.

Transporte comercial: Transporte que tiene permiso de operación como transporte escolar, institucional, taxis, tricimotos, entre otros.

Transporte por cuenta propia: Aquel que necesita autorización para su operación, en donde se destaca el transporte de personas y bienes, siendo exclusivo de vehículo o flota privada, para las diferentes actividades comerciales. [24].

➤ *Transporte público de taxis*

El transporte público de taxis consta dentro del artículo 46 de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, en donde aclara que el transporte terrestre automotor es un servicio público esencial y a su vez una actividad económica estratégica del estado que consiste en la movilización libre y segura de los usuarios o personas y de bienes de un lugar hacia otro [25].

Dávila [26] indica que el transporte público de taxis desempeña un papel esencial en la movilidad urbana de Ecuador, proporcionando servicios de transporte a demanda para los ciudadanos y visitantes, los taxis son vehículos de alquiler que operan bajo regulaciones específicas establecidas por las autoridades locales y nacionales.

El transporte público de taxis en Ecuador enfrenta desafíos en términos de competencia con otros modos de transporte, regulación del sector y adaptación a cambios tecnológicos, como la integración de aplicaciones móviles para la solicitud de servicios de taxi. Sin embargo, sigue siendo una parte integral del sistema de transporte público del país, brindando servicios esenciales para la movilidad urbana y regional [27].

2.1.2. Motores de combustión interna

Rovira [28] hace referencia que los motores de combustión interna son aquellos motores térmicos de desplazamiento positivo o también llamadas volumétricos, en donde el trabajo que se realiza se lo obtiene a través de un desplazamiento de tipo lineal del émbolo de un mecanismo biela – manivela, siendo considerados motores de combustión interna porque el estado térmico se obtiene en el propio fluido que genera el motor.

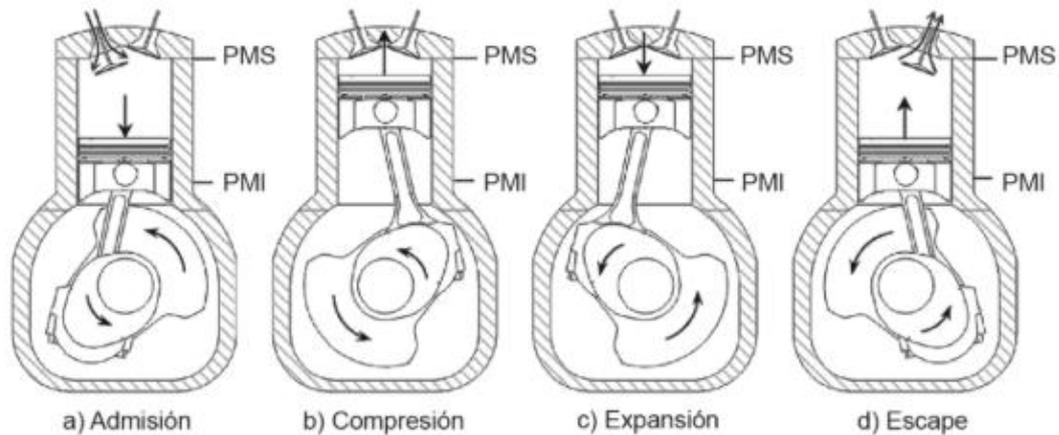


Figura 2. MCI Ciclo Otto. [28]

➤ *La combustión*

La combustión es un proceso químico en el que un carburante ya sean estos hidrocarburos reaccionan con un comburente liberando energía en forma de luz y calor, además de otros productos resultantes este fenómeno se manifiesta a través de una llama visible [29].

➤ *Ciclo Otto*

El ciclo Otto, también denominado ciclo de cuatro tiempos, constituye el principio termodinámico esencial que regula el funcionamiento de los motores de gasolina, ampliamente utilizados en la industria del transporte. Este ciclo describe el proceso mediante el cual la energía química presente en la mezcla de aire y combustible se transforma en energía mecánica, la cual se emplea para propulsar el vehículo. El ciclo se divide en cuatro etapas claramente diferenciadas [30].

Admisión: En la fase de admisión, el pistón desciende desde su posición superior hacia la inferior, generando un vacío dentro de la cámara de combustión. Durante este proceso, la válvula de admisión se abre para permitir la entrada de una mezcla de aire y combustible a través del conducto de admisión. Esta etapa es fundamental, ya que la cantidad de mezcla que ingresa influye directamente en la potencia y eficiencia del motor.

Compresión: La siguiente etapa es la compresión, en la cual el pistón asciende comprimiendo la mezcla de aire y combustible dentro de la cámara. Esta compresión eleva tanto la presión como la temperatura de la mezcla, lo que prepara las condiciones óptimas para la combustión. La compresión es vital para mejorar la eficiencia del ciclo, dado que una mezcla más densa libera mayor cantidad de energía durante la combustión.

Combustión: En la fase de combustión, cuando el pistón alcanza el punto de máxima compresión, la bujía genera una chispa eléctrica que enciende la mezcla. La combustión rápida y controlada libera una gran cantidad de energía térmica, incrementando la presión en la cámara y empujando el pistón hacia abajo. Este movimiento genera la fuerza mecánica necesaria para el desplazamiento del vehículo.

Escape: Finalmente, en la etapa de escape, el pistón llega al final de su carrera descendente y la válvula de escape se abre para expulsar los gases resultantes de la combustión hacia el sistema de escape. Esta fase es crucial para eliminar eficientemente los productos de combustión y preparar el motor para iniciar un nuevo ciclo [31].

➤ *Consumo de combustible*

El consumo de combustibles como la gasolina provoca emisiones dentro del sector de transporte, debido a que su consumo es el proceso de combustión necesario para la movilización de todo tipo de vehículo. Es importante considerar que en el proceso de combustión completa el oxígeno que se encuentra en el aire se encarga de transformar todo su hidrógeno en agua y todo el carbono en CO₂, pero también el proceso de combustión no siempre es perfecto, lo cual genera una emisión de otro tipo de contaminantes a la atmósfera [32].

El consumo específico de combustible se lo puede determinar mediante la relación entre el gasto masico de combustible por unidad de potencia como se muestra en la ecuación (Ec. 1).

$$CEC = \frac{mf}{Ne} \quad (Ec. 1)$$

Robles [20] menciona que el consumo de combustible en los motores de combustión interna es un aspecto crítico tanto para los propietarios de los vehículos como para el medio ambiente, el consumo de combustible se refiere a la cantidad de combustible que un motor consume por unidad de distancia y se expresa típicamente en litros por kilómetro (l/km).

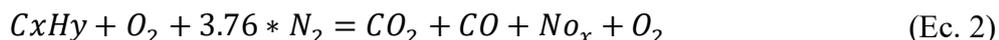
➤ *Gases de la combustión*

Desde la invención e incorporación de los motores de combustión interna, estos se han convertido en la principal fuente de energía mecánica en el mundo, lo que a su vez ha tenido como consecuencia las emisiones de productos derivados de la combustión como el dióxido (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO₂), óxidos de

nitrógeno (NO_x) y diversa cantidad de material particulado son aquellos considerados como gases de efecto invernadero [33].

Los gases de la combustión son los productos del proceso termodinámico en los motores de combustión interna, estos gases incluyen una variedad de compuestos, algunos de los cuales pueden tener impactos significativos en la salud humana y en el medio ambiente [20].

Fórmula completa de la combustión real (Ec. 2).



Dióxido de carbono (CO₂): Es un gas de efecto invernadero que desempeña un papel clave en el cambio climático al retener el calor en la atmósfera terrestre. Los vehículos con motores de combustión interna representan una fuente significativa de emisiones de CO₂, ya que durante la combustión el carbono presente en el combustible se combina con el oxígeno del aire, generando dióxido de carbono.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Son compuestos que se forman principalmente en motores de gasolina debido a las altas temperaturas alcanzadas durante la combustión. Estos gases contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida, además de ser precursores de partículas finas y ozono troposférico, sustancias que afectan negativamente la salud humana y el medio ambiente.

Monóxido de carbono (CO): E es un gas incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta del combustible. Este gas es altamente tóxico y puede provocar envenenamiento por inhalación en concentraciones elevadas. Además, el CO reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno a los tejidos, lo que representa un riesgo grave para la salud.

Hidrocarburos no quemados (HC): Son compuestos orgánicos emitidos también por la combustión incompleta. Estos hidrocarburos actúan como precursores de compuestos orgánicos volátiles (COV), que contribuyen a la formación de smog y pueden causar efectos adversos tanto en la salud humana como en el medio ambiente [34].

2.1.3. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire se genera debido a la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera, estos agentes son aquellos provocados por la combustión, instalaciones industriales y los incendios forestales que son fuente habitual de la contaminación del aire, siendo así que los

contaminantes más preocupantes para la salud vienen dados por las partículas que se encuentran suspendidas como: monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y de azufre [35].

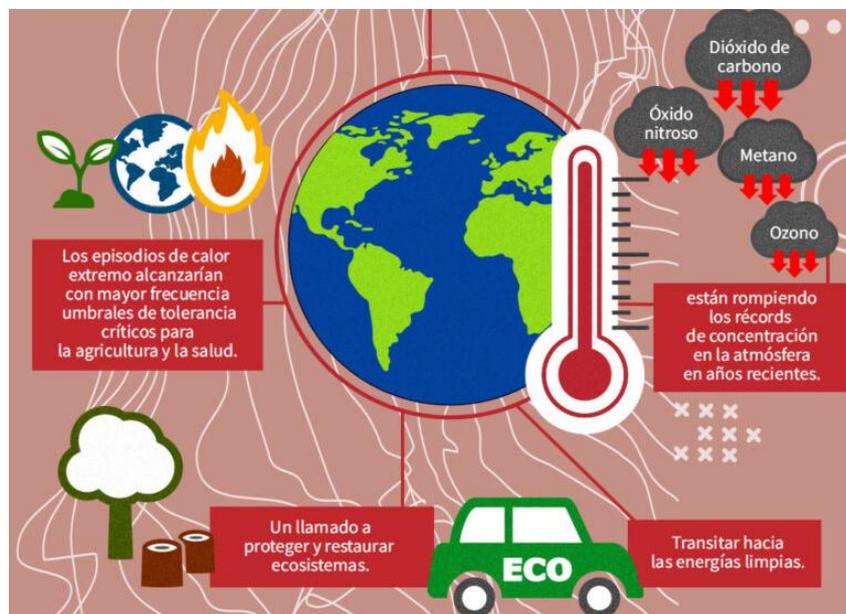


Figura 3. Cambio climático. [35]

➤ *Cambio climático*

El cambio climático implica alteraciones en los patrones meteorológicos a nivel regional y global, comparado con lo que ha sido el clima históricamente. Existe causas naturales para estas alteraciones climáticas, sin embargo, en la actualidad gran parte de este cambio se atribuye a las diversas actividades humanas y su impacto en el planeta, este fenómeno ha influido negativamente en el desarrollo y sobrevivencia de los seres vivos en el planeta [36].

El cambio climático se origina principalmente por la acumulación excesiva de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (NO_2). Estos gases retienen la radiación solar en la superficie terrestre, causando un aumento progresivo de la temperatura global. Este calentamiento afecta negativamente a los ecosistemas del planeta [19].

El cambio climático se manifiesta como variaciones extremas en la temperatura. Gran parte del calentamiento global reciente se atribuye a actividades humanas que generan emisiones de GEI. Estos gases intensifican el efecto invernadero, atrapando el calor solar en la atmósfera y elevando la temperatura media del planeta, lo que representa un desafío ambiental significativo.

➤ *Gases de efecto invernadero*

Los gases de efecto invernadero se generan de manera natural dentro de la atmósfera a lo largo de los años, esta clase de gases son aquellos que favorecen a la creación de efecto invernadero, y a su vez los que no permiten el escape de calor, ya que se encargan de crear el efecto denominado forzamiento radiactivo, sin embargo, la existencia de estos gases permite la neutralidad en la temperatura terrestre, pero su incremento excesivo ha provocado que aumente el calentamiento global [37].

Estos gases son fundamentales para mantener la temperatura de la Tierra en un rango habitable, pero su aumento debido a actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, ha generado preocupaciones sobre el cambio climático [38].

El dióxido de carbono (CO_2) es el principal gas de efecto invernadero generado por actividades humanas, especialmente por la quema de combustibles fósiles en la generación de energía y el transporte. El metano (CH_4), aunque presente en menores concentraciones, posee una capacidad mucho mayor que el CO_2 para atrapar el calor en la atmósfera. Los óxidos de nitrógeno (NO_x), producidos principalmente durante la combustión de combustibles fósiles y biomasa, incluyen al óxido nítrico, un gas de efecto invernadero altamente potente y persistente que contribuye significativamente al calentamiento global [34].

➤ *Emisiones vehiculares de CO_2*

Los medios de transporte en la actualidad desarrollan un papel fundamental en el sector económico y social de una población, debido a la dinámica y movimiento de los recursos humanos y también materiales para el ejercicio del comercio de un territorio. Al comparar la evolución y desarrollo de los medios de transporte los países en Latinoamérica están atrasados en gran medida con el resto del mundo un claro ejemplo es en su infraestructura. A nivel nacional el crecimiento de la población y por ende el crecimiento de las externalidades de los medios de transporte ha hecho que se incremente el consumo de combustible, generando impactos en el ambiente por el incremento de las emisiones de CO_2 y gases de efecto invernadero [39].

Arias [40] menciona que las emisiones vehiculares de dióxido de carbono (CO_2) son una contribución significativa a las emisiones totales de gases de efecto invernadero, especialmente en áreas urbanas con altas concentraciones de tráfico. Estas emisiones provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles en motores de combustión interna durante la operación de vehículos de transporte.

Las emisiones de CO₂ de los vehículos están directamente relacionadas con el consumo de combustible y la eficiencia del motor. Cuanto mayor sea el consumo de combustible de un vehículo, mayores serán las emisiones de CO₂ asociadas.

2.1.4. *Inventario de emisiones*

Los inventarios de las emisiones no solo permiten el cálculo de las emisiones, sino que a su vez permiten evidenciar la huella de carbono generado por diferentes fuentes, estos inventarios permiten comprender la calidad del aire ya que muestran la cuantificación de ciertos contaminantes de diversas fuentes, actualmente existe diferentes metodologías que se utilizan para los inventarios de las emisiones según las diferentes organizaciones, las cuales presentan semejanzas y diferencias entre cada una de ellas, para seleccionar una metodología se debe tomar en cuenta los objetivos e información que se busque alcanzar [41].

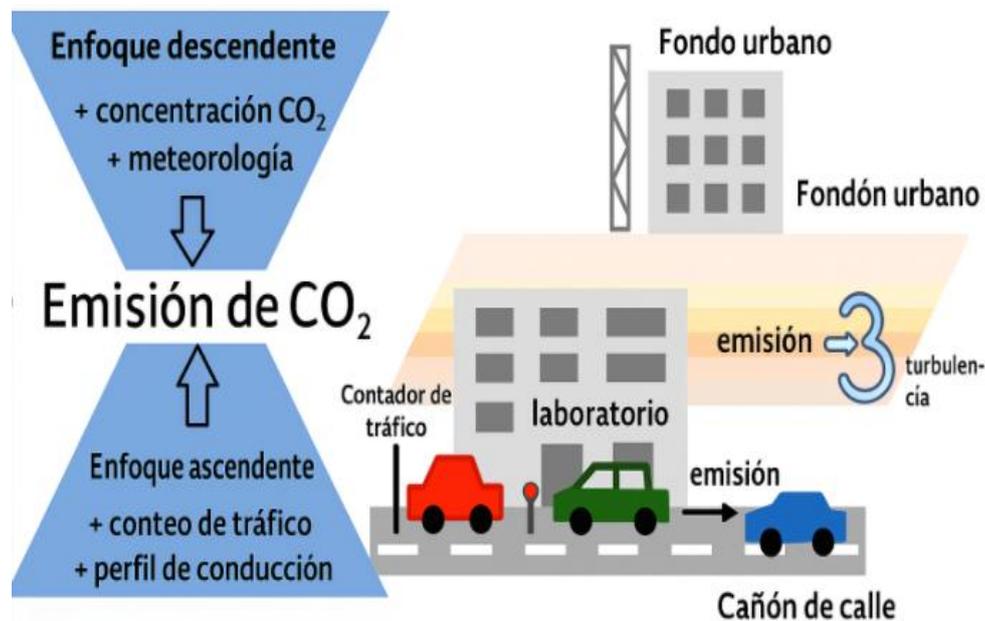


Figura 4. Enfoque Top-Down y Bottom- Up. [15]

➤ *Metodología*

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático establece una ecuación fundamental para estimar las emisiones GEI, esta ecuación se basa en multiplicar la actividad que genera las emisiones por un factor de emisión específico [7], se expresa como:

$$Emision = FE \cdot A \quad (Ec. 3)$$

La actividad (A) es una medida que cuantifica el nivel de la fuente emisora de GEI, como kilómetros recorridos o volumen de combustible vendido en el sector

transporte. Los datos de actividad se obtienen de fuentes oficiales gubernamentales o encuestas representativas.

El factor de emisión (FE) se define como la cantidad de emisiones GEI emitidos por unidad de actividad, expresado generalmente como la masa del gas emitido dividida por una unidad específica de actividad, como volumen de combustible consumido o distancia recorrida. Los FE pueden derivarse mediante mediciones directas en la fuente o a partir de promedios históricos de emisiones de fuentes similares, proporcionando una estimación válida del impacto ambiental de diversas actividades.

El IPCC establece tres niveles metodológicos para el cálculo de emisiones: Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3, que varían en complejidad y precisión según la disponibilidad de datos.

El Nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto y datos generales, como el consumo de combustible; el Nivel 2 incorpora factores específicos por país y desglosa los datos según tipo de vehículo y tecnología; mientras que el Nivel 3 es el más detallado, considerando distancias recorridas, tecnologías de control y condiciones de uso. Para emisiones de CO₂, el IPCC recomienda aplicar solo los Niveles 1 y 2, mientras que para N₂O y CH₄ se pueden usar los tres niveles.

Según Gutiérrez [37] el proceso para elaborar el inventario de emisiones de CO₂ mediante el cálculo del FE se puede resumir a los siguientes pasos:

Contenido de carbono del combustible CC: El contenido de carbono en el combustible es crucial para convertir el consumo de combustible en emisiones de CO₂. Este valor se puede obtener de las especificaciones del combustible proporcionadas por los proveedores o las agencias regulatorias.

Rendimiento del consumo de combustible: Es el consumo de combustible de la flota durante un período determinado, respaldados por registros oficiales

Poder calorífico de la gasolina PC: Indica la energía liberada por unidad de masa o volumen y afecta la eficiencia del motor.

Densidad de la gasolina P: Es la masa por unidad de volumen y es necesaria para cálculos energéticos.

Factor de combustión: El factor de combustión se refiere a la relación estequiométrica entre la masa de dióxido de carbono liberada y la masa de carbono contenida en un combustible fósil durante el proceso de combustión completa. La relación de masas de 44 kg CO₂ por cada 12 kg de carbono combustionado se deriva de las masas

atómicas de los elementos involucrados y la estequiometría de la reacción, se emplea la siguiente ecuación para el FE de CO₂:

$$FE_{CO_2} = \frac{CC\left(\frac{g}{kj}\right) \cdot PC\left(\frac{kj}{kg}\right) \cdot P\left(\frac{kg}{gal}\right) \cdot Factor\ Comb.}{Ren\left(\frac{km}{gal}\right)} \quad (Ec. 4)$$

➤ *Nivel de cuantificación de emisiones*

El nivel de cuantificación para estimar las emisiones de CO₂, se pueden distinguir dos niveles de cuantificación: macro y micro [42].

Macro: En el nivel macro, las emisiones de CO₂ se estiman a partir de datos agregados, sin considerar las características individuales de cada vehículo. Este enfoque se basa en datos generales de consumo de combustible y actividad. Para la cuantificación macro, se utilizan ecuaciones y factores de emisión promedio que representan su totalidad.

Micro: En contraste, el nivel micro implica una cuantificación detallada de las emisiones de cada vehículo. En este enfoque, se consideran las características específicas de cada vehículo, como su modelo, año de fabricación, eficiencia del motor y patrones de conducción.

La elección del tipo de enfoque que se va a desarrollar depende de la calidad y el nivel de la información que se tenga en ese instante, motivo por el que se presentan dos enfoques como son el “Top – Down” y “Botton Up”

➤ *Enfoque Top Down*

El enfoque Top Down también conocido como “De arriba hacia abajo”, es aquel que nos ofrece una visión general, en donde primero se parte de los datos y conocimientos generales con el objetivo de llegar a los datos y conocimientos específicos de las emisiones que se requiere, el enfoque Top-Down es una metodología utilizada para estimar las emisiones totales de CO₂ basándose en datos agregados a nivel macroeconómico y de actividad, en lugar de medir directamente las emisiones de cada vehículo individualmente [37].

Datos macroeconómicos y de actividad: Se utilizan datos a gran escala, como el consumo total de combustible durante un período de tiempo específico y las estadísticas de transporte, como la cantidad de kilómetros recorridos o el número de viajes realizados.

Factor de emisión promedio: Se aplica un factor de emisión promedio de CO₂. Este factor se basa en datos promedio de emisiones para el tipo de combustible utilizado.

Cálculo de emisiones totales: Utilizando los datos de consumo de combustible y el factor de emisión promedio, se calculan las emisiones totales de CO₂.

➤ *Enfoque Bottom Up*

Para el enfoque Bottom Up también denominado como “De abajo hacia arriba” es aquel análisis que otorga mayor concentración, es decir que a lo contrario del Top Down este método parte de los datos y conocimientos detallados o de carácter específico, el enfoque bottom-up implica una evaluación detallada de las emisiones de CO₂ [43].

Mediciones directas: Se realizan mediciones directas del consumo de combustible y las emisiones de escape. Estas mediciones pueden incluir pruebas en bancos de rodillos o dispositivos de medición de gases de escape.

Datos específicos del vehículo: Se tienen en cuenta las características específicas de cada vehículo, como el modelo, año de fabricación, eficiencia del motor y condiciones de operación.

Cálculo de emisiones individuales: Utilizando los datos de consumo de combustible y las emisiones de escape, se calculan las emisiones de CO₂, este cálculo proporciona una estimación detallada y precisa de las emisiones de CO₂.

2.1.5. Nuevas tecnologías automotrices para la reducción de emisiones

En la actualidad se ha evidenciado un gran incremento del sector automotriz, así como también la población en el mundo ha ido en aumento, siendo de tal manera la generación de problemas en cuanto a la contaminación, esto debido a las grandes emisiones de dióxido de carbono que emiten los autos, es así que como respuesta a esta generación desmedida de contaminación se ha propuestos varias alternativas de energía renovable tales como: vehículo híbridos, eléctricos y la utilización de motores Downsizing.



Figura 5. vehículos híbridos.[44]

➤ *Vehículos híbridos*

Los vehículos híbridos combinan un motor de combustión interna con uno o más motores eléctricos y una batería para almacenar energía. Estos automóviles pueden funcionar exclusivamente con el motor eléctrico, solo con el motor de combustión o con ambos simultáneamente, según las condiciones de manejo y la demanda de potencia. Esta flexibilidad permite una reducción considerable en el consumo de combustible y en las emisiones de CO₂, especialmente en áreas urbanas donde el motor eléctrico se utiliza con mayor frecuencia durante desplazamientos a baja velocidad y en situaciones de paradas y arranques constantes [44].

➤ *Vehículos eléctricos*

Los vehículos eléctricos (EV) funcionan únicamente con motores eléctricos alimentados por baterías recargables. Al no contar con un motor de combustión interna, no generan emisiones de CO₂ durante su operación. La recarga de estas baterías puede realizarse mediante electricidad proveniente de fuentes renovables, lo que disminuye aún más las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los vehículos tradicionales. Los EV representan una tecnología prometedora para mitigar las emisiones en el sector transporte, especialmente cuando se implementan políticas que promueven la generación de energía limpia [45].

➤ *Estrategia Downsizing*

Downsizing es una estrategia que consiste en reducir el tamaño de los motores de combustión interna sin perder potencia ni rendimiento. Esto se logra optimizando la eficiencia mediante la reducción de fricción interna, mejorando la combustión y aplicando tecnologías como la sobrealimentación con turbocompresores. El Downsizing mejora significativamente la eficiencia del combustible y reducen las emisiones de CO₂, manteniendo el desempeño del vehículo. Esta tecnología es particularmente efectiva en motores de pequeña cilindrada, ideales para entornos urbanos y conducción eficiente [46].

2.2. Marco Legal

2.2.1. Constitución de la Republica del Ecuador

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay [47].

2.2.2. Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial

Art. 211.- Condiciones de circulación para automotores. - Todos los automotores que circulen dentro del territorio ecuatoriano deberán estar provistos de partes,

componentes y equipos que aseguren que no rebasen los límites máximos permisibles de emisión de gases y ruidos contaminantes establecidos en la normativa vigente [25]

2.2.3. *Reglamentos y Normativas de emisiones vehiculares*

RTE INEN 017: Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, con el fin de proteger la vida y la salud humana, animal y vegetal, y al ambiente, sin perjuicio de la eficiencia de los vehículos automotores [48].

NTE INEN 2203: Esta norma mide las emisiones de gases de escape en motores de combustión interna [49].

2.2.4. *Acuerdos internacionales sobre el medio ambiente y cambio climático*

Ecuador suscribió el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que reemplazará al Protocolo de Kioto. Con esta acción, el Estado ecuatoriano, coherente con su vocación de protección ambiental y sus propuestas de vanguardia en el proceso geopolítico de la lucha contra el cambio climático, se suma a los 175 países del mundo que han firmado dicho Acuerdo [50].

CAPITULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio / grupo de estudio.

El grupo de estudio de esta investigación se centró en la flota de taxis que opera en el cantón Cayambe, se realizó un análisis detallado para cuantificar la flota y determinar los cuatro modelos más representativos, a partir de esta información se desarrolló una metodología para estimar la cantidad de emisiones de CO₂ producidas en el último año basado en el consumo de combustible de estos vehículos.



Figura 6. Flota de taxis de Cayambe

3.2. Enfoque y tipo de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado a calcular las emisiones de CO₂ a partir de variables cuantificables, tales como el consumo de combustible, el factor de emisiones y la cantidad de kilómetros recorridos anualmente de cada modelo de vehículo analizado. El estudio fue clasificado como investigación aplicada, ya que la estimación de emisiones generadas por la flota de taxis permitió obtener una visión actualizada sobre la situación del cantón. Este análisis presenta las bases para la posible implementación de estrategias enfocadas en la disminución de emisiones de CO₂ y al desarrollo de una movilidad sostenible.

Asimismo, la investigación se caracterizó como un estudio de campo, pues requirió la aplicación de encuestas a los propietarios de los vehículos para recopilar información sobre el consumo de combustible por kilómetro recorrido. Finalmente, el estudio también presentó un carácter experimental, dado que la estimación de las emisiones de CO₂ dependió de variables como el consumo de combustible, el factor de emisiones y el kilometraje recorrido anual de cada modelo analizado.

3.3.Procedimientos

La investigación se estructuró en varias fases metodológicas, cada una compuesta por actividades específicas orientadas a la obtención y análisis de información relevante sobre la flota de taxis en la ciudad de Cayambe, con el objetivo de estimar las emisiones de CO₂ y analizar alternativas para su reducción.



Figura 7. Diagrama de procedimiento

3.3.1. Fase 1: Análisis de la composición de la flota vehicular.

Actividad 1: Solicitar información de las cooperativas de taxis que operan en la ciudad de Cayambe al CRTV.

Se inició con la recopilación de información sobre las cooperativas de taxis que operaban en la ciudad de Cayambe. Para ello, se solicitó formalmente a la Empresa Pública Municipal de Movilidad de Cayambe datos detallados acerca de las cooperativas activas, incluyendo el nombre de cada una, el número de vehículos que integraban sus flotas, los tipos de vehículos de cada unidad. Esta información resultó esencial para comprender la estructura actual de la flota de taxis y sentó las bases para las etapas posteriores del estudio.

Actividad 2: Identificar el número de vehículos y los modelos más representativos que conforman el total de la flota de taxis.

Posteriormente, se procedió a identificar el número total de vehículos que conformaban la flota de taxis en la ciudad. A partir de los datos recopilados, se determinó cuáles eran los modelos de vehículos más representativos, es decir, aquellos que tenían mayor presencia y participación dentro del parque automotor de taxis. Esta identificación permitió enfocar el análisis en los modelos con mayor impacto potencial en las emisiones de CO₂.

3.3.2. Fase 2: Determinación de los factores de emisión de CO₂.

Actividad 1: Investigar el procedimiento para el cálculo del factor emisiones de CO₂.

Durante la segunda fase, se investigaron los procedimientos estandarizados para el cálculo de factores de emisión de CO₂, tomando como referencia las directrices

internacionales y nacionales. Se determinó que en Ecuador se empleaban las guías del IPCC para la elaboración de inventarios de emisiones. Por tal motivo, se profundizó en el estudio del procedimiento específico recomendado por el IPCC para el cálculo de emisiones de CO₂, identificando la fórmula que considera tanto las propiedades químicas del combustible como el rendimiento energético de los vehículos.

Actividad 2: Elaborar encuesta para determinar el rendimiento del combustible de cada modelo de estudio.

Con el fin de obtener datos precisos sobre el rendimiento del combustible de los modelos de taxis identificados, se diseñó una encuesta digital a través de Google Forms, dirigida a los propietarios de taxis. Esta encuesta incluyó preguntas sobre el modelo y año del vehículo, el tipo de combustible utilizado, el kilometraje semanal y el consumo de combustible. Además, se indagó sobre la disposición de los propietarios a optar por vehículos híbridos o de menor cilindrada como alternativas a los modelos actuales, ver **Anexo 2**.

Actividad 3: Determinar el tamaño de muestra de estudio.

Para definir el tamaño de la muestra de estudio, se realizó un análisis estadístico utilizando la ecuación propuesta por Mucha y Hospital [51], por lo tanto, se aplicó la ecuación (**Ec. 5**) la cual es adecuada para poblaciones finitas y considera el tipo de estudio, el nivel de confianza y el margen de error aceptable. Estos parámetros permitieron calcular un tamaño de muestra representativo y estadísticamente válido para la investigación.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (\text{Ec. 5})$$

Actividad 4: Calcular el factor de emisión de CO₂ de cada modelo.

Una vez obtenidos los datos de consumo de combustible y rendimiento, se calculó el factor de emisión de CO₂ para cada modelo de taxi analizado, siguiendo los procedimientos establecidos por el IPCC [9], a través de la ecuación (**Ec. 4**). este cálculo se lo realizó utilizando la información recopilada a través de las encuestas aplicadas a la muestra de estudio.

3.3.3. Fase 3: Estimación de las emisiones de CO₂.

Actividad 1: Solicitar información sobre los reportes de la Revisión Técnica Vehicular al CRTV del cantón Cayambe.

En la tercera fase, se solicitó a la Empresa Pública Municipal de Movilidad de Cayambe los reportes de la Revisión Técnica Vehicular correspondientes a los taxis

registrados en el cantón. La solicitud incluyó una explicación detallada del propósito del requerimiento, así como la especificación del período de tiempo y los datos necesarios para el análisis.

Actividad 2: *Calcular el corrido anual promedio de cada uno de los modelos de estudio.*

Con los reportes de RTV, se elaboró un registro del kilometraje de cada vehículo, organizando los datos de manera cronológica y creando una tabla que contenía el número de placa, el modelo del vehículo, el año de revisión y el kilometraje registrado en cada período. A partir de esta información, se calculó el promedio de kilómetros recorridos en el último año para cada modelo de taxi incluido en el estudio.

Actividad 3: *Estimar las emisiones de CO₂ anuales producidas por la flota de taxis usando el enfoque Top-Down.*

Para estimar las emisiones anuales de CO₂ generadas por la flota de taxis, se empleó el enfoque Top-Down, que se basa en el consumo promedio de combustible y el recorrido anual de los modelos analizados a nivel de ciudad. Se recopiló datos sobre el consumo promedio de combustible de cada modelo durante un período determinado, y se aplicaron los factores de emisión específicos según el tipo de combustible utilizado. El cálculo de las emisiones totales de CO₂ se realizó multiplicando el factor de emisión por la cantidad de kilómetros recorridos en el último año y por el número total de taxis de cada modelo, conforme a la ecuación establecida para este propósito.

$$Emision = FE_{CO_2} \left(\frac{g}{km} \right) \cdot VKT \left(\frac{km}{año} \right) \cdot N_{Carros} \quad (Ec. 6)$$

Este enfoque Top-Down es ampliamente utilizado en la elaboración de inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero y en los informes presentados por los países ante la CMNUCC y el Protocolo de Kioto, lo que garantiza la comparabilidad y validez de los resultados obtenidos [3].

3.3.4. Fase 4: Análisis del consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

Actividad 1: *Definir y caracterizar los escenarios alternos.*

En la cuarta fase, se definieron y caracterizaron escenarios alternativos para la flota de taxis. Para ello, se establecieron dos escenarios diferenciados: el primero consideró la sustitución de la flota actual por vehículos híbridos, mientras que el segundo contempló el uso de vehículos con cilindrada menor a 1300 cc. Se investigaron las especificaciones técnicas de los modelos seleccionados para cada escenario y se determinó el porcentaje de sustitución de la flota en cada caso, seleccionando cuatro modelos específicos para cada uno.

Actividad 2: *Determinar el consumo de combustible para los escenarios propuestos.*

A continuación, se investigó el rendimiento del consumo de combustible para los modelos propuestos en ambos escenarios. Se determinó el kilometraje promedio anual que recorrería la flota de taxis en cada escenario alternativo, lo que permitió estimar el impacto potencial de la sustitución de vehículos en el consumo total de combustible.

Actividad 3: *Calcular el factor de emisiones CO₂.*

Posteriormente, se calculó el factor de emisión de CO₂ para cada modelo de vehículo propuesto en los escenarios alternativos. Se analizaron las diferencias entre los factores de emisión de la flota actual y los de los vehículos sugeridos, permitiendo así comparar la eficiencia ambiental de cada opción.

Actividad 4: *Cuantificar y comparar las emisiones totales de CO₂.*

Finalmente, se cuantificaron y compararon las emisiones totales anuales de CO₂ para cada uno de los escenarios propuestos. Se realizó una comparación entre las emisiones actuales de la flota de taxis y las emisiones proyectadas en los escenarios alternativos, lo que permitió evaluar el potencial de reducción de emisiones asociado a la adopción de nuevas tecnologías vehiculares o a la renovación de la flota por modelos más eficientes.

3.4.Consideraciones bioéticas

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo sin afectar la integridad física y psicológica de los participantes, para ello los participantes fueron socializados sobre el proyecto y su finalidad, adicional se levantó información en cuanto emisiones de CO₂ de manera indirecta sin utilizar equipos ni sustancias que afecten el medio ambiente.

3.4.1. Principio de autonomía.

Las personas que participaron de las encuestas realizadas se encontraban en su libre derecho de aceptar o declinar su participación en cualquier etapa de la investigación, las encuestas aplicadas a los participantes se llevaron a cabo bajo el consentimiento propio e informado, manteniendo el principio ético de confidencialidad de la información que se encuentren en las encuestas.

3.4.2. Principio de beneficencia.

Las personas que participaron en la aplicación de las encuestas fue bajo su consentimiento y su respectiva colaboración los cuales no estuvieron expuestas a ningún daño o riesgo físico ni psicológico.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la flota vehicular de taxis.

El estudio de la flota de taxis en Cayambe se llevó a cabo analizando datos del Centro de Revisión Técnica Vehicular. Se identificaron 13 operadoras de transporte, con un total de 257 vehículos, distribuidos entre taxis convencionales y ejecutivos, según lo presentado en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Cooperativas de flota de taxis

TAXIS CONVENCIONALES		
Nº	Nombre operadora	No. Vehículos
1	Cia. Monumental Cayambe	25
2	Coop. Velotaxi	22
3	Coop. 3 de noviembre	29
4	Cia. Tratapcu	20
5	Cia. Taxis Abanin	25
6	Cia. Yanantax	15
7	Cia. Turitaxayora	15
8	Cia. Los Andes	14
9	Coop. El Nevado	24
10	Cia. Volaticero	4
TAXIS EJECUTIVOS		
Nº	Nombre operadora	No. Vehículos
1	Cia. Taxlapalmira	23
2	Cia. Aguilaexpress	20
3	Cia. Apuritos Radio	21
TOTAL, FLOTA VEHICULAR TAXIS CONVENCIONALES Y EJECUTIVOS		257

4.1.1. Análisis de la composición de la flota de taxis

En base a la información proporcionada se clasificó detalladamente la flota vehicular de taxis, según las marcas que lo conforman y se determinó que la marca Chevrolet es la más numerosa con un total de 124 unidades que representan el 48% del total de vehículos, seguido de la marca Kia con un total de 54 unidades que representan

el 21% del total de vehículos, posterior la marca Nissan con 33 unidades que representan un 13% del total de la flota y por último la marca Hyundai con 24 unidades que representan el 9% del total de vehículos, en la **Tabla 2**. Se detallan las marcas y la cantidad de modelos.

Tabla 2. Marcas de vehículos que conforman la flota de taxis

No.	Marca	Cantidad	Porcentaje
1	Chevrolet	124	48,2 %
2	Kia	54	21 %
3	Nissan	33	12,8 %
4	Hyundai	24	9,3 %
5	Renault	18	7 %
6	Toyota	3	1,2 %
7	Great Wall	1	0,4 %

4.1.2. Distribución de modelos

El análisis de la flota vehicular de taxis mostro una composición variada, la marca Chevrolet presenta 6 modelos, destacando los modelos Aveo Family con 59 unidades y Sail con 42 unidades. Kia cuenta con 3 modelos diferentes siendo el modelo Rio el más frecuente con 40 unidades. Hyundai tiene 2 modelos siendo Accent el más representativo con 22 unidades, los modelos con menor representación se encuentran detallados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Modelos que conforman la flota

MARCA	MODELO	CANTIDAD	MARCA	MODELO	CANTIDAD
Chevrolet	Aveo activo	11	Nissan	Almera	2
	Aveo Family	59		Sentra	16
	Aveo Emotion	9		Tiida	9
	Chevitaxi	2		Versa	6
	Sail	42	Hyundai	Accent	22
	Corsa	1		Verna	2
Kia	cerato	1	Renault	Logan	18
	Rio	40	Toyota	Yaris	2
	soluto	13		Corolla	1
			Great Wall	Voleex	1

En la **Figura 8** se observa la tendencia de todos los modelos, se determinó cada uno de los modelos comprendidos dentro de cada marca, siendo los modelos más

frecuentes: Chevrolet Aveo Family con 59 unidades, Chevrolet Sail con 42 unidades, Kia Rio con 40 unidades y Hyundai Accent con 22 unidades.

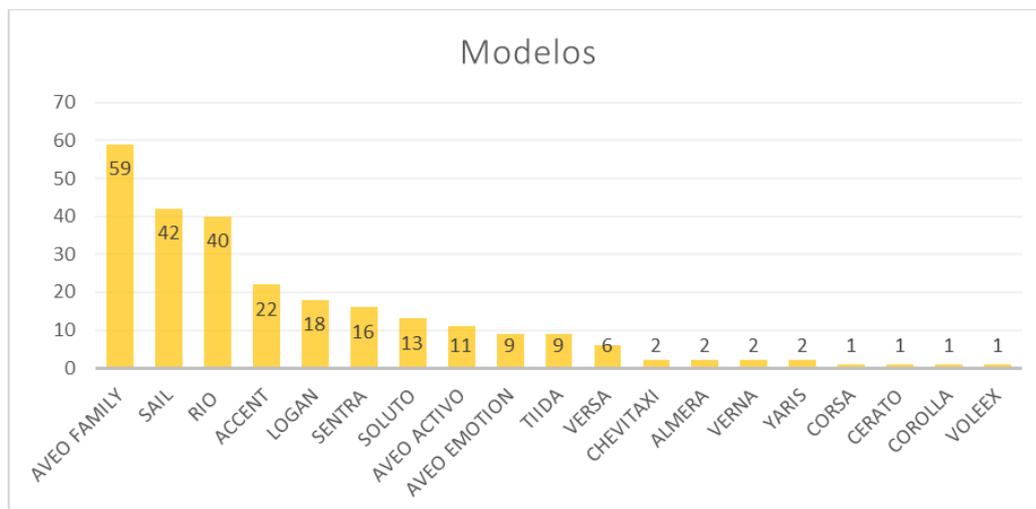


Figura 8. Tendencia de los modelos usados

4.1.3. Determinación de los modelos más representativos

Con base en la información procesada se determinó los más representativos para realizar el estudio y estos son: Chevrolet Aveo Family, Chevrolet Sail, Kia Rio y Hyundai Accent, estos modelos representan el 63% del total de la flota vehicular como se presenta en la **Figura 9**.

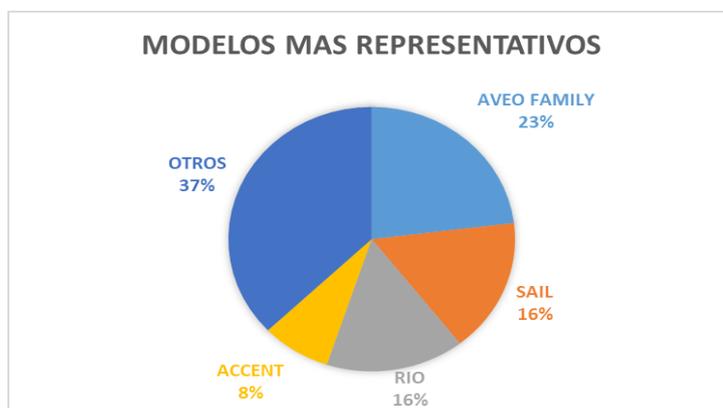


Figura 9. Porcentaje de modelos de análisis

En la **Tabla 4** se presenta los cuatro modelos seleccionados para este estudio, detallando sus características principales, incluyendo la cilindrada del motor y año de modelo comprendido.

Tabla 4. Modelos de análisis

No.	Modelo	Cilindrada (cm3)	Unidades	Año modelo comprendido
1	Aveo Family	1500	59	2011 - 2019
2	Sail	1400	42	2012 - 2021
3	Rio	1400	40	2010 - 2023
4	Accent	1600	22	2010 - 2018

Los modelos de vehículos seleccionados para esta investigación coinciden con los modelos determinados en estudios previos. Isizán [52] identificó a los vehículos Chevrolet Sail, Kia Rio, y Hyundai Accent como los modelos frecuentemente utilizados en la flota de taxis de Ibarra para la caracterización de los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis con el uso de equipos On-Board, esta concordancia valida la selección de modelos considerados para el presente estudio.

Tabla 5. Modelos de estudio por Isizán [52]

Marca	Modelo	Año	Número de vehículos	Numero de registro de la operadora de taxi	Enumeración de taxis evaluados
Chevrolet	Aveo Activo 1.4	2007	1	1	1
	Sail 1.4	2018	1	19	2
Kia	Rio Xcite 1.4	2011	3	(3,5,11)	(3,4,5)
	Rio R 1.4	2015	1	16	6
	Cerato forte 1.6	2014	1	2	7
Hyundai	Accent 1.4	2011	1	12	8

4.2. Cálculo del factor de emisiones de CO₂

Se investigó el procedimiento para el cálculo del FE de CO₂ siguiendo las directrices del IPCC, se elaboró y aplicó una encuesta mediante Google Forms para determinar el rendimiento del consumo de combustible, se calculó el tamaño de la muestra de análisis y finalmente se calculó el FE de CO₂ para cada modelo.

4.2.1. Determinación de la muestra de estudio

El tamaño de la muestra requerido para la investigación se determinó mediante la aplicación de la ecuación (Ec. 5) correspondiente al cálculo para una población finita, en la **Tabla 6** se presenta la cantidad de encuestas que se aplicó según cada modelo de estudio llegando a un total de 144 encuestas.

Tabla 6. Muestra de estudio

Nº	Marca	Modelo	Muestra
1	Chevrolet	Aveo Family	51
2	Chevrolet	Sail	38
3	Kia	Rio	36
4	Hyundai	Accent	19
Total, de encuestas			144

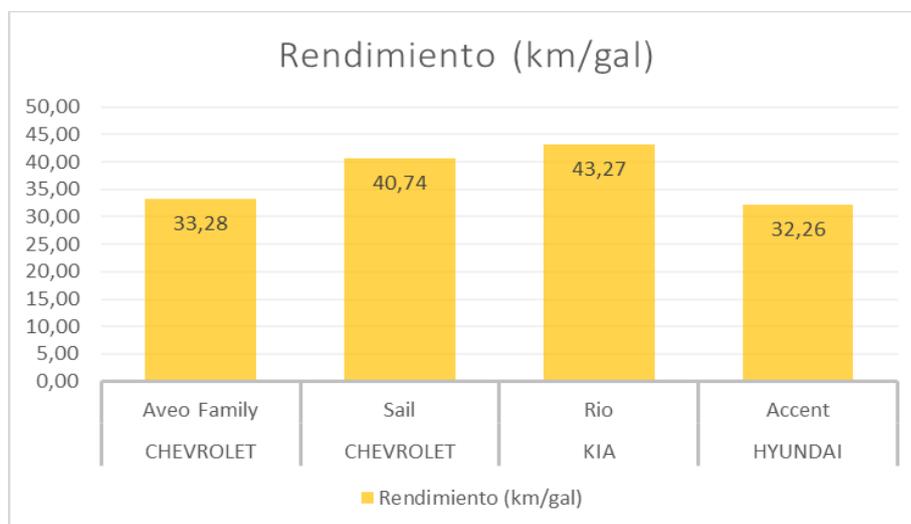
4.2.2. Rendimiento del consumo de combustible.

En función de los datos obtenidos de las encuestas aplicadas, se determinó el consumo promedio de combustible, así como la distancia media recorrida semanalmente, a partir de estos valores se procedió a calcular el rendimiento del consumo de combustible, mediante la división de la cantidad de kilómetros recorridos entre el combustible consumido para cada uno de los modelos de estudio como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Rendimiento del consumo de combustible

Nº	Marca	Modelo	Recorrido semanal (km)	Consumo semanal (gal)	Rendimiento (km/gal)
1	Chevrolet	Aveo Family	1198	36	33,28
2	Chevrolet	Sail	1363	33,46	40,74
3	Kia	Rio	1333	30,81	43,27
4	Hyundai	Accent	1168	36,21	32,36

En base a los resultados presentados en la tabla se puede determinar que existen diferencias en el rendimiento de combustible entre los cuatro modelos, como se presenta en la **Figura 10** el Kia Rio presenta un mayor rendimiento con 43,27 km/gal, por otro lado, el Hyundai Accent muestra un rendimiento considerablemente menor con 32,36 km/gal.

**Figura 10. Rendimiento del consumo de combustible**

Es notable que los vehículos con mayor rendimiento del consumo de combustible son Kia Rio y Chevrolet Sail ya que cuentan con motores de menor cilindrada, mientras que, el Hyundai Accent que cuenta con un motor de mayor cilindraje presenta el rendimiento más bajo.

4.2.3. Cálculo del factor de emisiones de CO₂

Se calculó el FE de CO₂ para cada modelo de estudio siguiendo la metodología establecida por la IPCC mediante la ecuación (Ec. 4), en la cual se toma en cuenta las características químicas del combustible y el rendimiento del combustible de la **Tabla 7** obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Factor de emisiones de CO₂

N°	Marca	Modelo	FE(g/km)
1	Chevrolet	Aveo Family	240,41
2	Chevrolet	Sail	196,39
3	Kia	Rio	184,91
4	Hyundai	Accent	248,02

El análisis realizado muestra que el vehículo de marca Hyundai Accent presenta el mayor factor de emisiones de CO₂ con 248,02 g/km, seguido por el Chevrolet Aveo Family con 240,41 g/km; a diferencia del Kia Rio que presenta un valor más bajo con 184,91 g/km, mientras que el Chevrolet Sail presenta un valor intermedio con 196,39 g/km.

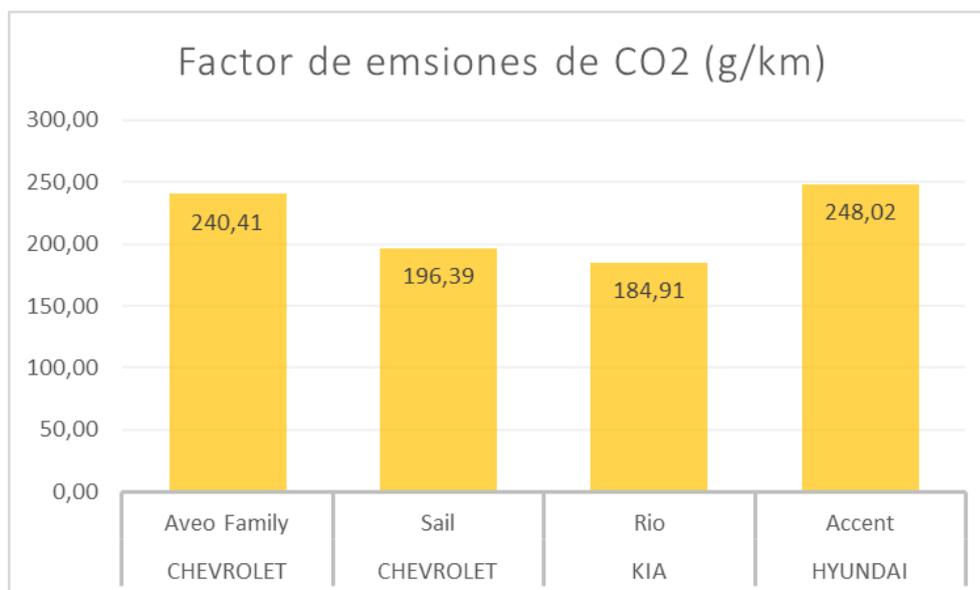


Figura 11. Factor de emisiones de CO₂

En la **Figura 11** se evidencia la variación entre los FE de CO₂ entre modelo depende directamente del rendimiento de combustible y características específicas de

cada modelo, el Hyundai Accent y Chevrolet Aveo Family con mayor cilindrada de motor, presenta valores más elevados en comparación de los modelos Kia Rio y Chevrolet Sail que presentan valores más bajos de FE de CO₂.

4.3. Estimación de la cantidad de emisiones de CO₂

Se solicitó información al centro de RTV de Cayambe y se determinó el recorrido anual promedio de cada modelo, con los datos obtenidos anteriormente se estimó las emisiones de CO₂ utilizando el enfoque Top-Down.

4.3.1. Registro de los VKT promedio del último año

Con la información brindada por el centro de RTV se realizó el registro de la cantidad de kilómetros promedio recorridos en el último año para cada modelo de estudio como se muestra en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Kilometraje anual promedio

No.	Marca	Modelo	Recorrido (km/año)
1	Chevrolet	Aveo Family	58211
2	Chevrolet	Sail	56634
3	Kia	Rio	50353
4	Hyundai	Accent	68754

4.3.2. Cálculo de las emisiones de CO₂ anuales

Para estimar las emisiones de CO₂ generadas por los principales modelos de la flota de taxis, se consideró los kilómetros recorridos, el factor de emisiones y el número de vehículos de cada modelo, empleando la ecuación (Ec. 6). Se determinó que durante el último año se emitieron 2006,28 toneladas de CO₂. En la **Tabla 10** se detalla la cantidad de emisiones correspondientes por cada modelo.

Tabla 10. Emisiones de CO₂ anuales

Nº	Marca	Modelo	Emisiones (T/año)
1	Chevrolet	Aveo Family	825,66
2	Chevrolet	Sail	467,15
3	Kia	Rio	372,43
4	Hyundai	Accent	341,05
Total			2006,28

Los resultados obtenidos revelaron que los modelos de estudio de la flota de taxis generó un total de 2006,28 toneladas de CO₂ durante el periodo de un año, esta cifra representa una contribución significativa a las emisiones de CO₂.

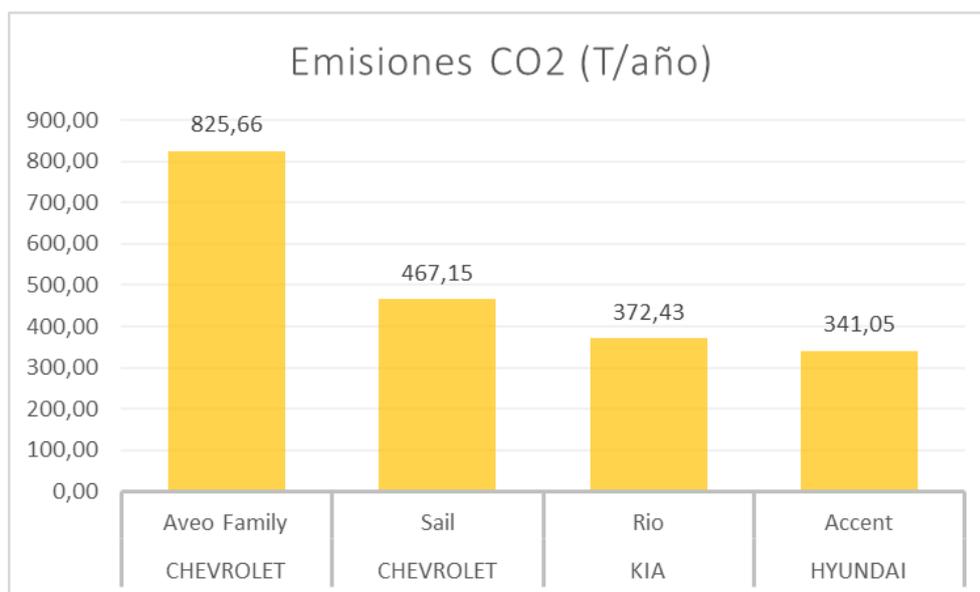


Figura 12. Emisiones de CO₂ totales por modelo

Se determinó las emisiones de CO₂ por grupo de modelo como se observa en la **Figura 12** el grupo Chevrolet Aveo Family genera mayor cantidad de emisiones alcanzando 825,66 toneladas de CO₂ anuales, lo que representa aproximadamente el 41,15% del total. Esto se debe a que este modelo presenta una gran presencia en la flota de taxis, así como también la cilindrada del motor con 1500 cm³ lo que implica un mayor consumo de combustible y un bajo rendimiento, con un factor de emisiones de CO₂ considerable de 240,41 g/km.

En contraste, al grupo del modelo Hyundai Accent a pesar del presentar un FE de CO₂ más alto entre los cuatro modelos de análisis con un valor de 248,02 g/km contribuye con 341,05 toneladas de CO₂ anuales que equivalen al 17% del total, esto se atribuye al número de unidades de este modelo presente en la flota de taxis.

4.4. Análisis el consumo de combustible y los FE de CO₂ para dos diferentes escenarios.

Se estableció dos escenarios uno con el uso de vehículos híbridos y otro con el uso de vehículos de cilindrada menor a 1300 cm³ homologados o comúnmente utilizados para taxis, se planteó cuatro modelos para el análisis se determinó las especificaciones de cada uno de los modelos y se investigó el rendimiento del consumo de combustible para calcular el FE de CO₂ y analizo las emisiones de CO₂.

4.4.1. Determinación de los modelos de vehículos propuestos.

Con base en los resultados obtenidos de la encuesta se determinó que la mayoría de las personas que se aplicó la encuesta presentaron una tendencia por el uso de vehículos

con cilindrada de motor menor a 1300 cm³ en comparación al uso de vehículos híbridos como se muestra en la **Figura 13**.

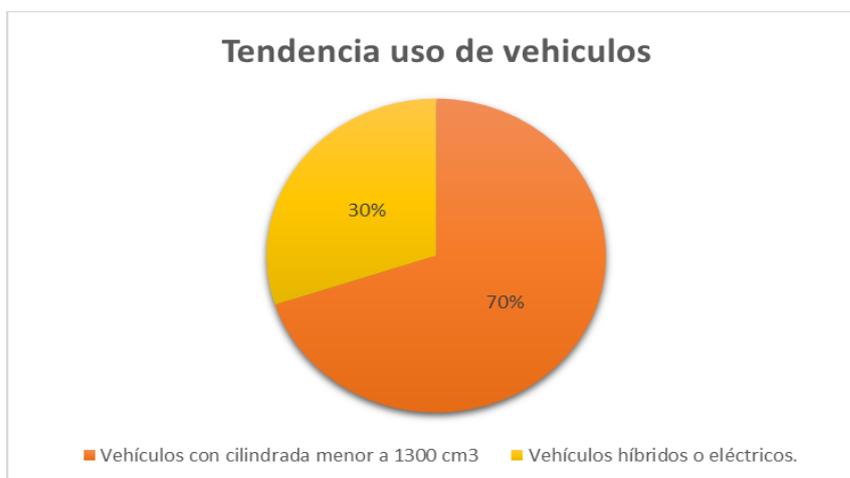


Figura 13. Tendencia de uso de tipo de vehículo

La ANT con el objetivo de reducir costos operativos en el transporte de servicio comercial taxis, aprobó reducir el cilindraje mínimo requerido a 1100 cm³ para motores atmosféricos y 900 cm³ para vehículos turboalimentados. Por lo tanto, se determinó los modelos homologados por la ANT para el uso de taxis con cilindraje menor a 1300 cm³, se destacan los modelos Chevrolet Onix Turbo y el Hyundai Grand i10, se seleccionó estos modelos por su uso común y su accesibilidad. Adicional se investigó modelos de vehículos híbridos que cumplan con características similares para su uso como taxi, la investigación realizada por Salcedo [53] que propone la implementación de taxis híbridos a gasolina y eléctricos en Cuenca, recomienda el Toyota Prius C, adicional se analizó el Toyota Corolla Híbrido que presenta características similares en la **Tabla 11** se presenta los modelos seleccionados para el análisis.

Tabla 11. Modelos de estudio

No.	Marca	Modelo	Escenario	Cilindraje (cm ³)	Cantidad para análisis
1	Chevrolet	Onix turbo	Menor a 1300 cm ³	1000	161
2	Hyundai	Grand I10		1200	161
3	Toyota	Corolla	Híbrido	1800	161
4	Toyota	Prius C		1500	161

Con base en el análisis actual de la flota que abarco un total de 161 vehículos distribuidos entre cuatro diferentes modelos, el presente análisis se contempló cuatro modelos diferentes con igual distribución de unidades por modelo, con la finalidad de mantener condiciones de análisis similares a la actual.

4.4.2. *Determinación del rendimiento del consumo de combustible.*

Se investigó las características principales de cada uno de los modelos seleccionados para el análisis como se presenta en la **Tabla 12**, los modelos con cilindraje menor a 1300 cm³ como el Chevrolet Onix turbo de 1000 cm³ y el Hyundai Grand i10 de 1200 cm³ ofrecen un rendimiento de 65 km/gal y 62 km/gal respectivamente según los datos obtenidos en las fichas técnicas de cada modelo, de igual manera se investigó las fichas técnicas de los vehículos híbridos el Toyota Corolla con cilindraje de 1800 cm³ y un rendimiento de 80 km/gal, el Toyota Prius C con cilindraje de 1500 cm³ alcanzan un rendimiento de 105 km/gal.

Tabla 12. Rendimiento del consumo de combustible.

No.	Marca	Modelo	Escenario	Rendimiento (km/gal)
1	Chevrolet	Onix turbo	Menor a 1300 cm ³	65
2	Hyundai	Grand I10		62
3	Toyota	Corolla	Hibrido	80
4	Toyota	Prius C		105

El análisis comparativo entre la flota actual y los dos escenarios propuestos, muestran que la flota actual compuesta por modelos convencionales (Kia Rio y Hyundai Accent) presentó un rendimiento de consumo de combustible bajo con valores entre 32,26 y 43,27 km/gal. Para el escenario con modelos que tiene cilindraje menor a 1300 cm³ muestran un rendimiento intermedio de 62 y 65 km/gal con una mejora aproximada del 50% con respecto a la flota actual. Mientras que en el escenario para los modelos de vehículos híbridos alcanzan el mayor rendimiento entre 80 y 105 km/gal a pesar de tener un cilindraje superior a 1500 cm³ duplicando una mejor en comparación a la flota actual, en la **Figura 14** se evidencio un contraste significativo entre el análisis actual y los dos escenarios propuestos.

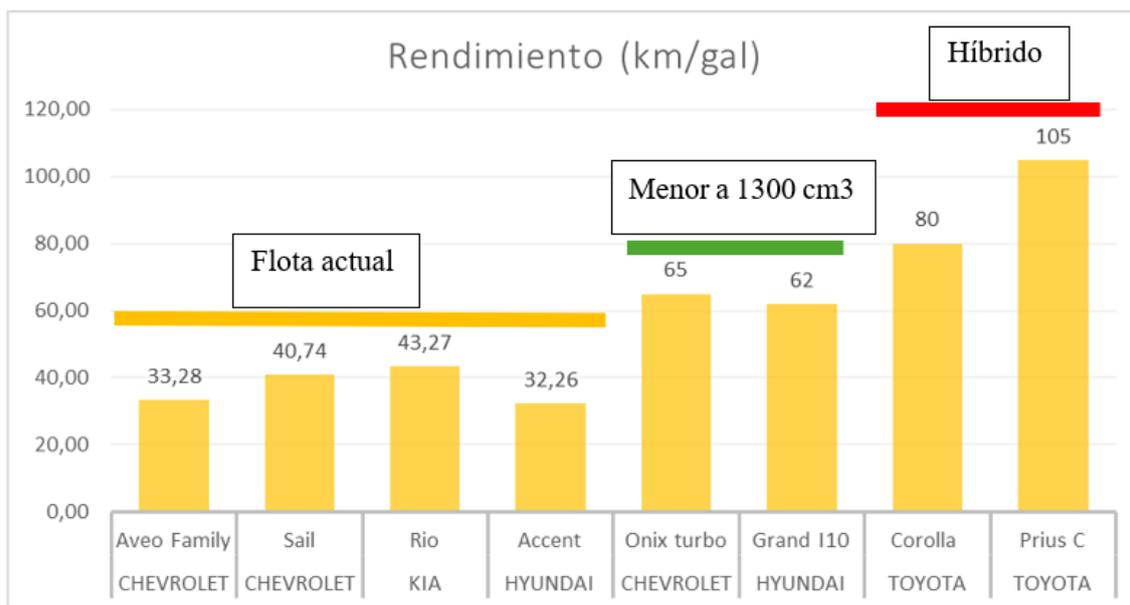


Figura 14. Rendimiento del consumo de combustible.

4.4.3. Cálculo del factor de emisiones de CO₂

Con base en los datos obtenidos sobre el rendimiento del consumo de combustible de la **Tabla 13** se calculó el FE de CO₂ tanto para los modelos con cilindraje menor a 1300 cm³ y los modelos híbridos, siguiendo la metodología del IPCC al igual que en el punto 4.2.3.

Tabla 13. Factor de emisiones de CO₂

No.	Marca	Modelo	Escenario	FE CO ₂ (g/km)
1	Chevrolet	Onix turbo	Menor a 1300 cm ³	123,08
2	Hyundai	Grand I10		129,03
3	Toyota	Corolla	Híbrido	100,00
4	Toyota	Prius C		76,19

Los resultados muestran una diferencia significativa en los FE de CO₂ entre los modelos analizados, el Hyundai Grand i10 presenta el valor más alto con 129,03 g/km a diferencia del Toyota Prius C que presenta el valor más bajo con 76,19 g/km, estableciendo una diferencia aproximadamente del 41%.

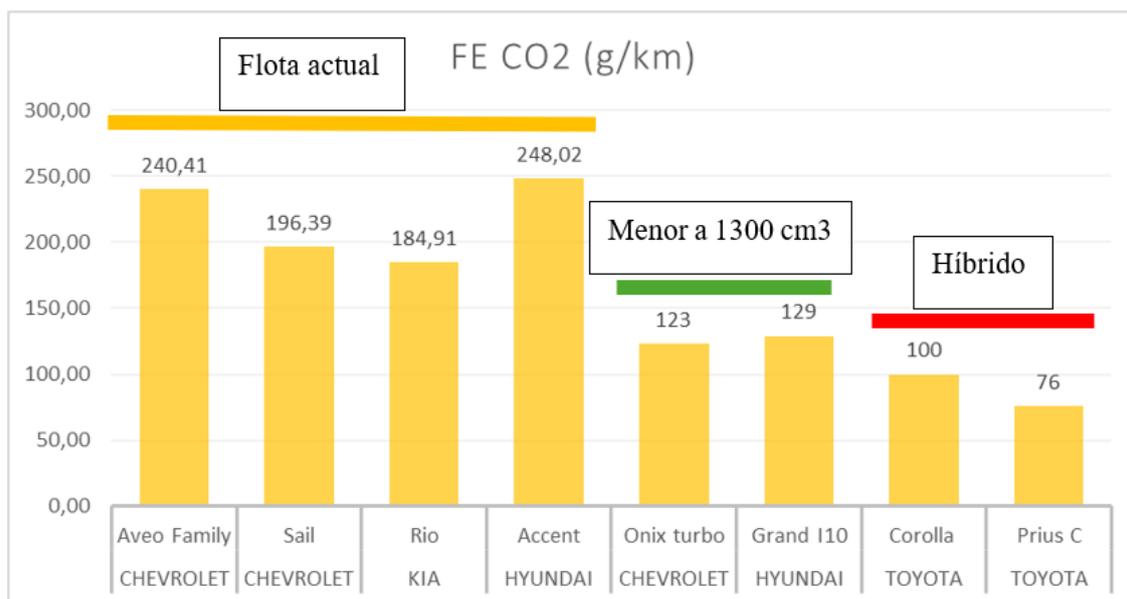


Figura 15. Factor de emisiones de CO₂

La **Figura 15** muestra la diferencia entre la flota actual y los dos escenarios propuestos respecto a los factores de emisiones de CO₂. Los vehículos híbridos presentan valores entre 76,19 y 100 g/km, demostrando que a pesar de su mayor cilindraje generan bajas emisiones de CO₂; los modelos con cilindraje inferior a 1300 cm³ registran valores entre 123,07 y 129,03 g/km. Mientras que los modelos de la flota actual alcanzan valores entre 184,91 y 248,02 g/km (ver figura 15). Esta variación en los factores de emisiones de CO₂ está directamente relacionada al rendimiento del consumo de combustible de cada modelo, los resultados evidencian que la implementación de cualquiera de los dos escenarios propuestos reduciría significativamente las emisiones de CO₂, los vehículos híbridos ofrecen una reducción de hasta un 70% menos emisiones, seguido por los vehículos de baja cilindrada con un 45% menos emisiones.

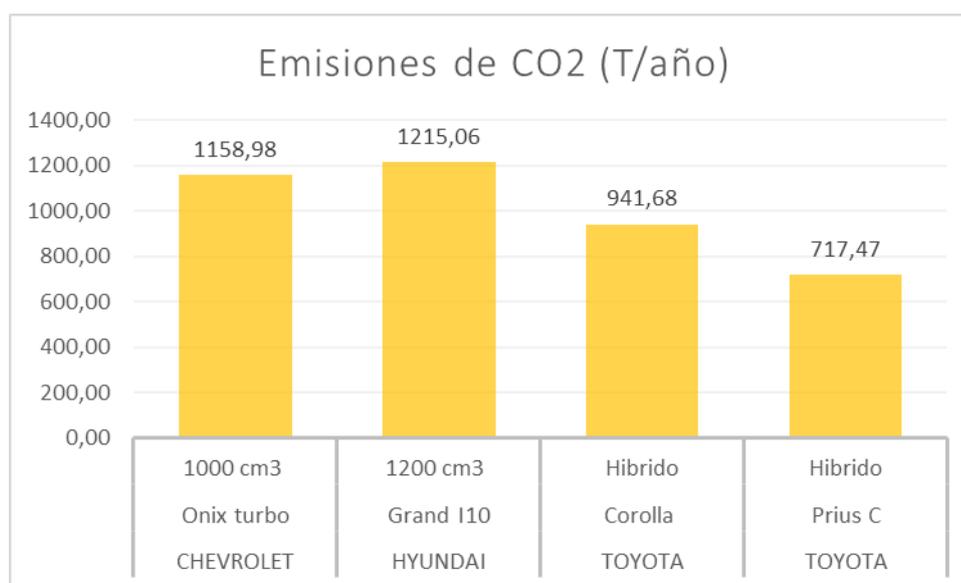
4.4.4. Cálculo de las emisiones de CO₂ anuales.

Para el cálculo de la cantidad de emisiones de CO₂ anuales producidas por los dos escenarios propuestos se consideró la cantidad de 161 vehículos por modelo, un recorrido promedio de 58488 km/año para cada uno de los modelos y los factores de emisiones específicos de cada modelo.

Tabla 14. Emisiones de CO₂ anuales

No.	Modelo	Escenario	Cantidad	Recorrido promedio anual (km)	FE CO ₂ (g/km)	Emisiones (T/año)
1	Onix turbo	Menor a 1300 cm ³	161	58488	123,08	1158,98
2	Grand I10		161	58488	129,03	1215,06
3	Corolla	Hibrido	161	58488	100	941,68
4	Prius C		161	58488	76,19	717,47

En la **Tabla 14** se observa que, bajo condiciones similares de análisis y variando solo el factor de emisiones de CO₂, existe una diferencia notable. Los vehículos de cilindrada menor a 1300 mc³ generan mayores emisiones anuales de CO₂, destacando el Hyundai Grand i10 con 1215,06 toneladas. En comparación con los vehículos híbridos estos producen menores cantidades de emisiones de CO₂, siendo el Toyota Prius C el más eficiente con 717,47 toneladas anuales.

Figura 16. Emisiones de CO₂ anuales

El análisis comparativo indicó que existe una relación directa entre el rendimiento de combustible y los factores de emisiones de CO₂ de cada modelo. Se observó que los vehículos híbridos mostraron mayor eficiencia, logrando reducir significativamente las emisiones de CO₂. En contraste, los modelos de baja cilindrada como el Hyundai Grand i10, generaron mayores cantidades de emisiones de CO₂, lo cual se evidencia en la **Figura 16**.

4.4.5. Análisis de las emisiones de CO₂

La investigación analizó la flota actual compuesta por 161 vehículos distribuidos en cuatro modelos diferentes en la cual se consideró tres variables principales: el número de vehículos, los factores de emisiones de CO₂ de cada uno de los modelos y los kilómetros promedio recorridos anualmente, obteniendo así 2006 toneladas de CO₂ anuales. Para los escenarios propuestos se analizó el uso de vehículos con cilindrada menor a 1300 cm³ y vehículos híbridos, se mantuvo el mismo número de unidades y el promedio de kilómetros recorridos, pero con diferentes modelos de análisis que presentan rendimientos y factores de emisiones de CO₂ diferentes, se determinó que se generan entre 717,47 y 1215,06 toneladas de CO₂ anuales como se muestra en la **Figura 17**.

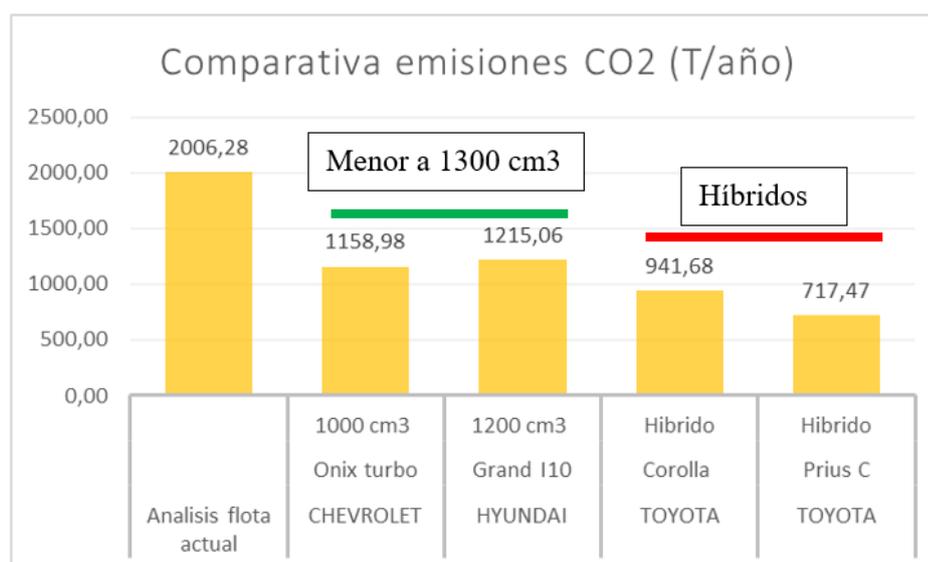


Figura 17. Comparativa de las emisiones de CO₂

El análisis comparativo mostró que, en los escenarios propuestos, se logró una reducción significativa de las emisiones de CO₂, resaltando la relevancia del rendimiento de combustible y los factores de emisión. Se determinó que los vehículos híbridos y aquellos de menor cilindrada generan menos emisiones de CO₂ en comparación con la flota actual. El cambio en cuanto a la composición de la flota permitió una reducción significativa en las emisiones de CO₂.

4.4.6. Análisis económico del consumo de combustible

Con base en los resultados obtenidos del rendimiento del consumo de combustible por cada uno de los modelos analizados en la flota actual, se calculó el costo del consumo de combustible anual, considerando el costo por galón actual de \$2,49 alcanzando \$624.443,86 dólares de costo anual, en la **Tabla 15** se detalla los costos por modelo.

Tabla 15. Costo de la flota actual

Modelo	Rendimiento (km/gal)	Recorrido anual (km)	Consumo anual (gal)	Unidades	Costo por unidad (\$)	Costo total (\$)
Aveo Family	33,28	58211	1749,25	59	\$ 4.355,62	\$ 256.981,64
Sail	40,74	56634	1390,30	42	\$ 3.461,84	\$ 145.397,17
Rio	43,27	50353	1163,82	40	\$ 2.897,92	\$ 115.916,76
Accent	32,26	68754	2131,49	20	\$ 5.307,41	\$ 106.148,29
total						\$ 624.443,86

Por otro lado, de igual manera se determinó el costo que presentaría los modelos en los escenarios propuestos como se detalla en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Costo en los escenarios propuestos

Modelo	Rendimiento (km/gal)	Recorrido Anual (km)	Consumo anual (gal)	Unidades	Costo por unidad (\$)	Costo total (\$)
Onix turbo	65	58488	900	161	\$ 2.240,54	\$ 360.726,99
Grand I10	62	58488	943	161	\$ 2.348,95	\$ 378.181,52
Corolla	80	58488	731	161	\$ 1.820,44	\$ 293.090,68
Prius C	105	58488	557	161	\$ 1.387,00	\$ 223.307,18

Los resultados obtenidos muestran una gran diferencia en los costos operativos relacionados al consumo de combustible entre la flota actual y los escenarios propuestos como se presenta en la **Figura 18**. El costo actual de la flota asciende a \$ 624.443,86, mientras que los escenarios propuestos presentarían un costo menor entre \$ 223.307,18 y \$ 378.181,52 lo que supone un ahorro anual equivale a la mita del costo actual.

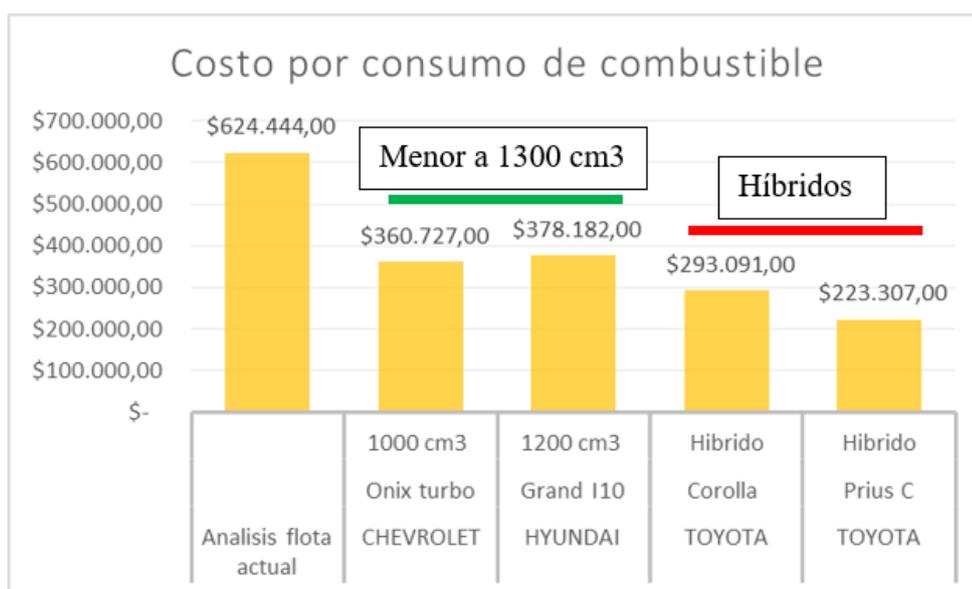


Figura 18. Comparativa de costos

CONCLUSIONES

La composición de la flota de taxis en la ciudad de Cayambe revela información valiosa, se identifican varias operadoras evidenciando una flota considerable de taxis en la ciudad, un análisis detallado muestra que la marca Chevrolet tiene una presencia significativa en la flota. Además, se determina que los modelos con mayor frecuencia de usos son: Chevrolet Aveo Family, Chevrolet Sail, Kia Rio y Hyundai Accent, esta información proporciona una visión clara de las marcas y modelos más comunes en la ciudad, lo cual es crucial para comprender el impacto de la flota en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

La aplicación de la metodología de la IPCC 2006, permite determinar el rendimiento del consumo de combustible para cada modelo, el Hyundai Accent con un motor del 1600 cm³, presenta el menor rendimiento con 32,36 km/gal y un mayor factor de emisiones de CO₂ con 248,02 g/km. Por el contrario, el Kia Rio presenta un rendimiento superior con 43,27 km/gal y un factor de emisiones significativamente bajo con 184,91 g/km.

El desarrollo del enfoque Top-Down determina que los modelos de estudio de la flota de taxis de Cayambe generan 2006,28 toneladas de CO₂ anuales, el Chevrolet Aveo Family es el principal emisor con 825,66 t/año de CO₂ que representa el 41,15% del total de los modelos analizados, debido a su predominancia en la flota y a su factor de emisiones. Aunque el Hyundai Accent presenta un factor de emisiones de CO₂ más elevado este modelo tiene una limitada presencia en la flota y su impacto total es del 17% de las emisiones.

Los escenarios propuestos presentan reducciones significativas, los modelos con cilindrada menor a 1300 cm³ muestran un rendimiento del consumo de combustible entre 62 y 65 km/gal, generando un factor de emisiones de CO₂ relativamente bajo con valores entre 123 y 129 g/km. Los modelos híbridos alcanzan un rendimiento superior de hasta 105 km/gal con factores de emisiones considerablemente bajos entre 76 y 100 g/km. Esta variación se traduce a que los escenarios propuestos generan aproximadamente entre 717,47 y 1215,06 toneladas de CO₂ anuales, lo cual representa una reducción significativa respecto a la flota actual la cual genera 2006 toneladas de CO₂, esto demuestra que la renovación de la flota constituye una estrategia efectiva para la reducción de emisiones de CO₂.

Los costos de consumo de combustible muestran una diferencia significativa entre la flota actual y los escenarios propuestos. La flota existente genera un costo anual de \$624.443,86, mientras que los modelos propuestos reducirían este costo entre \$223.307,18 y \$378.181,52. La renovación hacia vehículos más eficientes presenta una disminución en las emisiones de CO₂ y un ahorro de combustible. El Toyota Prius C destaca como el modelo con menor costo de consumo de combustible y menores emisiones de CO₂. Cabe recalcar que este análisis se limita específicamente al consumo de combustible, sin considerar otros costos operativos que podrían variar los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el análisis incluyendo otras flotas vehiculares de Cayambe, si bien el objetivo planteado se enfoca en determinar la composición de la flota de taxis, es crucial considerar el impacto de otras flotas vehiculares de servicio público y comercial, ya que es un factor constante que influye significativamente en la contribución a las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible. Además, al considerar todas las flotas vehiculares relevantes, se podrán abordar de manera más efectiva los desafíos relacionados con el transporte y el medio ambiente en la ciudad.

La metodología de la IPCC 2006 aplicada a este trabajo es una metodología estandarizada para calcular el factor de emisiones de CO₂, es importante complementarla con otras metodologías más técnicas que permitan obtener datos más precisos y representativos. Una de estas metodologías podría ser el uso de dispositivos On-Board en los vehículos [52], los cuales pueden recopilar información detallada sobre el consumo de combustible en tiempo real, considerando variables como las condiciones de conducción y otros factores que influyen en el consumo. Además, se recomienda realizar un análisis del tráfico vehicular, que permitan identificar los patrones de conducción, las velocidades promedio, los tiempos de detención y las rutas más concurridas. Esta información, puede ayudar a estimar de manera más precisa el consumo de combustible y, por lo tanto, el factor de emisiones de CO₂.

Se podría complementar la metodología Top-Down con un enfoque Bottom-Up que permita incluir variables adicionales que podrían influir en las emisiones de CO₂, esta integración metodológica proporcionaría una caracterización más precisa de las emisiones y permitirá validar los factores teóricos utilizados. Adicional se sugiere desarrollar un análisis que evalúe el impacto de renovación de la flota y extender la investigación para incluir otros contaminantes ofreciendo una visión integral del impacto ambiental de la flota de taxis en Cayambe.

Para fundamentar la propuesta de los escenarios analizados se sugiere ampliar la investigación mediante la recopilación de datos en operaciones reales, para validar su desempeño en las condiciones específicas de Cayambe; resultaría beneficioso variar la composición numérica de la flota en los escenarios propuestos para determinar la proporción óptima entre vehículos convencionales, híbridos y de cilindrada menor a 1300 cm³.

Para determinar si la renovación de la flota de taxis es factible, se recomienda considerar costos operativos adicionales como: mantenimientos preventivos y correctivos, depreciación y establecer una evaluación temporal de 5 a 7 años para determinar el costo total.

REFERENCIAS

- [1] ONU, “La concentración de gases de efecto invernadero alcanza otro récord”, Organización de las Naciones Unidas. Consultado: el 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2023/11/1525662>
- [2] IEA, “CO2 Emissions in 2022 – Analysis - IEA”, Agencia Internacional de Energía. Consultado: el 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- [3] CMNUCC, “El Acuerdo de París | Naciones Unidas”, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consultado: el 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- [4] ODS, “La Agenda para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible”, Agenda del Desarrollo Sostenible. Consultado: el 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- [5] PNUD, “Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Diciembre 2022 | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo”, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Consultado: el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/ecuador/publicaciones/cuarta-comunicacion-nacional-y-segundo-informe-bienal-de-actualizacion-del-ecuador-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas>
- [6] MAATE, “Ecuador suscribe Acuerdo de París sobre cambio climático – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica”, Ministerio del Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica . Consultado: el 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/>
- [7] IPCC, “Publications - IPCC-TFI”. Consultado: el 9 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [8] OMM, “La Organización Meteorológica Mundial confirma que en 2023 la temperatura mundial batió todos los récords | Organización Meteorológica Mundial”, Organización Mundial Meteorológica. Consultado: el 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://wmo.int/es/media/news/la-organizacion->

- meteorologica-mundial-confirma-que-en-2023-la-temperatura-mundial-batio-todos-los
- [9] IPCC, “Publications - IPCC-TFI”, Intergovernmental Panel on Climate Change. Consultado: el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol1.html>
- [10] A. E. Ordóñez Segarra *et al.*, “La Ingeniería Automotriz clave para el desarrollo sostenible de Ecuador”, nov. 2018, Consultado: el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17060>
- [11] M. E. Parra Cabrera, “Estimación de emisiones contaminantes de CO₂, en taxis con cilindrada menor a 1500 cc, mediante Modelo IVE a través de conducción eco eficiente en la ciudad de Cuenca”, 2020, Consultado: el 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9736>
- [12] C. V. Escobar Torres y J. B. Gordillo Ochoa, “Caracterización del parque automotor perteneciente a la categoría M1 del cantón Cuenca en función a sus propiedades constructivas y niveles de emisión”, 2018, Consultado: el 12 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16779>
- [13] Y. Li, J. Zheng, Z. Li, L. Yuan, Y. Yang, y F. Li, “Re-estimating CO₂ emission factors for gasoline passenger cars adding driving behaviour characteristics——A case study of Beijing”, *Energy Policy*, vol. 102, pp. 353–361, mar. 2017, doi: 10.1016/J.ENPOL.2016.12.051.
- [14] G. Wang, S. Cheng, J. Lang, S. Li, y L. Tian, “On-board measurements of gaseous pollutant emission characteristics under real driving conditions from light-duty diesel vehicles in Chinese cities”, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 46, pp. 28–37, ago. 2016, doi: 10.1016/J.JES.2015.09.021.
- [15] P. L. Fung, O. Al-Jaghbeer, L. Pirjola, H. Aaltonen, y L. Järvi, “Exploring the discrepancy between top-down and bottom-up approaches of fine spatio-temporal vehicular CO₂ emission in an urban road network”, *Science of The Total Environment*, vol. 901, p. 165827, nov. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.165827.
- [16] M. Patiño-Aroca, A. Parra, y R. Borge, “On-road vehicle emission inventory and its spatial and temporal distribution in the city of Guayaquil, Ecuador”, *Science of The Total Environment*, vol. 848, p. 157664, nov. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.157664.

- [17] R. Viteri, R. Borge, M. Paredes, y M. A. Pérez, “A high resolution vehicular emissions inventory for Ecuador using the IVE modelling system”, *Chemosphere*, vol. 315, p. 137634, feb. 2023, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.137634.
- [18] F. Rosero Obando, X. Rosero, y Z. Mera, “Developing Fuel Efficiency and CO2 Emission Maps of a Vehicle Engine Based on the On-Board Diagnostic (OBD) Approach”, *Enfoque UTE*, vol. 15, núm. 1, pp. 7–15, ene. 2024, doi: 10.29019/ENFOQUEUTE.1002.
- [19] G. L. Meneses Rosas y B. C. Revelo Obando, “Medición de emisiones de CO2 en condiciones reales con el uso Sems (Smart Emission Measurement System)”, mar. 2023, Consultado: el 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13815>
- [20] D. D. Robles Benavides, “Estimación del efecto del uso del sistema Start-Stop en el consumo de combustible y emisiones de CO2 de los taxis”, mar. 2024, Consultado: el 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15795>
- [21] M. B. Fernández De Córdoba, “Ground public transport and accessibility, instruments for the functional analysis of the settlements system: the case of Ecuador”, *Estoa. Journal of the Faculty of Architecture and Urbanism*, vol. 6, núm. 11, pp. 83–97, nov. 2017, doi: 10.18537/EST.V006.N011.A06.
- [22] Ministerio de Turismo, “Transportes en Ecuador”. Consultado: el 21 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://vivecuador.com/html2/esp/transporte.htm>
- [23] M. Ashqui, “Incidencia del covid-19 en la economía del transporte terrestre comercial de taxis del cantón Riobamba provincia de Chimborazo”, jul. 2022, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18656>
- [24] D. C. V. C. M. B. A. Arias, “Transporte terrestre | PPT”. Consultado: el 21 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/transporte-terrestre-35369343/35369343>
- [25] Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, “Nueva Ley de Tránsito – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/ley-de-transito/>
- [26] A. I. Dávila Guerrero, “Estudio del comportamiento de motores M.E.P. en los taxis de la ciudad de Ibarra”, 2019, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9244>

- [27] F. R. Allauca Pancho, “Estudio de la tarifa en el transporte terrestre comercial de taxi convencional, conforme a la metodología aprobada por la Agencia Nacional de Tránsito. Caso: Cantón Guano – Provincia Chimborazo”, 2017, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/26285>
- [28] A. M. M. Rovira, “MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”. Consultado: el 21 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=-EfLCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [29] Y. M. Semblantes Claudio, “Estudio de emisiones de gases en vehículos de combustión interna a diferentes condiciones de trabajo para revisión técnica vehicular”, feb. 2023, Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13591>
- [30] L. D. Cuzco Cacuango y A. B. Espinosa Cárdenas, “Creación de mapas de emisiones de un motor gasolina de inyección”, abr. 2023, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13907>
- [31] L. F. Yanqui Miranda, “Análisis del impacto del tráfico vehicular sobre las emisiones contaminantes”, jul. 2021, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16039>
- [32] C. Lara *et al.*, “Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana”, 2009.
- [33] O. F. M. B. C. V. D. H. R. Flores, “Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte”. Consultado: el 21 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149>
- [34] EEA, “Explaining road transport emissions. EEA Report”, *European Environment Agency*, pp. 1–31, 2016, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>
- [35] Organización Mundial de la Salud, “Contaminación atmosférica”. Consultado: el 21 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- [36] S. L. Salazar Mora, “Estudio de percepción de la situación actual frente al cambio climático en el sector turístico del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.”,

- may 2023, Consultado: el 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19533>
- [37] E. Gutiérrez, “Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Sector transporte de la Provincia de Chimborazo Año base 2018”, nov. 2021, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15311>
- [38] D. P. V. Chimbo, “Propuesta de reducción de gases contaminantes atmosféricos mediante la optimización de la red de transporte público de autobuses en la ciudad de Riobamba”, mar. 2021, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15119>
- [39] J. A. Barbero y T. Rodrigo Rodríguez, “Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono”, *Revista Transporte y Territorio*, núm. 6, pp. 8–26, 2012, doi: 10.34096/RTT.I6.273.
- [40] K. E. Arias Gualpa, “Determinación de Protocolos de Medición de Contaminantes producto de la Combustión en vehículos a gasolina en la Ciudad de Salcedo, periodo 2019 – 2020.”, 2020, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://localhost/handle/27000/7078>
- [41] M. Paguay, “Análisis de concentración de emisiones gaseosas vehiculares mediante el modelo IVE en el cantón Penipe.”, dic. 2024, Consultado: el 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14411>
- [42] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS”. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guia-para-elaboracion-de-inventarios/>
- [43] A. Vargas, “Combinación de enfoques Top-down y Bottom-up para la estimación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en el valle geográfico del Río Cauca”. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85459>
- [44] L. Felipe y S. Guevara, “Análisis de vibraciones mecánicas en vehículos híbridos”, sep. 2023, Consultado: el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14862>

- [45] M. Z. Bernal Verdugo, “Dimensionamiento de una Micro-red tipo estación de recarga para vehículos eléctricos conectados al sistema eléctrico.”, 2020, Consultado: el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18953>
- [46] K. F. Amaguaña, K. A. F. Amaguaña, L. C. Quishpe, y F. R. F. Benítez, “Implementación del Downsizing en motores de gasolina. ¿Menos consumo igual potencia?”, *Polo del Conocimiento*, vol. 7, núm. 11, pp. 830–843, nov. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i11.4891.
- [47] Constitución de la República del Ecuador, “CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE LE CUADOR”, *Registro Oficial*, vol. 449, núm. 20, pp. 25–2021, 2008, Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [48] INEN, “Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017 2008 – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT”. Consultado: el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ant.gob.ec/wpfd_file/reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-017-2008/
- [49] J. E. Contreras Espinosa, “Estudio del análisis de la aplicación de procesos por parte de la corporación municipal del mejoramiento de la calidad del aire de Quito (CORPAIRE), en las normativas INEN 2349 y 2203”, 2020, Consultado: el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4210>
- [50] Ministerio del Ambiente, “Ecuador suscribe Acuerdo de París sobre cambio climático – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica”. Consultado: el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/>
- [51] L. F. Mucha-Hospinal, R. Chamorro-Mejía, M. E. Oseda-Lazo, y R. D. Alania-Contreras, “Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado”, *Desafíos*, vol. 12, núm. 1, pp. 50–57, ene. 2021, doi: 10.37711/DESAFIOS.2021.12.1.253.
- [52] K. Isizan y D. Vallejo, “Caracterización de los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis con el uso de equipos ON-BOARD”, 2023. Consultado: el 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14708>

- [53] M. Salcedo, “Propuesta de implementación de taxis híbridos a gasolina y eléctricos en Cuenca”, 2012. Consultado: el 4 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2625>

ANEXOS

Anexo1. Carta de solicitud obtención de información

REPÚBLICA DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE POSGRADO



Oficio nro. UTN-FP-D-2024-001-O

Ibarra, 18 de enero de 2024

PARA: Téc. Iván Albuja
GERENTE GENERAL DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE MOVILIDAD CAYAMBE

ASUNTO: Solicitud para práctica profesional

De mi consideración:

Solicito de manera comedida se brinde las facilidades y acceso a información requerida de la institución que acertadamente usted dirige, al maestrante David Andrés Morocho Arroyo, estudiante de la maestría en Ingeniería Automotriz mención Negocios Automotrices, que se encuentran desarrollando su proyecto de trabajo de grado orientado a: "**ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE CO2 PARA LA FLOTA DE TAXIS DE LA CIUDAD CAYAMBE BASADOS EN EL ENFOQUE TOP-DOWN**", en la cual se necesitará los siguientes datos:

- Cantidad de cooperativas que operan en la Ciudad de Cayambe
- Cantidad de vehículos que conforman cada cooperativa
- Características de cada uno de los vehículos (marca, modelo, año y cilindrada)
- Reporte de RTV de cada uno de los vehículos del año 2022 y 2023 (para registrar el kilometraje de cada vehículo)

La información que se solicita será eminentemente con fines académicos y de investigación.

Por la atención, le agradezco.

Atentamente,
CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO



Firmado electrónicamente por:
 LUCÍA COMANDA YEPEZ
 VÁSQUEZ

MSc. Lucía Yépez Vásquez.
DECANA FACULTAD POSGRADO

AB

Anexo2. Encuesta del rendimiento del consumo de combustible

ENCUESTA DEL RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE

Estimado, la siguiente encuesta es para un estudio académico sobre el rendimiento del combustible en vehículos de servicio público. Sus respuestas ayudarán a comprender mejor los patrones de consumo de combustible y el kilometraje recorrido. Todas las respuestas serán tratadas de manera confidencial y se utilizarán únicamente con fines académicos.

1. ¿Cuál es la marca de su vehículo?

- a. Chevrolet
- b. Kia
- c. Nissan
- d. Hyundai
- e. Renault
- f. Toyota
- g. Great Wall

2. ¿Cuál es el modelo de su vehículo?

- a. Aveo Activo
- b. Aveo Family
- c. Aveo Emotion
- d. Sail
- e. Corsa
- f. Chevita
- g. COLOCAR TODOS LOS MODELOS SEGÚN MARCA...

3. ¿De qué año es su vehículo?

.....

4. ¿Qué tipo de gasolina utiliza su vehículo?

- a. Extra
- b. Super

5. ¿Cuántos kilómetros recorre aproximadamente su taxi en una semana típica?

.....

6. ¿Cuál es el consumo promedio de combustible de su taxi por semana en galones?

.....

7. ¿Cuánto dinero gasta en combustible a la semana?

.....

8. ¿Qué tipo de vehículo utilizaría para reducir el consumo de combustible?

- a. Vehículos con cilindrada menor a 1.3 cc.
- b. Vehículos híbridos o eléctricos.