

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Gestión

Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental

Emisión de gases de efecto invernadero en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito

Alex Patricio Posso Espinosa

Tutor: Augusto David Sánchez Uvidia

Quito, 2020

Trabajo almacenado en el Repositorio Institucional UASB-DIGITAL con licencia Creative Commons 4.0 Internacional

	Reconocimiento de créditos de la obra No comercial Sin obras derivadas	
---	---	---

Para usar esta obra, deben respetarse los términos de esta licencia

Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Alex Patricio Posso Espinosa, autor de la tesis intitulada “Emisión de gases de efecto invernadero en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático y Negociación Ambiental, en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo, por lo tanto, la Universidad utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en formato virtual, electrónico, digital u óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

20 de agosto de 2020

Firma: _____

Resumen

La energía, desde su concepción, ha tenido un sin número de aplicaciones que ha permitido que la sociedad sea la que conocemos; sin embargo, este desarrollo viene de la mano con la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) cuando el energético utilizado proviene de origen fósil, lo cual es la principal causa del cambio climático.

En lo que corresponde al sector transporte, los combustibles fósiles han sido la fuente vital de energía; motivo por el cual, internacionalmente se han emitido directrices de planificación sustentable, orientadas a reducir la afectación ambiental a través de evitar o disminuir dicho consumo energético. Es por esto que, el presente estudio tiene como fin cuantificar las emisiones de GEI en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

De manera introductoria y en el capítulo primero, se da a conocer la importancia de la energía en la movilidad, particularmente para la ciudad de Quito; así como, su situación actual y los lineamientos de planificación asociados a los compromisos establecidos en el marco de la lucha contra el cambio climático.

En el segundo capítulo se presenta a los motores de combustión interna de ciclo Otto y Diésel, a través de la identificación de las características energéticas y de contaminantes ambientales en los combustibles. Referencialmente, se muestran alternativas tecnológicas de movilidad de bajo impacto ambiental.

Con el manejo de bases de datos, en el capítulo tercero son determinados con año base 2018: (i) las opciones dominantes de movilidad; (ii) el vehículo “tipo”; (iii) el recorrido promedio anual; (iv) el consumo promedio de combustible anual. Esta información es utilizada para cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricos, a través de la aplicación de las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Finalmente, en el capítulo cuarto se analizan los resultados obtenidos, su aplicabilidad en estudios o publicaciones de impacto ambiental; esto seguido por las correspondientes conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: gases de efecto invernadero, desarrollo sustentable/sostenible, vehículo “tipo”, ciclo Otto, ciclo diésel, rendimiento

Dedico este trabajo a mis amados padres, María Esther Espinosa y Víctor Julio Posso, quienes, con su sacrificio y apoyo incondicional, me impulsaron a cursar un programa de maestría, han sido mi guía en la vida y me han enseñado que las metas y objetivos se alcanzan con constancia, perseverancia, dedicación y esfuerzo.

Agradecimientos

A Dios por bendecirme, dar la fuerza e inspiración para continuar día tras día y con él a mi amada esposa Katty Castro, por su cariño, paciencia y apoyo fundamental en estos años de estudio de maestría y para alcanzar cada objetivo que me propongo.

A mi tutor de tesis, Augusto Sánchez, por su amistad y orientación invaluable para desarrollar y culminar exitosamente la presente investigación.

A Ramiro Díaz y Sebastián Espinoza del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables y del Instituto de Investigación Geológico y Energético, respectivamente, por su interés en impulsar estudios energéticos y ambientales.

A mi hermano Edison Posso, por su soporte absoluto para poder culminar mis estudios y con quien comparto la visión de aunar esfuerzos para sacar el país adelante y propender un desarrollo social equitativo. Siempre habrá más de nosotros por dar.

A mi hermano Santiago Posso, quien siempre se encuentra pendiente de mi vida, motivándome a seguir adelante y a no desesperar ante la adversidad.

A mis familiares, familiares de mi esposa, padrinos, compadres, sobrinos, ahijados, amigos y colegas, que comparten constantemente su cariño con mi hogar.

Tabla de contenidos

Gráficos, tablas y recuadros	13
Introducción	15
Capítulo primero: Movilidad en el DMQ	21
1. Lineamientos de planificación en movilidad del DMQ	21
2. Instrumentos de planificación en movilidad alineados al PMDOT-DMQ.....	26
3. Situación de la movilidad en el DMQ.....	28
Capítulo segundo: Emisiones de gases de efecto invernadero en motores de combustión interna.....	33
1. Vehículos impulsados con combustibles fósiles	33
1.1. Vehículos impulsados con gasolina.....	35
1.2. Vehículos impulsados con diésel	37
2. Alternativas tecnológicas de bajo impacto ambiental.....	39
2.1 Vehículos impulsados por biocombustibles	39
2.2. Vehículos impulsados por hidrógeno	41
2.3. Vehículos impulsados por energía eléctrica	43
3. Emisiones de GEI por la quema de combustibles en la movilidad	45
3.1 Metodologías estándar para determinar GEI	45
3.2. Metodologías para cuantificar GEI por la quema de combustibles	46
Capítulo tercero: Desarrollo de la investigación y resultados	53
1. Identificación de las opciones dominantes de movilidad en el DMQ.....	53
2. Análisis en vehículos de pasajeros individual.....	56
2.1. Identificación del vehículo “tipo”	56
2.2. Recorrido promedio anual	59
2.3. Consumo promedio de combustible	65
3. Análisis en vehículos de transporte público (buses)	66
3.1 Consumo promedio de combustible	66
4. Cálculo de emisiones de GEI	67
4.1 GEI por unidad de diésel y gasolina	67
4.2 GEI en las opciones dominantes de movilidad en el DMQ.....	70
4.3 Aplicabilidad de los resultados obtenidos	71
Capítulo cuarto: Discusión.....	75

Conclusiones y recomendaciones 83
Bibliografía 87

Gráficos, tablas y recuadros

Lista de gráficos

Gráfico 1. Evolución y proyección del parque automotor en el DMQ.....	29
Gráfico 2. Unidades vendidas en el sector automotriz 2007-2018	31
Gráfico 3. Ciclos termodinámicos de motores ciclo otto y ciclo diésel	34
Gráfico 4. Representación gráfica del conjunto de un motor de gasolina	35
Gráfico 5. Los cuatro tiempos del ciclo Otto.....	36
Gráfico 6. Esquema del proceso productivo del aceite refinado	40
Gráfico 7. Histograma del recorrido anual para automóviles del DMQ.....	61
Gráfico 8. Histograma del recorrido anual para taxis del DMQ.....	62
Gráfico 9. Histograma del recorrido anual para jeeps (SUV) del DMQ	62
Gráfico 10. Histograma del recorrido anual para camionetas del DMQ	63
Gráfico 11. Histograma del recorrido anual para camionetas de carga del DMQ.....	64
Gráfico 12. Histograma del recorrido anual para motocicletas del DMQ	64
Gráfico 13 Emisiones de GEI para un viaje “tipo” de 10 km.....	72
Gráfico 14. Reducción de gases con la implementación de las normas Euro	80

Lista de tablas

Tabla 1. Planificación de la movilidad tradicional y sostenible	24
Tabla 2. Políticas y objetivos en movilidad del DMQ período 2015-2025	25
Tabla 3. Instrumento de planificación urbana	26
Tabla 4. Número de viajes diarios en el DMQ por modos de transporte 2014	29
Tabla 5. Datos de movilidad para el DMQ.....	32
Tabla 6. Datos característicos de los combustibles líquidos.....	34
Tabla 7. Potencial de calentamiento global	50
Tabla 8. Características energéticas y de emisiones para el diésel y gasolina.....	50
Tabla 9. Vehículos motorizados matriculados en Pichincha según tipo de combustible y clase de vehículo, año 2018.....	54

Tabla 10. Vehículos motorizados matriculados domiciliados en Quito según tipo de combustible y clase de vehículo, año 2018.....	54
Tabla 11. Venta de vehículos en Pichincha por segmento - En unidades, período 2015-2018	56
Tabla 12. Ranking de los modelos de automóviles con mayor presencia en Quito ..	57
Tabla 13. Ranking de los modelos de jeeps con mayor presencia en Quito.....	58
Tabla 14. Ranking de los modelos de camionetas con mayor presencia en Quito....	58
Tabla 15. Ranking de los modelos de motocicletas con mayor presencia en Quito..	59
Tabla 16. Consumo de combustible para vehículos livianos en el DMQ.....	65
Tabla 17. Consumo de diésel para las distintas opciones de buses en el DMQ	67
Tabla 18. GEI para vehículos livianos en el DMQ.....	70
Tabla 19. GEI para las distintas opciones de buses en el DMQ	70
Tabla 20. Emisiones de GEI para un viaje “tipo” de 10 km.....	72

Lista de recuadros

Recuadro 1. Expresión básica para determinar las emisiones de GEI.....	47
Recuadro 2. Método de referencia para cuantificar emisiones de CO ₂	48
Recuadro 3. Método por actividad para determinar el CO ₂ en la movilidad.....	48
Recuadro 4. Método por actividad para determinar el CH ₄ y N ₂ O en la movilidad..	49
Recuadro 5. Tipos de gráficas para medidas de tendencia central	60
Recuadro 6. Metodología adoptada para cuantificar los GEI en la movilidad	67
Recuadro 7. Cálculo de emisiones de GEI para el diésel	68
Recuadro 8. Cálculo de emisiones de GEI para la gasolina	69

Introducción

El sector transporte es conocido internacionalmente como uno de los sectores con el mayor consumo de energía, que en casi su totalidad es de origen fósil, lo cual repercute en tener material particulado suspendido en el aire y en emitir los Gases de Efecto Invernadero (GEI), que contribuyen al cambio climático; sin embargo, este sector permite el desarrollo de las sociedades (ITDP 2013). Históricamente, el consumo de combustibles fósiles ha sido la principal fuente para solventar las necesidades energéticas; de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), para el 2015, el sector transporte alcanzó un consumo de 2.703 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), representando un 28,8 % del consumo energético mundial; específicamente en lo que corresponde a utilización de derivados del petróleo, cuantificó 2.490,99 Mtoe (IEA 2017).

El consumo global de energía en este sector ha crecido a una tasa del 2 % anual desde el 2000 y para el año 2012 representó el 28 % del consumo total de energía, produciendo la emisión de 8,7 gigatoneladas de CO₂ (GtCO₂) en dicho año. Se estima que, para limitar el incremento de la temperatura global en 2 °C para el año 2050, las emisiones anuales globales de CO₂ del transporte deben disminuir a 5,7 Gt (IEA 2015).

Para entender las emisiones de CO₂ producidas cuando nos movemos; es importante considerar que, en promedio, un vehículo todo terreno emite 1,3 toneladas de CO₂ para recorrer un trayecto de menos de 3.000 kilómetros (Greenpeace 2009). Además, se estima que, los vehículos de combustión interna seguirán dominando el mercado hasta el 2030, incluso con el aumento de vehículos eléctricos e híbridos; y, para lograr los objetivos de reducción de emisiones, se requieren mejoras tecnológicas que disminuyan en un 50 % el consumo de combustible en vehículos convencionales entre 2005 y 2030 (IEA 2012).

Estas particularidades del sector transporte, entre otras, dieron como resultado que entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, se encuentre el de “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”, conocido como ODS 11. Dicho objetivo contempla que el transporte es una necesidad que debe ser atendida con la medida de la tecnología que se promueva.

Es importante resaltar que, en la ciudad de Quito en octubre de 2016, se desarrolló la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, conocida como Hábitat III, que tiene el fin de impulsar el compromiso mundial de la urbanización sostenible y centrarse en la implementación de una “Nueva Agenda Urbana”. Dicha agenda guarda estrecha relación con el ODS 11, permitiendo de esa forma que los intereses planteados por los jefes de Estado a nivel mundial, sean trasladados para estar en atención de las ciudades y gobiernos locales.

En lo inherente a indicadores de emisiones asociadas al transporte, se debe añadir que, en el año 2014 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), determinó que el potencial de emisiones de GEI del vehículo estándar de dicho país, es de 4,7 toneladas de CO₂/año (EPA 2014). Este valor de emisiones difícilmente podría ser tomado como referencia, debido a que, el análisis realizado por la EPA considera distintas características propias del país, como son principalmente: la distancia media recorrida en un período de tiempo, las preferencias en la movilidad, el rendimiento de los motores, los costos de los vehículos y de los combustibles. A esto se suma la situación geográfica de las ciudades y del sistema vial, que afectan directamente al rendimiento vehicular.

Para el caso del Ecuador, de acuerdo con el Balance Energético Nacional 2018, el consumo de energía en este sector representó en dicho año un 48,8 % del total demandado en el país, provocando la emisión de 19,25 millones de toneladas equivalentes de CO₂ (MtCO₂-eq) al ambiente (EC Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2019, 27,155). De ahí que, en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, se identifica la importancia de disminuir los impactos ambientales en el transporte, al promover políticas como: “Impulsar la movilidad inclusiva, alternativa y sostenible, priorizando los sistemas de transporte público masivo de calidad y eficiente, así como los medios de movilidad no motorizada” (EC Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo 2017).

En lo que corresponde al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), su Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PMDOT-DMQ), contempla en su política de “Garantizar el derecho de la ciudadanía a vivir en un ambiente sano, precautelando la calidad de los recursos naturales”, que se disminuya la contaminación atmosférica originada por el transporte automotor (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 61). En este sentido, el DMQ publicó en octubre de 2016 el Plan

Ambiental Distrital 2015-2025; el cual prevé implementar el “Programa de Mitigación del Cambio Climático del DMQ”, propuesto con el objetivo de reducir los GEI en la ciudad, especialmente los producidos desde el sector transporte. Además, con el fin de potenciar esta iniciativa, el DMQ en 2017 se adhirió a la “Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles” donde la ciudad se compromete a tomar acciones tendientes a reducir las emisiones vehiculares.¹

De aquí la necesidad de disponer información desagregada que permita evaluar la situación actual de emisiones de GEI por la quema de combustibles fósiles en el sector transporte. Por esta razón, la investigación se orientó a cuantificar la emisión de gases de efecto invernadero que se producen por parte de las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

Varios son los objetivos específicos: 1) Determinar las preferencias de movilidad de los habitantes de Quito; es decir, identificar los vehículos “tipo”; 2) Calcular las emisiones de GEI asociadas a las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

Este documento incluye un análisis a los vehículos mayoritariamente utilizados en el DMQ con año base 2018; así también, se propone indicadores que pueden ser empleados en programas ambientales distritales vinculados al transporte. El análisis realizado aborda buses, automóviles, motocicletas y jeeps; para lo cual, se determina las emisiones anuales de GEI asociadas a vehículos estándar de la ciudad de Quito.

Acercas de la justificación de este estudio, se seleccionó la ciudad de Quito para la realización de la investigación, debido a que: (i) en 2018 concentró aproximadamente el 20 % del parque automotor matriculado en el Ecuador (EC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2019); (ii) presenta una particular geografía determinante en el rendimiento de motores de combustión interna y hábitos de conducción; (iii) la congestión vehicular que en promedio representó una pérdida de 173 horas/año de los quiteños durante el 2018 (Inrix Research 2019).

Al adherirse a la “Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles”, el DMQ se comprometió a tomar acciones tendientes a reducir las emisiones vehiculares. Entre las propuestas para alcanzar este objetivo se encuentra la transición de reemplazo de vehículos que usan combustibles fósiles hacia tecnologías limpias.

¹ El C40 Cities Climate Leadership Group es un grupo creado con el enfoque de enfrentar el cambio climático. Hasta febrero de 2020 se encuentra conformado por 96 de las ciudades más grandes del mundo.

Complementariamente, el C40 cuenta con una hoja ruta plasmada en el documento “Deadline 2020: How Cities Will Get The Job Done”, que tiene como fin esquematizar el compromiso de acción climática para implementar el Acuerdo de París;² tanto en la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como en la respuesta de adaptación a los impactos del cambio climático. El referido Plan deberá estar conformado y en marcha antes del año 2020, el cual permita alcanzar una neutralidad local de carbono y una capacidad de resiliencia climática antes del 2050; además, establecer una meta de control de estas trayectorias en el 2030.

Es evidente que se han realizado un sinnúmero de esfuerzos a nivel nacional e internacional para explorar y analizar el macro de la problemática del sector transporte y su vínculo con la emisión de GEI. Existe extensa literatura acerca de movilidad sostenible, combustibles alternativos, emisiones de contaminantes atmosféricos resultantes en motores de combustión, entre otros. Para dar referencias de estudios de tesis realizados previamente en el Ecuador sobre movilidad, en 2013 se publicó el “Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Transporte al 2012; en 2014 se publicó el “Estudio Comparativo del Uso del Diesel Entre Europa y Ecuador, Utilizado para Motores de Vehículos”; en 2016 se publicó el “Diseño de un esquema piloto para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte público de pasajeros en Ecuador”.

A esto se suman las publicaciones llevadas adelante por instituciones gubernamentales en Ecuador, por ejemplo: Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), Informe Bienal de Actualización (IBA), Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático. Además, a nivel del DMQ, propósito de la presente investigación, se han publicado: 10 Acciones de Quito frente al cambio climático, el Inventario de gases de efecto invernadero del DMQ.

Lo señalado en los dos párrafos precedentes, dan una breve perspectiva de los estudios que se han realizado en el país, así como del nivel de desagregación que estos abarcan. De allí que, mayoritariamente los estudios elaborados se han orientado a evaluar de forma total las GEI; y, por tal razón, la necesidad de estudiar y evaluar una

² El Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático contempla en su Art. 2: “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales [...]”, para lo cual de acuerdo con el Art. 4, se indica que es necesario que los países adopten medidas de mitigación internas, con el fin de alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de GEI. El Ecuador ratificó su compromiso al Acuerdo de París a través del Decreto Ejecutivo Nro. 98, de 29 de julio de 2017.

problemática específica en el sector transporte; a saber, su situación actual e implicaciones respecto a emisiones de GEI.

La relevancia de la investigación radica en que no existe diversidad de estudios o reportes puntuales sobre la temática propuesta, que específicamente cuantifiquen el potencial de emisiones de GEI asociadas a un vehículo estándar. Esto, a su vez, permite identificar, de forma adicional, las repercusiones en cuanto a calidad del aire debido a la necesidad que se tiene en acceder al transporte, particularmente en la ciudad de Quito.

De acuerdo con la IEA, para lograr mejoras en el sistema de transporte, el primer paso es recopilar data que permita el levantamiento, seguimiento y evaluación sistemática de indicadores. Dicha información es útil para (i) adoptar cambios de política; (ii) implementar planes y proyectos de transporte adicionales; (iii) medir los efectos de la implementación de políticas; así como, (iv) identificar debilidades del proyecto, los beneficios adicionales, los posibles efectos indirectos y los siguientes pasos o medidas alternativas para lograr los objetivos de las políticas (IEA 2013, 26,73).

Para dar un ejemplo, en el caso de la ciudad de México se determinó que para dicha ciudad los tiempos y distancias de traslado están relacionados con el tipo de vivienda. Si esta pertenece a un conjunto habitacional, el tiempo de traslado promedio es mayor a si se tratase de un departamento; en ese contexto en particular, dicha ciudad requiere de políticas y estrategias puntuales de desarrollo urbano y gestión de la demanda para reducir la emisión de GEI (ITDP 2013).

Desde consideraciones metodológicas, en este estudio se recopila y procesa información estadística del sector transporte en el DMQ, principalmente: clase de vehículo, características técnicas, rendimiento y combustible utilizado; lo cual permite identificar el “vehículo tipo” de la ciudad para cada clase de vehículo. El recorrido promedio anual es cuantificado con los valores registrados en la Revisión Técnica Vehicular del proceso de matriculación del año de estudio y mediante el uso de herramientas estadísticas para medidas de tendencia central. Las guías 2006 del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para la realización de inventarios de GEI, del sector energía, son utilizadas para cuantificar el impacto ambiental.

Los resultados obtenidos en esta investigación, permiten desarrollar indicadores a ser utilizados de manera referencial en estudios o publicaciones de

impacto ambiental del DMQ. Además, el estudio es replicable; es decir, puede ser escalado a otras ciudades o incluso países; permitiendo de esta forma, disponer información de base para evaluar el cumplimiento de objetivos y metas ambientales que se lleguen a proponer o planificar.

Capítulo primero

Movilidad en el DMQ

La cantidad de desplazamientos que realizan las personas o que se da a las mercancías en un entorno delimitado, por un período de tiempo establecido, es conocido como movilidad. Para fines del presente estudio, por movilidad urbana se entiende a “la totalidad de desplazamientos que se realizan en la ciudad” (Ecologistas en acción 2007, párr. 2).

En el Ecuador, la red vial nacional se divide por jurisdicción a la que pertenece, identificándose tres categorías: la red vial estatal que es responsabilidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas; y, la red vial provincial y cantonal que corresponden a los gobiernos seccionales (Páez 2016, 14). Lo inherente al control de gases contaminantes en la movilidad, es realizado a través de la Revisión Técnica de Vehículos (RTV) en el proceso de matriculación que se realiza anualmente; y, que tiene por objeto, entre otros, el de “comprobar que cumplen con la normativa técnica que les afecta y que mantienen un nivel de emisiones contaminantes que no supere los límites máximos establecidos en la normativa vigente” (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2020, párr. 8).

A continuación, se realiza una síntesis asociada a la situación actual de la movilidad en el DMQ, misma que comprende: los lineamientos en la planificación, los instrumentos bajo los cuales se plantea su desarrollo y la situación de la ciudad.

1. Lineamientos de planificación en movilidad del DMQ

De acuerdo con el art. 264 de la Constitución de la República del Ecuador, es competencia de los gobiernos municipales, entre otras:

Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial; Planificar, construir y mantener la vialidad urbana; [...]; Planificar, regular y controlar el tránsito y el transporte público dentro de su territorio cantonal; [...]. (EC 2008, art. 264)

Además, como estrategia de planificación sustentable en el Ecuador, se contempla en el art. 414 que “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales

para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica [...]” (EC 2008, art. 414).

En un siguiente nivel jerárquico legislativo, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (Cootad) provee a los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Distrito Metropolitano una serie de competencias. Entre esas competencias se destacan las siguientes, respectivamente, en el ámbito ambiental y de movilidad: art. 84: “k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en su circunscripción territorial de manera articulada con las políticas ambientales nacionales; [...]; q) Planificar, regular y controlar el tránsito y el transporte terrestre dentro de su territorio” (EC 2010, art. 84).

El Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito (PMDOT-DMQ) es el instrumento de política pública que permita que la ciudad se desarrolle en distintos ámbitos; en los cuales, sus habitantes puedan tener calidad de vida, acceso a distintas oportunidades de desarrollo y servicios. Es necesario considerar que dicho plan contempla una visión para el período 2015-2025. Este fue elaborado de forma participativa entre las diversas Secretarías del Distrito Metropolitano de Quito y actores sociales (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 3).

Se debe señalar que los principios con los cuales fue estructurado el PMDOT-DMQ no refieren únicamente a un sector en particular; sino más bien, integran la preocupación de hacia dónde va la ciudad y bajo qué parámetros se espera su desarrollo. Por eso principios como calidad de vida, mayores oportunidades, innovación, centralidades, transversalidad, entre otros, permiten que las iniciativas se integren para atender las necesidades en el distrito.

La transversalidad, desde el punto de vista de desarrollo del sector transporte, hace posible que los ejes social, ambiental y económico-productivo, puedan articularse e interrelacionarse; además, su accionar viabiliza que las oportunidades de los ciudadanos puedan ser, de cierta manera, equitativas. Obviamente, el transporte no es el único servicio que viabiliza dicha transversalidad en la línea de un desarrollo de tipo sostenible, el acceso a la educación, a la salud, a un ambiente sano, entre otros, tienen de igual forma un impacto fundamental para el progreso.

Previamente, se puntualizó al respecto de los compromisos a los cuales el DMQ se encuentra adherido, siendo la iniciativa C40 quizá la más representativa al respecto

de a dónde se aspira que vaya la movilidad de la ciudad a mediano plazo con un enfoque de bajo impacto ambiental. Esta iniciativa conocida como la “Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles” contempla principalmente la reducción de las emisiones vehiculares para que se pueda alcanzar una sustentabilidad en este sector. En concordancia, la IEA expone que los sistemas de transporte desempeñan un papel importante para lograr los objetivos de emisiones globales; y, para poder alcanzarlos, la planificación en esta materia debe considerar medidas para reducir el tráfico de vehículos de motor y promover viajes más eficientes (IEA 2013, 86).

Es necesario identificar a qué se refiere cuando se habla de transporte sostenible; por esta razón, para este estudio se adopta la conceptualización presentada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) de España, el cual lo identifica como aquel que:

Permite responder a las necesidades básicas de acceso y desarrollo de individuos, empresas y sociedades, con seguridad y de manera compatible con la salud humana y el medioambiente, y fomenta la igualdad dentro de cada generación y entre generaciones sucesivas;

Resulta asequible, opera equitativamente y con eficacia, ofrece una elección de modos de transporte y apoya una economía competitiva, así como el desarrollo regional equilibrado;

Limita las emisiones y los residuos dentro de la capacidad del planeta para absorberlos, usa energías renovables al ritmo de generación y utiliza energías no renovables a las tasas de desarrollo de sustitutivos de energías renovables mientras se minimiza el impacto sobre el uso del suelo y la generación de ruidos. (IDAE 2006, 16)

Lo dicho hasta aquí, en la presente sección, deja constancia que para desarrollar planes de movilidad es necesario considerar directrices orientadas a la movilidad urbana sostenible. Por ejemplo, para uso de la Unión Europea; en el 2014 se publicó la guía para el desarrollo e implementación de planes de movilidad urbana sostenible. Esta guía se encuentra en la línea de lo planteado por el IDAE sobre transporte sostenible mencionado previamente.

Al ser una estrategia de transporte sostenible adoptada en la misma región, refuerza las iniciativas para el establecimiento de políticas y medidas orientadas al desarrollo de la movilidad que cubra “todos los modos y medios de transporte en toda la aglomeración urbana, incluyendo públicos y privados, de pasajeros y de carga, motorizados y no motorizados, en desplazamiento y estacionados” (European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans 2014, 7). En particular, la planificación de la

movilidad supone ingresar en una transición desde un punto de vista tradicional hacia uno de tipo sostenible, como se indica a continuación:

Tabla 1
Planificación de la movilidad tradicional y sostenible

Planificación de transporte tradicional		Planificación de movilidad urbana sostenible
Centrado en el tráfico	→	Centrado en personas
Objetivos principales: flujo del tráfico y velocidad.	→	Objetivos principales: accesibilidad, calidad de vida, sostenibilidad, viabilidad económica, equidad social, salud y calidad ambiental.
Centrado en medio de transporte modal	→	El desarrollo equilibrado del desplazamiento con transportes menos contaminantes y más sostenibles
Centrado en la infraestructura	→	Elaborar un conjunto de acciones para lograr soluciones rentables
Documento de planificación sectorial	→	Documento de planificación sectorial coherente y complementario, a las áreas políticas relacionadas (como el uso del Suelo, servicios sociales, salud, vigilancia, etc.
Planes a corto/medio plazo	→	Planes a corto/medio plazo, junto con la visión y estrategia a largo plazo
Relacionado con áreas administrativas	→	Relacionado con un área funcional basada en el modelo travel to work*
Dominado por los ingenieros de tráfico	→	Dominado por equipos de planificación interdisciplinarios
Planificado por los expertos	→	Planificación con la participación de las partes interesadas desde un enfoque transparente y participativo
Evaluación sobre la limitación del impacto	→	Proceso de seguimiento y evaluación de los impactos, con la implementación de un proceso de enseñanza y aprendizaje estructurado.
* El modelo travel to work (viajar para trabajar) permite delimitar el perímetro urbano y superficie requerientes de servicio de transporte, basado en la identificación de zonas de trabajo, urbanizaciones y otros; además, dicho modelo viabiliza el contacto entre ciudades y maximiza su cohesión interna (Romani, Casado y Lillo 2017, 712).		

Fuente y elaboración: European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans

Esta necesidad de cambiar el esquema tradicional para la planificación de la movilidad en una ciudad, se sustenta en que la población y la economía se encuentran en constante desarrollo. Para ello, se ve necesario dinamizar el acceso al transporte, el cual escasamente es renovado en el común de las ciudades para aquel de tipo motorizado (IDAE 2006, 21-3). De acuerdo con el PMDOT-DMQ, el sistema de movilidad en Quito:

Presenta serias deficiencias que siguen con tendencia a agravarse, principalmente en lo que respecta a la fluidez del tráfico, cuya situación es preocupante debido a que la capacidad vial disponible continúa en un proceso de saturación, toda vez que no es capaz de atender la creciente demanda de circulación del parque vehicular. (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 79)

Por esta razón, los principios que busca la planificación a través del PMDOT-DMQ; así como, las actividades económicas y sociales que se desarrollan en el Distrito, se ven gravemente afectados y requiere de medidas a implementarse a corto plazo.

Bajo el contexto descrito, el PMDOT-DMQ contempla las siguientes políticas y objetivos a alcanzar en lo correspondiente a movilidad para el período 2015-2025 (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 83-93):

Tabla 2
Políticas y objetivos en movilidad del DMQ período 2015-2025

Política	Objetivos
1. Mejorar sustancialmente la calidad, la cobertura, conectividad e integración de los servicios del Sistema Metropolitano de Transporte, asignando los recursos financieros en correspondencia con las demandas de viajes atendidas.	1.1. Se utilizará el Transporte Público como medio preferente de desplazamiento, mediante un sistema integrado masivo de transporte con altos niveles de calidad y eficiencia, donde el Metro será el eje estructurador, siendo sus mayores atributos la disminución del tiempo de viaje, conectividad y cobertura.
2. Promover el uso de tecnologías limpias en el transporte público que permitan óptimos niveles de desempeño automotriz para mejorar la calidad del medio ambiente.	2.1. Se disminuirán los niveles de emisiones de gases y ruido generados por los vehículos motorizados, mejorando su tecnología, en especial la flota del transporte público.
3. Incrementar la participación de los viajes a pie y en bicicleta en el reparto modal a través de la elaboración de programas y proyectos que generen aceptación ciudadana y faciliten la intermodalidad.	3.1. Se implementarán redes peatonales de calidad, cumpliendo los estándares de diseño y libres de barreras urbanas, lo que facilita la movilidad peatonal, especialmente de los grupos más vulnerables (niñez, personas con discapacidad, estudiantes, adultos mayores).
	3.2. Se fomentará el uso de la bicicleta como modo alternativo de desplazamiento de corta distancia, dotando una infraestructura eficiente y segura, con conexiones que favorezcan el intercambio con los modos motorizados de transporte.
4. Promover en la ciudadanía la racionalización del uso del vehículo privado y su participación en procesos de restricción de su circulación, en orden al bien común y a los planes de tráfico y de ordenamiento territorial que se establezcan en el DMQ.	4.1. Se implementarán mecanismos de racionalización y desincentivo del uso del vehículo privado, verificándose un menor número de vehículos en las vías, por lo que la circulación es más fluida en el DMQ.
	4.2. Se disminuirán los tiempos de viaje en vehículos motorizados mediante la eficiente gestión y aplicación de planes de mitigación tráfico definidos por la Municipalidad.
5. Priorizar todos los procesos necesarios para fomentar y consolidar la cultura de la seguridad vial en todos los ámbitos de la movilidad con lo cual se logre la disminución del número de accidentes de tráfico y sobre todo el de víctimas fatales.	5.1. Se fomentará el respeto a las normas de tránsito por parte de los diferentes actores de la movilidad, para que la circulación del tráfico se realice de manera racional y segura.
	5.2. Se disminuirá el número de víctimas fatales en accidentes de tránsito en sistema vial del DMQ, así como los eventos de robo y acoso sexual en el transporte público.
6. Estructurar y planificar el sistema vial en concordancia con el crecimiento estratégico de la ciudad y la planificación urbana, priorizando el transporte Público para reducir la dependencia del transporte privado, siendo fundamental la asignación de facilidades para motivar el desarrollo de la movilidad peatonal y en bicicleta.	6.1. Se mejorará e incrementará la oferta del sistema vial del DMQ, en especial las vías arteriales y expresas, para mejorar las condiciones de circulación, conectividad y accesibilidad hacia los distintos centros de trabajo, vivienda, y recreación.

7. Desarrollar la planificación de movilidad de manera conjunta con la territorial, a fin de crear nuevos espacios urbanos centrales y periféricos dotándoles de usos de suelo mixtos, con equipamientos que puedan atender las diferentes actividades laborales, educacionales, administrativas y recreativas, a fin de inducir a viajes de cortas distancias sin necesidad de utilizar vehículo privado.	7.1. Se mejorará e incrementará la conectividad entre sectores sin una adecuada comunicación vial, o deficiente oferta de transporte público, por falta de infraestructura vial.
8. Impulsar nuevas propuestas de mitigación de tráfico para repotenciar la capacidad vial existente dentro del marco general de la gestión del tráfico, con planes complementarios de mantenimiento para mejorar la fluidez del tráfico en nodos congestionados.	8.1. Se operará en niveles de servicio razonables las principales intersecciones del DMQ, debido a las intervenciones de diseño vial, mantenimiento y señalización adecuada.

Fuente: GAD DMQ

Elaboración propia

2. Instrumentos de planificación en movilidad alineados al PMDOT-DMQ

Si bien se ha identificado las prioridades de planificación para el transporte en el DMQ, es necesario analizar en segunda instancia la temporalidad con la cual fueron publicados los instrumentos vigentes de política asociada. Así como, observar si los objetivos guardan relación, tanto las prioridades a escala local, como las prioridades de desarrollo sostenible contempladas; por ejemplo, en el ODS 11 y en la Nueva Agenda Urbana. A continuación, se identifican los instrumentos de planificación urbana referenciados en el presente estudio:

Tabla 3
Instrumento de planificación urbana

Instrumento de planificación	Autor	Publicación
Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía	Julio 2006
Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009-2025	GAD DMQ	Abril 2009
Guía - Desarrollo e implementación de planes de movilidad urbana sostenible (PMUS)	European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans	Enero 2014
PMDOT-DMQ	GAD DMQ	Febrero 2015
Agenda 2030 - Objetivos de Desarrollo Sostenible	NNUU	Septiembre 2015
Nueva Agenda Urbana	NNUU	Octubre 2016
Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles	Grupo C40	Octubre 2017

Fuente: Varios autores

Elaboración propia

Es oportuno señalar que, en la investigación no se realiza un análisis profundo a los instrumentos de planificación urbana destacados en la tabla 3; sin embargo, se evidencia la necesidad de identificar las líneas principales en movilidad que los pueden estar interrelacionando.

En ese sentido, si partimos con el ODS 11 de la Agenda 2030 que, como ya se mencionó, considera al transporte como una necesidad que debe ser atendida con la medida de la tecnología que se promueva; se identifica una directriz de desarrollo en movilidad específica para las ciudades. Dicha agenda fue adoptada en septiembre de 2015 y el Ecuador declaró en abril de 2018 su adopción como política pública del Gobierno Nacional, orientado al cumplimiento de sus objetivos y metas, esto mediante Decreto Ejecutivo 371.

Por su parte, la Nueva Agenda Urbana se estructuró en el contexto de la Agenda 2030 y del Acuerdo de París, principalmente. Allí se especificó para el sector del transporte, la necesidad de promover el acceso equitativo y asequible a la infraestructura física y social básica sostenible, que incluya, entre otros, la movilidad sostenible (ONU Asamblea General 2017, 4, 15).

Por otra parte, la “Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles”, a la cual el DMQ está adherido desde 2017, cuenta como principal preocupación a la necesidad de implementar medidas contra el cambio climático para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. Dicha declaración tiene como principal línea de acción desarrollar acciones asociadas a que exista una transición hacia una movilidad con cero emisiones; evidenciando de esta forma que, la declaración C40 guarda relación en el marco de desarrollo sostenible.

La Unión Europea, por su parte, ha desarrollado distintos instrumentos que permitan a los gobiernos locales implementar iniciativas y planes orientados al desarrollo de movilidad sustentable. Es así que, respectivamente, en el 2006 y 2014 se publicaron la “Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible” y la “Guía - Desarrollo e implementación de planes de movilidad urbana sostenible (PMUS)”. Estos documentos guardan estrecha relación con los instrumentos promovidos posteriormente por Naciones Unidas a través de la Agenda 2030 y la Nueva Agenda Urbana.

En lo correspondiente al PMDOT-DMQ, si bien es un documento previo a los publicados por Naciones Unidas y posterior a los propuestos por la Unión Europea; es necesario identificar las fuentes con las cuales fue estructurado y poder concluir sobre

la base de desarrollo y lineamientos que lo rigen. En ese sentido, entre la literatura consultada para elaboración del Plan se encuentran, entre otros: “Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano: ECCO Distrito Metropolitano de Quito” y “Plan de Movilidad Sostenible del Centro Histórico de Quito”.

En la tabla 2, sobre políticas y objetivos en movilidad del DMQ para el período 2015-2025, constan las políticas 2, 3, 4, 6, 7, 8, las cuales implícitamente relacionan a la movilidad urbana sustentable como prioridad de desarrollo del transporte en el DMQ. Estas políticas tienen una orientación a: conseguir un óptimo desempeño automotriz para mejorar la calidad del medio ambiente; reducir el uso de vehículo privado; crear nuevos espacios urbanos centrales y periféricos; y, repotenciar la capacidad vial existente.

Por lo dicho en las dos primeras secciones de este capítulo, la planificación de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito, constante en el PMDOT-DMQ, cuenta con la base legal nacional para su desarrollo. De igual manera, cuenta con el soporte suficiente en cuanto a lineamientos internacionales vigentes para movilidad sostenible, potenciados al estar adherido el DMQ a la Declaración de C40.

3. Situación de la movilidad en el DMQ

En la presente sección se toma como base el diagnóstico de la movilidad realizado para la elaboración del PMDOT-DMQ, el cual permite identificar la problemática que atraviesa el sector transporte en el DMQ como lo es especialmente la congestión vehicular; así como, los tiempos que demanda efectuar los viajes. Además, se analizan los impactos ambientales cuantificados en emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la movilidad del DMQ realizado por parte de la Secretaría de Ambiente.

La problemática presente en la movilidad del DMQ radica en su geografía, que, por ser una ciudad de tipo longitudinal, las opciones de solución se ven limitadas a mejorar los sistemas de transporte masivo y a implementar en corto plazo sistemas que lo potencialicen; como es el ejemplo del Metro para la ciudad de Quito³.

³ El proyecto Metro de Quito prevé ser la respuesta a la problemática de congestión vehicular mediante un trazado de 22 kilómetros desde el Labrador al norte de la ciudad y Quitumbe al sur. Desde el 2010 se analizó su factibilidad para posteriormente iniciar su construcción en 2016. El proyecto, hasta agosto de 2020 presenta un avance de obra del 97% (EC Metro de Quito 2020, párr. 7).

Para el 2014 se estimó que el desplazamiento de los habitantes en el DMQ, mayoritariamente es el transporte de tipo colectivo comercial; es decir, aquel que corresponde al Transporte Público más el Transporte Escolar e Institucional, seguido por el Transporte Privado, que incluye el servicio de taxi (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015a, 343). A continuación, se presenta el número de viajes diarios en los diferentes modos de transporte que se había proyectado para el 2014 como parte del análisis de la evaluación realizada al sector en el desarrollo del PMDOT-DMQ:

Tabla 4
Número de viajes diarios en el DMQ por modos de transporte 2014

Modos de transporte		Número de viajes	Participación porcentual
Motorizado	Transporte público	2.800.000	61,34
	Transporte Privado	1.050.000	23,00
No Motorizado	A Pie	700.000	15,33
	Bicicleta	15.000	0,33
Total		4.565.000	100,00

Fuente y elaboración: PMDOT-DMQ

Si bien la publicación del PMDOT-DMQ, indica que los datos presentados son estimados; es importante considerar que, sirvieron de base para fundamentar la presentación de propuestas que permitan orientar las inversiones hacia la mejora del sistema de transporte público. Además, en el diagnóstico elaborado para dicho plan, se toma en cuenta que el parque vehicular del DMQ crece anualmente entre un 5 % y 10 %, representado de 15.000 a 35.000 vehículos. Esta particularidad, para el horizonte del 2030, podría significar que en el Distrito estén circulando cerca de 1.150.000 vehículos, triplicando el parque vehicular presente en 2010, con las implicaciones respecto a congestión y demora en los traslados que ello representaría (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015a, 346-7).

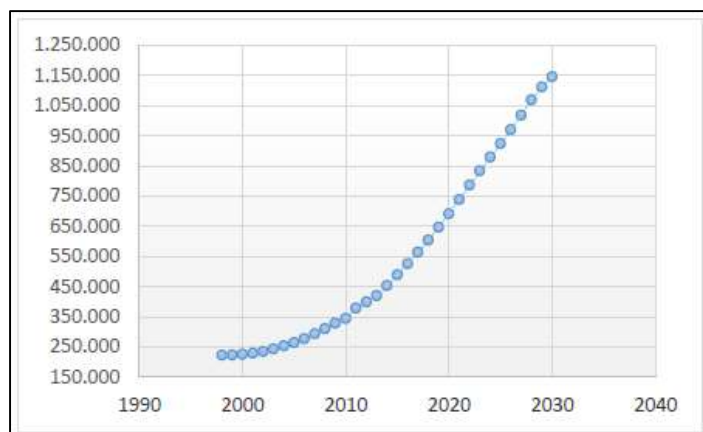


Gráfico 1. Evolución y proyección del parque automotor en el DMQ
Fuente y elaboración: PMDOT-DMQ

El gráfico 1 da pie a la preocupación de planificar el desarrollo urbano en el DMQ, esto debido a la centralización que tiene la economía, sumado al hecho de tratarse de una ciudad longitudinal; resultando un incremento en el número de viajes y los tiempos que ello representaría.

En el estudio Inrix 2018 Global Traffic Scorecard, se presenta un análisis de las tendencias de congestión y movilidad en más de 200 ciudades en 38 países para el 2018, entre los cuales se encuentra el DMQ situado en puesto 26 sobre las ciudades con más problemas de congestión vehicular. Además, dicha publicación señala que en el DMQ se cuantifican 173 horas de pérdida por año (Inrix Research 2019).

Para la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade), la industria automotriz incide directamente en la evolución de la economía moderna, teniendo una fuerte presencia en el producto interno bruto de los países y a nivel mundial. Particularmente, en Ecuador el 2017 y 2018 fueron años atípicos respecto a la participación de las importaciones en la provisión de vehículos, debido a las salvaguardias y cupos de restricción que se tenía en años anteriores, lo cuales fueron liberados con la entrada en vigencia del Acuerdo Comercial entre Ecuador y la Unión Europea el 1 de enero de 2017. En el 2018, el sector automotor creció un 31 % en relación con el 2017, en dicho año un 73,2 % del total de vehículos vendidos fueron importados⁴ (Aeade 2019, 12,42).

Si bien el 2020 no es el año de análisis del presente estudio, vale indicar que prevé también ser un año atípico respecto al número de ventas de autos que se realicen. Esto se debe mayoritariamente a la declaratoria de pandemia de COVID-19 por parte de la Organización Mundial de la Salud; por lo que, en Ecuador se adoptó el estado de excepción mediante Decreto Ejecutivo Nro. 1017 de 16 de marzo de 2020.

A continuación, se presenta la evolución de las ventas en el sector automotriz del período 2007-2018:

⁴ De acuerdo con la Aeade, en 2016, con las salvaguardias y cupos de restricción a la importación, un 49,9 % de los vehículos eran producidos en el Ecuador.



Gráfico 2. Unidades vendidas en el sector automotriz 2007-2018
Fuente y elaboración: Aeade

Se estima que, del total de ventas a nivel nacional, un 38,44 % tiene origen en la provincia de Pichincha, lo cual cuantifica un total de 52.894 unidades (Aeade 2019, 58). En el capítulo tercero de este estudio, se identifica más a detalle al respecto de los tipos de vehículos comercializados por segmento automotriz, vehículos matriculados, costos, marcas, entre otros.

Es oportuno mencionar que, el PMDOT cuenta también con lineamientos orientados a la gestión ambiental; dentro de lo cual, se identifica la problemática ambiental inherente a la movilidad de la ciudad. Dicho plan señala que se carece de estrategias y medidas concretas orientadas a la disminución del parque vehicular y que es el principal aportante a la Huella Carbono del DMQ. Además, se puntualiza que la movilidad:

No es integral respecto al territorio y el transporte público no brinda la calidad necesaria para que sea una verdadera opción. No hay una estructura de centralidades que brinde servicios adecuadamente distribuidos para posibilitar la actividad ciudadana con optimización de tiempo y calidad, y que sirvan como motores de concentración de servicios y actividades que consoliden y organicen el tejido disperso y poco denso, característicos en la ciudad. (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 55)

La problemática identificada desde la movilidad, se encuentra en la línea de las siguientes políticas de la planificación ambiental: “Garantizar la sostenibilidad local del territorio enfocado a la reducción y compensación de la huella de carbono y a la resiliencia del DMQ frente al cambio climático” y “Garantizar el derecho de la ciudadanía a vivir en un ambiente sano, precautelando la calidad de los recursos naturales”. Estas políticas derivan en que, entre los objetivos a alcanzar se encuentre

el disminuir la contaminación atmosférica originada por el transporte terrestre; por lo que, es necesario y prioritario monitorear permanentemente la huella de carbono de la ciudad y particularmente del parque vehicular (EC Alcaldía Metropolitana de Quito 2015b, 60-4).

Desde el punto de vista de contaminantes atmosféricos, el DMQ, a través de la Secretaría de Ambiente, ha realizado distintas investigaciones asociadas a esta problemática, muchas de ellas con el apoyo resultante de la adhesión al C40. A continuación, se hace una breve síntesis de los resultados y estadísticas a las que se ha llegado al respecto de la movilidad:

Tabla 5
Datos de movilidad para el DMQ

Publicaciones ambientales	Datos obtenidos para el sector transporte
Plan de Acción Climático de Quito	Cerca de 4,3 millones de viajes se realizan diariamente en el DMQ, de los cuales dos terceras partes se realizan en transporte público.
10 acciones de Quito frente al cambio climático	430.000 vehículos circulan en Quito en el 2011.
Inventario de gases de efecto invernadero del DMQ sectores: energía estacionaria, transporte y residuos, año base 2015	El sector transporte emitió: 3.004.296 de tCO _{2eq} /año en el 2015. 2.902.405 de tCO _{2eq} /año en el 2011. (incluye CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O)
	El 52 % de las emisiones del DMQ en el 2015 corresponden al sector transporte. El 56 % de las emisiones del DMQ en el 2011 corresponden al sector transporte.
	En 2015 se emitió 1.990.685 tCO _{2eq} /año por quema de gasolina y 1.010.987 tCO _{2eq} /año por quema de diésel. En 2011 se emitió 1.883.525 tCO _{2eq} /año por quema de gasolina y 1.018.409 tCO _{2eq} /año por quema de diésel

Fuente: Secretaría de Ambiente del DMQ
Elaboración propia

Capítulo segundo

Emisiones de gases de efecto invernadero en motores de combustión interna

Esta sección permitirá dar un panorama de los combustibles mayoritariamente utilizados en el transporte; así como, los impactos ambientales por la utilización de uno u otro tipo de combustible. Además, de manera complementaria a los objetivos que tiene la investigación, se presenta brevemente una perspectiva de propuestas de transporte de bajo impacto ambiental como una alternativa a los combustibles fósiles.

Vale señalar que, de acuerdo al IPCC, las medidas que se apliquen en las modalidades de transporte, infraestructura y desarrollo urbano, podrían reducir el consumo de energía proyectado; y, por lo tanto, las emisiones de GEI asociadas a dicha actividad (IPCC 2015, 109). Es por ello que, por una parte, es necesario orientar las políticas para desarrollo de la planificación en movilidad sustentable, como se mencionó en el primer capítulo de este estudio; y, por otro lado, es fundamental cuantificar la afectación ambiental provocada por los combustibles fósiles utilizados en la movilidad, en términos de GEI; para lo cual, en este capítulo se detalla el sustento teórico necesario para dicho análisis.

1. Vehículos impulsados con combustibles fósiles

En el mundo más del 50 % del uso de petróleo se destina al transporte (IEA 2012). Particularmente, la gasolina y el diésel han liderado este alto consumo de energía a través de los denominados motores de combustión interna.

La diferencia entre estos dos tipos de combustibles es su estructura molecular en base a carbono e hidrógeno y del procedimiento con el cual se los obtiene, lo cual determina y condiciona su forma de combustión en el motor y con ello transformar la energía en movimiento (Gerschler, y otros 1985, 197). Por las propiedades que tienen los carburantes ligeros como la gasolina, butano, propano, gas natural y biocombustibles ligeros; los motores requieren utilizar el ciclo Otto de dos y cuatro tiempos para que la combustión se produzca a partir de la chispa producida por una bujía. En el caso del diésel y de combustibles pesados como el fuel-oil, la quema no

requiere de una bujía; debido a que, en el ciclo de compresión de aire e inyección de combustible se produce una alta temperatura que enciende la mezcla de forma espontánea, a ello se lo conoce como el ciclo Diésel.

En la gráfica que se presenta a continuación, se comparan los ciclos termodinámicos entre motores a gasolina y motores a diésel en gráficas de presión-volumen; de tal forma que, respectivamente, se identifica la aproximación teórica de la relación existente entre el encendido a inyección del combustible en el ciclo Diésel y el encendido con chispa que trabaja para el ciclo Otto (Stefanelli 2020, párr. 4).

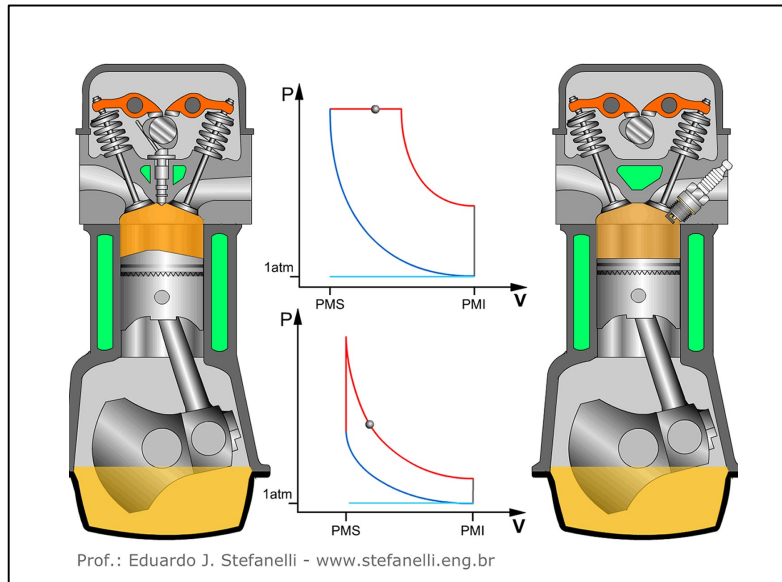


Gráfico 3. Ciclos termodinámicos de motores ciclo Otto y ciclo diésel
Fuente y elaboración: Prof. Eduardo J. Stefanelli

A continuación, se presentan datos característicos de algunos combustibles líquidos:

Tabla 6
Datos característicos de los combustibles líquidos

Materia	Densidad kg/l	Punto de fusión °C	Punto o límites de ebullición °C	Calor de vaporización kcal/kg	Poder calorífico kcal/kg	Auto- encendido °C	Consumo de aire kg/kg	ROZ ó Ca Z
Metanol	0,8	-98	65	1110	19678	455	6,4	106
Benceno puro	0,88	+ 6	80	394	40193	700	13,3	>100
Gasolina normal	0,72 - 0,76	-30...-50	25...210	377...502	43500	450...550	14,8	91
Combust. super	0,73 - 0,78	-30...-50	25...210	419	42705	480...700	14,7	97,4
Combust. diesel	0,82 - 0,86	-10...-30	150...360	544...795	40600...44400	350...380	14,5	> 45

Fuente y elaboración: Stuttgart Gerschler

1.1. Vehículos impulsados con gasolina

Una refinería utiliza la destilación fraccionada y la alquilación⁵ para la producción de gasolina. Para motores que la usan, es necesario que el combustible se gasifique sin problema y totalmente; es decir, se evite el residuo en el proceso. Por otra parte, de la tabla 6 se puede identificar que la gasolina para autoencenderse requiere temperaturas mayores a las del diésel. Es por ello que, en el ciclo Otto es imprescindible el uso de bujías.

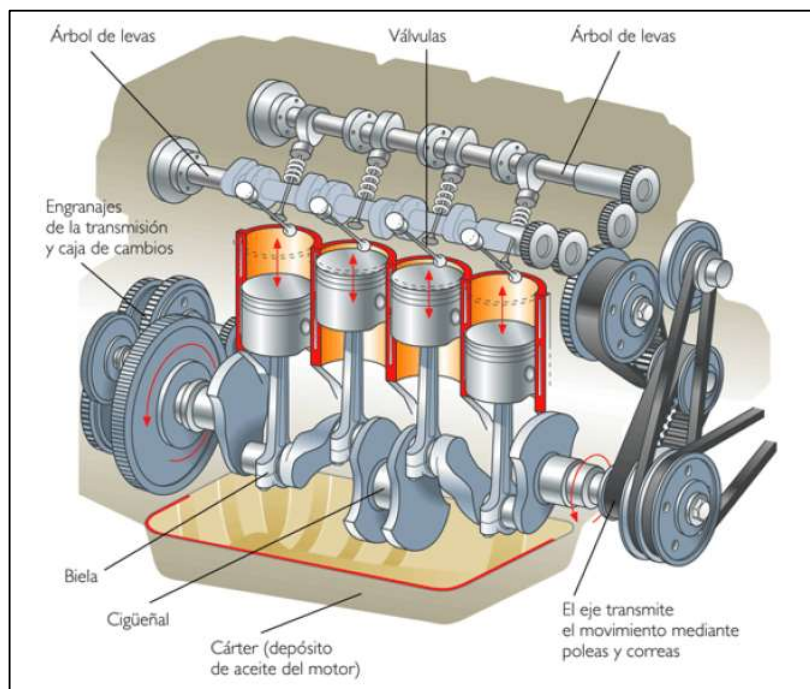


Gráfico 4. Representación gráfica del conjunto de un motor de gasolina
Fuente y elaboración: Oposiciones oficiales conductores de la junta de extremadura (tests)

En Ecuador, los requisitos mínimos que debe cumplir la gasolina para motores de combustión interna de encendido por chispa están establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 935.

Teóricamente, se requiere que la mezcla entre combustible y aire tenga una relación 1:14,8. En este sentido, en el caso de una mayor participación de combustible se denomina mezcla rica (p. ej.: 1:13) y mezcla pobre a una menor participación (p. ej.: 1:16). El rango de inflamabilidad para que el motor funcione está entre 1:7 y 1:17;

⁵ La alquilación es el proceso para la producción de un componente de gasolinas de alto octanaje. Al resultado de la síntesis se le denomina alquilado o gasolina alquilada.

es decir, por fuera del rango la mezcla no es capaz de encenderse.⁶ Además, con una mezcla pobre se produce una pérdida de potencia debido a la lentitud en la combustión, lo cual ocasiona un calentamiento en el motor; por su lado, la mezcla rica produce un aumento en componentes nocivos como resultado de no aprovecharse la proporción del combustible en la mezcla (Gerschler, y otros 1985, 256,90).

Para referencia, en la siguiente figura se presenta el ciclo Otto para un motor de cuatro tiempos, el cual comprende: (1) *admisión* de aire y combustible; (2) *compresión* de la mezcla; (3) *expansión* por explosión del combustible o ignición; (4) *escape* de gases.

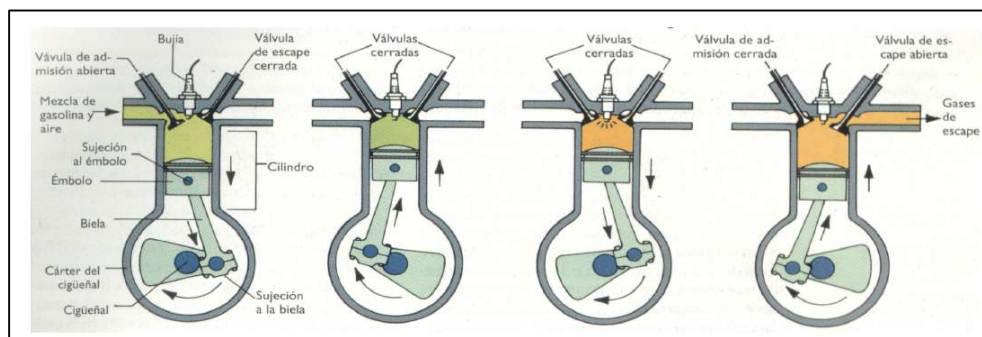


Gráfico 5. Los cuatro tiempos del ciclo Otto

Fuente y elaboración: Oposiciones oficiales conductores de la junta de extremadura (tests)

Al producirse la combustión en un automóvil, hay algo más que dióxido de carbono y agua como resultado. Los agentes contaminantes más importantes en la combustión son: (i) Monóxido de carbono debido a que la combustión es incompleta; (ii) Óxido de nitrógeno debido a la presión y la temperatura dentro del cilindro; (iii) Hidrocarburos no quemados durante la fase de la combustión (Castillo, y otros 2017).

El parámetro que determina directamente la calidad de la gasolina es el número de octano; a mayor número de octano habrá mayor aprovechamiento del combustible; siendo 91 para gasolinas normales y 97,4 para gasolinas superiores (Gerschler, y otros 1985). En lo que tiene que ver con el rendimiento del vehículo la presencia de azufre en el combustible contamina el sistema de distribución; es decir, su impacto tiene que ver con las emisiones de GEI producto de la ineficiencia del catalizador (ACEA, y otros 2013).

⁶ Únicamente para el arranque o encendido del motor, se requiere una mezcla extremadamente rica (1:3).

En la actualidad, este tipo de vehículos requieren aumentar su rendimiento energético y reducir las emisiones de CO₂. Para evitar que la eficiencia energética se contraponga con una mayor emisión de contaminantes, se debe desarrollar tecnologías para controlar y capturar los contaminantes a nivel del catalizador. Para esto, es prioritario mejorar el proceso de refinado que reduzca los niveles de azufre en la gasolina; para que, la captura de emisiones sea efectiva, disminuyendo de esa forma el consumo de combustible con la consecuente mejora en el rendimiento del vehículo (Blumberg, Walsh y Pera 2003, 15-6).

1.2. Vehículos impulsados con diésel

La constitución de un motor Diésel se diferencia de un motor tipo Otto por el hecho de que funcionan bajo principios diferentes. Los motores a diésel tienden a propiciar la combustión de la mezcla entre diésel y aire bajo compresión, sin necesidad de una bujía; sin embargo, esto implica que el motor debe soportar mayor presión y por ende es más robusto y pesado. Esquemáticamente, el motor de ciclo diésel es similar al motor de ciclo Otto, con la excepción de la bujía; esta particularidad requiere que la compresión del aire alcance presiones entre 30 y 55 bar, suficientes para producir temperaturas entre 700 y 900 °C y con ello el autoencendido del combustible. A continuación, se citan diferencias del cómo trabaja el motor diésel frente a motores Otto (Gerschler, y otros 1985, 327-8):

- En el motor diésel se aspira aire que se comprime fuertemente;
- El combustible se inyecta en el aire fuertemente comprimido. El motor diésel carece de carburador;
- El aire, fuertemente comprimido, está tan caliente que el combustible que se inyecta a la cámara de combustión se inflama espontáneamente (autoencendido);
- En el motor diésel se usan combustibles de difícil vaporización.

Así como el octanaje representa la calidad de la gasolina como combustible para el transporte, el número de cetano es el parámetro que determina la calidad del diésel. De la misma forma, a mayor número de cetano el diésel será de mayor calidad, lo que conlleva a aprovechar de mejor manera la energía proveniente de su combustión

(Conuee 2013). El cetano es una medida del comportamiento de encendido por compresión de un combustible diésel; niveles más altos de cetano permiten un encendido más rápido (ACEA, y otros 2013). Para ello, el número de cetano debe ser superior a 45 y la relación entre el diésel y el aire se estima teóricamente de 1:14,5 (Gerschler, y otros 1985).

En Ecuador, los requisitos mínimos que debe cumplir el diésel que se comercializa en el país para motores de combustión interna están establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489.

En lo que respecta al rendimiento del vehículo a diésel, el azufre es un compuesto importante que, aunque tiene la característica de proveer lubricidad al combustible, es preferible que se encuentre en bajas concentraciones en el diésel (Conuee 2013). Además, el que la combustión se realice de forma espontánea, hace que el motor a diésel sea más eficiente que el motor de ciclo Otto que usa gasolina, esto debido a la elevada compresión y en consecuencia un menor consumo específico de combustible; a esto se suma que, las propiedades de densidad y poder calórico del diésel están por encima de la gasolina (Gerschler, y otros 1985, 328).

Previamente, en los motores ciclo Otto, se hizo referencia a los principales agentes contaminantes producidos por un automóvil durante la combustión. Es importante señalar que, dichos agentes contaminantes también se presentan en los motores diésel; sin embargo, su diferencia radica en la proporción con la que se producen principalmente debido a: (i) contenido de carbono presente en el combustible; (ii) condiciones en las cuales se llega a inflamar el combustible; (iii) tecnología del catalizador del vehículo para tratamiento de agentes contaminantes; (iv) tipo de uso del vehículo así como la agresividad de conducción; (v) mantenimiento regular que se realice al vehículo (Querol, y otros 2016, 41-58).

En lo correspondiente al dióxido de carbono, en la sección 4 del capítulo tercero, se analizan dichas emisiones producidas por unidad de volumen utilizado respectivamente de gasolina y diésel. Además, si bien el diésel emite más dióxido de carbono que la gasolina, “la mayor eficiencia energética del motor diésel hace que esta diferencia sea casi insignificante en el uso real del motor” (Querol, y otros 2016, 40).

2. Alternativas tecnológicas de bajo impacto ambiental

En el presente estudio, se ha incorporado como referencias de alternativas tecnológicas de bajo impacto ambiental, a aquellas que mundialmente han sido presentadas y reconocidas como posibles soluciones para evitar los impactos ambientales producidos por vehículos impulsados con la quema de combustibles fósiles. En este sentido y a manera de síntesis, se exponen aquellas tecnologías que están emergiendo como amigables con el medio ambiente.

Vale indicar que, lo citado a continuación es información referencial toda vez que el propósito de la investigación se asocia a vehículos que producen GEI a partir de la quema combustibles fósiles y que se encuentran con mayor presencia en el Distrito Metropolitano de Quito. En este sentido, en el capítulo tercero, se identificará los vehículos a los que se evalúa el potencial de GEI.

2.1 Vehículos impulsados por biocombustibles

Los combustibles clásicos están compuestos por los derivados del petróleo, los cuales tienen un alto grado de emisión de CO₂ en la atmósfera. Por su parte, los biocombustibles están compuestos por distintos procesos industriales con biomasa en lugar del tradicional petróleo. “La biomasa es toda aquella materia orgánica disponible en el ámbito natural. Desde árboles en pie a hojas secas, desde ramas de una poda a los restos de diversos cultivos y cosechas” (Garabetyan 2017, 27).

Este tipo de combustibles han surgido con el fin de mitigar la emisión de CO₂ a la atmósfera, pues al contener carbono de origen vegetal, “no contribuyen a aumentar el efecto invernadero; ya que, la planta ha retirado previamente de la atmósfera el CO₂ que posteriormente emitirá el vehículo por el tubo de escape” (Ortiz 2010). Además, a más de representar una fuente potencial para promover las energías renovables, se orienta a abrir mercados alternativos para el sector de la agricultura (Serna, Barrera y Montiel 2011, 100).

Por ello, los vehículos que utilizan biocombustibles se convierten en una alternativa en pro de reducir los efectos de gases invernadero y de seguir contribuyendo al desarrollo de los países; puesto que, no se deja de contar con uno de los principales motores de desarrollo de las civilizaciones, como lo es el transporte a través de automóviles y motos.

Entre los principales biocombustibles están: el biodiesel y el bioetanol. El biodiesel “es un combustible que se obtiene por la reacción de transesterificación de un triglicérido obtenido de semillas oleaginosas (aceite de girasol, colza, soja...) con un alcohol en presencia de un catalizador (KOH) obteniéndose éster y glicerina” (Ortiz 2010, 29). Los vehículos que utilizan biodiesel tienen una reducción significativa de las emisiones contaminantes en la atmósfera.

El biodiesel “se elabora como producto de una reacción química denominada transesterificación, a partir de compuestos denominados lípidos que se encuentran en los aceites de diversas plantas como la soja, la palma o el girasol y se mezcla con diésel de petróleo para utilizarse en motores diésel” (Garabetyan 2017, 28). Esto crea un ciclo totalmente diferente al que se genera con los derivados del petróleo; logrando así, un equilibrio con el CO₂ de la atmósfera. Además, no emiten SO_x, “debido a que los ésteres presentan muy baja proporción de azufre en su composición química” (Ortiz 2010, 29).

En la siguiente gráfica se identifica el proceso que debe seguir para obtención del aceite para la fabricación del biodiésel. Una vez obtenido el aceite refinado, como ya se mencionó, se lo hace reaccionar con un alcohol monovalente como el metanol para que se transforme en éster; del cual después de la transesterificación resultará en ésteres metílicos o biodiésel (IICA, Arpel 2009).

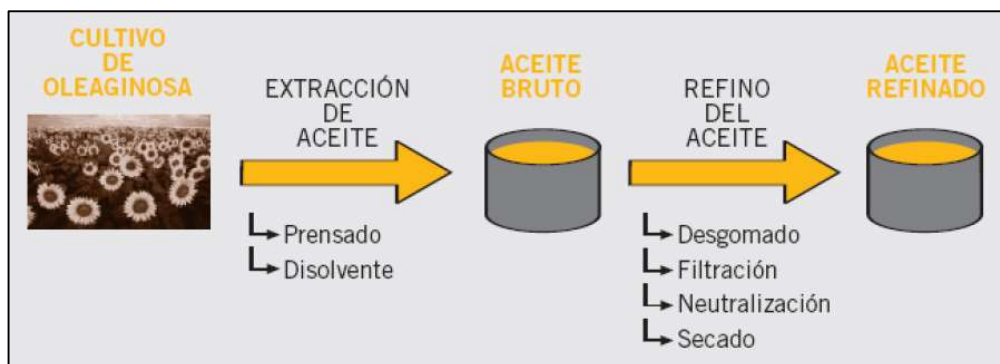


Gráfico 6. Esquema del proceso productivo del aceite refinado

Fuente y elaboración: IICA

El bioetanol, por otro lado, es producido a partir de la fermentación de “azúcares y otros hidratos de carbono, que se produce en ausencia de oxígeno. Actualmente se lo obtiene a partir del maíz o la caña de azúcar, dos elementos ideales para generar esta opción; y, se mezcla con la nafta u otro combustible tradicional para utilizarlo en los motores actuales, sin que necesiten modificaciones significativas”

(Garabetyan 2017, 28). El etanol, por su parte, tiene “un alto grado de solubilidad y miscibilidad con la nafta y tiene un importante índice de octanaje por lo que no deteriora la calidad de los combustibles para su uso en motores” (Garabetyan 2017, 28). Dicho de otra manera, el bioetanol es “alcohol de alta pureza producido mediante fermentación y posterior destilación a partir de cultivos ricos en azúcares o almidón como la remolacha, caña de azúcar, los cereales o maíz” (Ortiz 2010, 30). Para que el motor de un vehículo pueda utilizar este combustible, es necesario que el motor sufra varias adecuaciones.

Al respecto de los biocombustibles, hasta aquí se ha dicho que son amigables con el medio ambiente; ya que, promueven dejar a un lado la dependencia de los derivados del petróleo. Además, como ventaja se indica que el CO₂ que se agrega a la atmosfera, proviene de las plantas, las cuales han capturado CO₂ en sus procesos de fotosíntesis (Garabetyan 2017, 29).

Sin embargo, vale mencionar que, esta alternativa ambientalmente amigable también presenta desventajas que pueden asociarse al cambio en el uso de suelo y al manejo del agua. Entre las desventajas se encuentran, por ejemplo, el aceleramiento de la deforestación y que exista una baja producción agrícola con fines alimenticios con los correspondientes efectos adversos que estos ocasionarían (Serna, Barrera y Montiel 2011, 101).

En el Ecuador se fomenta el uso de biocombustibles producidos a partir de la caña de azúcar, desde el 2010 mediante el programa ECOPAÍS (Páez 2016, 16); sin embargo, su distribución para uso en vehículos no se la realiza en el DMQ (EC Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador 2019, 16). Finalmente, los requisitos mínimos que debe cumplir la gasolina que se preparen con etanol para motores de combustión interna de encendido por chispa, están establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 935.

2.2. Vehículos impulsados por hidrógeno

El hidrógeno es una forma secundaria de energía, la cual se puede conseguir tanto de fuentes no renovables, a partir de los combustibles fósiles; como de fuentes renovables, con la energía eólica y solar. Los vehículos impulsados por hidrógeno, además, se diferencian con los vehículos hasta ahora tradicionales, con el motor. Los vehículos impulsados con derivados de petróleo lo hacen a través de un motor a

combustión; mientras que, los de hidrógeno lo hacen mediante uno eléctrico. “Los vehículos eléctricos de hidrógeno combinan elementos de ambos: también tienen un motor eléctrico pero la electricidad que alimenta al motor viene de celdas de combustible de hidrógeno, también llamadas *fuel cells*” (Clarke 2017, 15).

Esto genera una gran ventaja, pues “su utilización es que su combustión en el interior del motor produce solamente agua (más N₂ y NO_x si se quema con aire); ya que, no hay carbono en el combustible” (Ortiz 2010, 31). Siendo un avance tecnológico-ambiental, si lo comparamos con los motores tradicionales; ya que, “las *fuel cells* o celdas de combustible suministran un voltaje externo mediante una reacción química, solo que el sistema se alimenta de hidrógeno y oxígeno en lugar de gasolina” (Clarke 2017, 16).

El proceso de generación de electricidad en los vehículos a hidrógeno se basa en la reacción del hidrógeno con el oxígeno a través de una pila de combustible, en la cual se genera la energía eléctrica y el agua evaporada. Esto permite mitigar al principal contaminante tradicional usado en vehículos, la gasolina, que emite GEI, por unos motores que proveerán a la atmósfera vapores de agua a través del proceso interno, donde “los iones positivos de hidrógeno se combinan con el oxígeno para formar agua, que sale de la celda de combustible en estado de vapor” (Clarke 2017, 16); ese vapor es el que sale por el tubo de escape hacia el ambiente. A más de reducir las emisiones al ambiente, otra de las ventajas resultantes de utilizar al hidrógeno en la movilidad es que, se optimiza el aprovechamiento de la energía (Bennaceur, y otros 2005, 38). Una forma de sintetizar el procedimiento de esta clase de vehículos es el siguiente:

1. El hidrógeno almacenado en los tanques abastece la pila de combustible.
2. Se inyecta aire (oxígeno) a las celdas de combustible que conforman la pila.
3. La reacción del oxígeno del aire y el hidrógeno almacenado dentro de las celdas genera tanto electricidad como agua.
4. La electricidad producida alimenta la batería, la cual a su vez abastece al motor.
5. El agua sobrante se expulsa mediante el sistema de escape (Otero 2018).

Un aspecto importante de esta clase de vehículos es que su carga es equivalente a la de un vehículo tradicional, el cual necesita gasolina o diésel, menos de 5 minutos. El Mirai, auto japonés de la marca Toyota que significa futuro, lanzado por primera vez en 2014, es uno de los principales referentes en esta nueva clase de movilidad y actualmente se carga en 3 minutos. Según las especificaciones mostradas en la página de la empresa del auto del Futuro, este se vale de hidrógeno para generar electricidad

y emite únicamente agua, lo cual aseguran que tiene un impacto medioambiental mínimo (Toyota 2019, párr. 2). Es un mercado prácticamente nuevo; ya que, hasta 2017 se estimaron un total de 6.500 vehículos vendidos a nivel mundial.

Al inicio de lo expuesto para vehículos propulsados con hidrógeno, se mencionó que esta alternativa es una forma secundaria de energía, lo que se debe a que la molécula de hidrógeno no existe en altas concentraciones en la naturaleza; por consiguiente, la tecnología que se desarrolle debe orientarse a su obtención a partir de agua o de hidrocarburos principalmente (Bennaceur, y otros 2005, 38). De aquí que, una de las desventajas se asocia al alto consumo de energía en el proceso para obtención de hidrógeno; además, al ser un gas inoloro, la detección de fugas requiere que el gas sea tratado con aditivos o desarrollar sensores que permita tal objetivo (Guerra, Almansa y Ferrera 2010, 26-7).

2.3. Vehículos impulsados por energía eléctrica

La energía eléctrica es uno de los principales suministros de energía a nivel mundial. Es un recurso que, si se lo genera a partir de fuentes renovables, tiene impactos ambientales mínimos. Las hidroeléctricas, por ejemplo, son el principal recurso de generación eléctrica en el Ecuador (EC Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2019). “La electricidad se ha convertido en la divisa más habitual cuando nos referimos a la utilización de energía. Podríamos decir que es el euro o el dólar de las energías; es la referencia cualitativa y cuantitativa de las transformaciones energéticas” (Boranat y García 2011, 80). Por ello, y siguiendo con la generación de movilidad alternativa, se encuentran los vehículos impulsados por energía eléctrica.

A diferencia de lo que se puede creer, los vehículos eléctricos fueron inventados casi a la par de los vehículos a combustión (Moreno 2016, 118). Sin embargo, por el gran protagonismo que tuvieron los segundos es que los primeros quedaron rezagados y casi anulados de la historia. En la actualidad se llegó incluso a pensar que son nuevos.

Estos vehículos son impulsados por un motor eléctrico. “Se denomina vehículo eléctrico a aquel que está impulsado únicamente por un motor” (Sanz Acebes 2011, 392). El motor es la base principal para realizar el cambio tecnológico. “La utilización del motor eléctrico es uno de los verdaderos puntales para promover el cambio

tecnológico, ya que es un sistema motriz que consigue dar par (potencia) sin emitir ningún tipo de residuo” (Boranat y García 2011, 38). Si se encontrara adaptado otro motor, entonces sería un vehículo híbrido.

El vehículo eléctrico con batería recargable “consta de un motor eléctrico unido a la transmisión y de una batería, generalmente de iones de litio, que se recarga conectándola a la red. En la mayoría de estos automóviles se monta un pequeño motor térmico que genera electricidad para aumentar la autonomía” (Sanz Acebes 2011, 392). Además, estos vehículos disponen de un freno regenerativo; es decir, al frenar bajando una pendiente o en una maniobra, el motor pasa a funcionar como generador para recargar la batería en un pequeño porcentaje; por lo tanto, esta es otra razón que lo hace más eficiente que las alternativas de movilidad que quemar combustibles fósiles (Moreno 2016, 124).

Los vehículos eléctricos, además cuentan con su mayor desafío en la duración de las baterías “la batería de litio con un peso de 150 a 200 kg, puede dar una autonomía al vehículo de entre 50 y 100 km de recorrido y se recarga totalmente en tres o cuatro horas cuando se conecta a 230 V. También es posible efectuar recargas parciales, el 80 % de la carga se puede obtener en 20 o 30 minutos con una conexión de 400 V” (Sanz Acebes 2011, 392). Por esta razón, los ingenieros han tratado de darle mayor durabilidad a este mecanismo de movilidad, para alejarse del motor de combustión interna con el cual cuentan los vehículos híbridos.

Esto se convierte en el principal problema de los vehículos eléctricos, pues cuentan con poca autonomía. “De momento, el vehículo eléctrico podrá tener buenos resultados en desplazamientos urbanos, pero no está preparado para hacer un desplazamiento interurbano” (Boranat y García 2011, 29). El avance tecnológico prevé solucionar este inconveniente, con rangos de autonomía superiores a 400km y redes de carga rápida en países desarrollados (Tesla 2020, párr. 4). A pesar de ello, para una movilidad urbana donde los desplazamientos promedios varían entre 60 y 70 km dependiendo del país y de la ciudad, resulta ser una alternativa urbano viable.

Un tema pendiente en la movilidad eléctrica y que no se ha abordado, es que las industrias y los gobiernos deben adaptar respectivamente sus procesos y las exigencias legales de mercado, para gestionar las baterías después de su vida útil y disposición final. Entre las alternativas se encuentra el que se procesen los materiales a través del reciclaje; para lo cual, se debe contemplar que los principales materiales

que se pueden recuperar de una batería son el níquel, cobalto, carbonato de litio y chatarra de metales ferrosos (Comisión para la Cooperación Ambiental 2015, 44).

3. Emisiones de GEI por la quema de combustibles en la movilidad

3.1 Metodologías estándar para determinar GEI

Para cuantificar los gases de efecto invernadero (GEI) ocasionados por las actividades antropogénicas, el IPCC ha establecido metodologías que permiten tener una aproximación cuantitativa al respecto de estas emisiones en términos de toneladas de CO₂. Dichas metodologías se encuentran detalladas en las publicaciones: (i) Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996; y, (ii) Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Estas últimas consideran respectivamente a los siguientes sectores⁷:

- Energía;
- Procesos industriales y uso de productos (IPPU);
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU);
- Desechos.

Las metodologías citadas previamente, permiten que los distintos países cuantifiquen sus gases de efecto invernadero, con el fin de que dichas emisiones sean reportadas a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático mediante comunicaciones nacionales. Además, en lo correspondiente al ámbito energético, se basan en el conocimiento detallado de las cantidades que se producen, se transforman y se consumen de las distintas fuentes de energía; información que los países lo publican en los balances nacionales de energía.

Por otra parte, a nivel de ciudades, se ha establecido el Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC por sus siglas en inglés), el cual guarda relación con la metodología del IPCC respecto a la cuantificación de emisiones. Sin embargo, una diferencia radica en cuanto a los sectores, los cuales corresponden a:

⁷ Las Directrices del IPCC de 2006 consiste en cinco volúmenes publicados por el IPCC. El primero corresponde a términos generales y los cuatro siguientes para el análisis de emisiones de GEI en los distintos sectores clasificados por el IPCC.

- Energía estacionaria;
- Transporte;
- Residuos;
- Procesos industriales y uso de productos (Industrial processes and product use, IPPU);
- Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (Agriculture, forestry, and other land use, AFOLU);
- Cualquier otra emisión que se produce fuera del límite geográfico como resultado de actividades de la ciudad.

En este contexto, el Gobierno del Ecuador presentó en mayo de 2017 la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la cual cuenta con un apartado relacionado al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012, realizado con la aplicación de las directrices del IPCC revisadas en 1996 (EC Ministerio del Ambiente 2017). Se tiene previsto que en la Cuarta Comunicación Nacional del Ecuador se aplique las Directrices 2006 del IPCC. Por su parte, el GAD DMQ, publicó en 2016 el “Inventario huella de carbono sectores: energía estacionaria, transporte y residuos, año base 2015”, en base a la metodología establecida por el GPC y que responde a los compromisos que tiene el DMQ al encontrarse adherido a la declaración C40 antes mencionada (EC Secretaría de Ambiente del DMQ 2016a).

Para efectos del presente estudio, los resultados del inventario a nivel de la ciudad de Quito citados al final del capítulo primero, serán utilizados de manera referencial para contrastar los cálculos que se realicen más adelante en el capítulo tercero, en el cual se puntualiza lo inherente a las opciones de movilidad en el DMQ.

3.2. Metodologías para cuantificar GEI por la quema de combustibles

En la presente sección, se indica brevemente los pasos a seguir para cuantificar adecuadamente las emisiones de GEI por la quema de combustibles fósiles en la movilidad. Para esto se aplican las “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”, específicamente para Combustión Móvil y Método de Referencia del Volumen inherente a Energía. A manera de síntesis, el

IPCC determina que las emisiones se pueden establecer conceptualmente a partir de la siguiente expresión:

Recuadro 1

Expresión básica para determinar las emisiones de GEI

$$\text{Emisión} = \text{Dato de actividad} * \text{factor de emisión}$$

Fuente y elaboración: IPCC

El IPCC, para analizar al transporte, indica que metodológicamente:

Requiere más trabajo para subsanar muchas brechas existentes en el conocimiento de las emisiones procedentes de ciertos tipos de vehículos y de los efectos del envejecimiento sobre el control catalítico de las emisiones producto de los vehículos terrestres”; además, identifican la necesidad de información inherente a los factores de emisión adecuados para países en desarrollo. (IPCC 2006, 3.8).

La cuantificación de emisiones se realiza siguiendo dos métodos que permiten comprobar la consistencia de los resultados: (i) El primero, denominado Método de Referencia (top-down), se aplica únicamente para estimar las emisiones de dióxido de carbono, cuantificadas a un nivel agregado; (ii) El segundo, llamado Método por Actividad (bottom-up), el cual permite obtener, además del CO₂, las emisiones de otros gases de efecto invernadero.

El *método de referencia* divide el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la combustión de combustibles en 5 pasos (IPCC 2006):

1. Estimación del consumo aparente de combustibles en unidades originales.
2. Conversión a unidad común de energía.
3. Calcular el contenido de carbono.
4. Calcular el carbono excluido.
5. Corregir el carbono sin oxidar y convertir en emisiones de CO₂.

De aquí que, para sintetizar el método de referencia, las emisiones de CO₂ se determinan con la aplicación de la siguiente expresión:

Recuadro 2

Método de referencia para cuantificar emisiones de CO₂

$$CO_2\text{emitido} = (\text{Contenido de C oxidado}) * 44/12$$

$$CO_2\text{emitido} = (\text{Contenido de C} - \text{C no oxidado} - \text{C excluido}) * 44/12$$

Fuente y elaboración: IPCC

En lo que corresponde al *método por actividad* para ser utilizado en el transporte terrestre, como objeto del presente estudio, el IPCC señala que las emisiones pueden estimarse a partir del combustible consumido o por la distancia recorrida por los vehículos, siendo el primero el mejor para identificar el CO₂ y el segundo para calcular el CH₄ y N₂O. Al respecto de la fracción de carbono sin oxidar, se estima que en la quema de combustibles suele ser pequeña y en muchos casos insignificante; es decir, de un 99 a 100 % del carbono se oxida (IPCC 2006, 1.21,3.12).

Para cuantificar el CO₂ resultante en la movilidad, para cada combustible utilizado se multiplica su cantidad en unidades comunes por el factor de emisión correspondiente. De allí que, para sintetizar el método por actividad, las emisiones de CO₂ se determinan con la aplicación de la siguiente expresión:

Recuadro 3

Método por actividad para determinar el CO₂ en la movilidad

$$\text{Emisión} = \sum_a [\text{Combustible}_a \times EF_a]$$

Donde:

Emisión	= emisiones de CO ₂ (kg)
Combustible _a	= combustible vendido (TJ)
EF _a	= factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.
a	= tipo de combustible (p. ej., gasolina, diésel, gas natural, GLP, etc.)

Fuente y elaboración: IPCC

Es importante considerar que, el factor de emisión de CO₂ incorpora todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO₂, CH₄, CO, COVDM (compuestos orgánicos volátiles distintos del metano) y materia particulada. Además, dentro de los niveles de aproximación del IPCC para estimar el CO₂ en el transporte terrestre, únicamente existen Nivel 1 (Tier 1) y Nivel 2 (Tier 2), con la única diferencia que, en el Nivel 2 se utiliza el contenido de carbono específico del país de donde proviene el combustible (IPCC 2006, 3.12).

Para cuantificar el CH₄ y N₂O de los vehículos terrestres, se debe tomar en cuenta que su exactitud es difícil de estimar debido a que los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y de las condiciones de uso. Dicho esto, hay tres métodos alternativos: uno se basa en los kilómetros recorridos por el vehículo (Tier 3) y dos en el combustible consumido (Tier 1 y 2) (IPCC 2006, 3.12-3.16). A continuación, se presentan las 3 metodologías de este cálculo, de las cuales para el presente estudio se seleccionó el nivel de aproximación Tier 1:

Recuadro 4
Método por actividad para determinar el CH₄ y N₂O en la movilidad

Nivel de aproximación	Metodología de cálculo
1 (Tier 1)	$Emisión = \sum_a [Combustible_a \times EF_a]$ <p>Donde:</p> <p>Emisión = emisiones en kg Combustible_a = combustible consumido (TJ) EF_a = factor de emisión (kg/TJ). a = tipo de combustible.</p>
2 (Tier 2)	$Emisión = \sum_{a,b,c} [Combustible_{a,b,c} \times EF_{a,b,c}]$ <p>Donde:</p> <p>Emisión = emisiones en kg Combustible_{a,b,c} = combustible consumido para una actividad de fuente móvil dada (TJ) EF_{a,b,c} = factor de emisión (kg/TJ). a = tipo de combustible. b = tipo de vehículo. c = tecnología de control de emisiones (como conversor catalítico no controlado, etc.).</p>
3 (Tier 3)	$Emisión = \sum_{a,b,c,d} [Distancia_{a,b,c,d} \times EF_{a,b,c,d}] + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d}$ <p>Donde:</p> <p>Emisión = emisiones en kg Distancia_{a,b,c,d} = distancia recorrida (KRV) durante la fase de funcionamiento térmicamente estabilizado del motor, para una actividad de fuente móvil dada (km) EF_{a,b,c,d} = factor de emisión (kg/km). C_{a,b,c,d} = emisiones durante la fase de calentamiento (arranque en frío) (kg) a = tipo de combustible b = tipo de vehículo c = tecnología de control de emisiones (como conversor catalítico no controlado, etc.) d = condiciones de funcionamiento (p. ej., tipo de carretera urbana o rural, clima, u otros factores ambientales)</p>

Fuente: IPCC

Elaboración propia

Lo dicho en esta sección, permite identificar a los GEI más representativos resultantes de la quema de combustibles fósiles en la movilidad. En particular, se indica que no todos los GEI tienen el mismo impacto en la atmósfera para el efecto invernadero; por ello, el índice de Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés)⁸ permite identificar, entre otros gases, al óxido nitroso y al metano en términos del dióxido de carbono conforme se indica en la tabla 7 (IPCC 2015, 95):

Tabla 7
Potencial de calentamiento global

GEI	GWP para 100 años
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265

Fuente: IPCC
Elaboración propia

Si bien, el CH₄ y N₂O tienen un mayor impacto en términos unitarios de GWP, es importante señalar que, el CO₂ es el gas que mayoritariamente se emite durante la combustión. Además, considerando que el GWP permite identificar a los distintos contaminantes atmosféricos en términos de CO₂, de esa forma pueden ser sumados, dando como resultado las emisiones en términos de CO₂eq. Se debe añadir que los valores citados en la tabla 7, han variado en los distintos informes de evaluación del IPCC y que para la presente investigación se tomó como referencia al quinto informe publicado en 2015.

Al respecto de las propiedades de los combustibles utilizados en la movilidad; a continuación, se citan los factores de emisión, la fuente, entre otros. Dicha información corresponderá a los cálculos que se realice en el capítulo tercero:

Tabla 8
Características energéticas y de emisiones para el diésel y gasolina

Combustible	Poder calórico Neto (TJ/Gg)	Densidad (t/m ³)	EF (kgCO ₂ /TJ)	EF (kgN ₂ O/TJ)	EF (kgCH ₄ /TJ)
Diésel	41,8 (1)	0,88 (3)	74.100 (2)	3,9 (2)	3,9 (2)
Gasolinas	42,5 (2)	0,75 (3)	69.300 (2)	3,2 (2)	33 (2)

⁸ Índice que mide el forzamiento radiativo después de la emisión de una unidad de masa de cierta sustancia, acumulada en un horizonte de tiempo elegido, en relación con el causado por la sustancia de referencia, dióxido de carbono (IPCC 2015, 135-6).

Referencias:

- (1) Factor de emisiones del Sistema Nacional Interconectado 2018 (Información de EP PETROECUADOR).
- (2) Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Volumen 2 “Energía”, Cuadro 1.2 (Valor calórico inferior de los intervalos de confianza del 95 %); Cuadro 3.2.1 (factores de emisión por defecto para CO₂) y Cuadro 3.2.2 (factores de emisión por defecto para N₂O y CH₄).
- (3) Manual de Estadística Energética 2017 – Olade. Para los cálculos de conversión: un metro cúbico equivale a 264,172 galones; una tonelada equivale a 1000 kilogramos.

Fuente: IPCC, Olade, Petroecuador EP
Elaboración propia

En Ecuador, mediante el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017, se establecen los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres que empleen motores a gasolina o diésel; así como, los límites máximos de emisiones permitidos. Este reglamento se aplica de forma obligatoria en el país desde agosto de 2008 y a la fecha de esta publicación se encuentra en etapa de notificación su proyecto de actualización.

Capítulo tercero

Desarrollo de la investigación y resultados

En la planificación de esta investigación, se tuvo previsto como factor fundamental para el análisis, *levantar información oficial respecto al sector transporte de la ciudad de Quito*; y, con ello dar respuesta a los objetivos de la investigación: (i) determinar las preferencias de movilidad de los habitantes de Quito (identificar los vehículos tipo); (ii) calcular las emisiones de GEI asociadas a las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

Como se vio en la sección 3 del capítulo primero, el transporte motorizado es el principal medio de movilidad en el DMQ; el cual mayoritariamente es suplido por transporte público respecto al número de viajes que se realizan diariamente. En esta sección se prevé exponer ordenadamente la información consultada con el fin de sintetizarla y homogeneizarla para los cálculos correspondientes; y, de ser necesario, realizar estimaciones sobre la información faltante.

Entre las fuentes de información consultadas, se realizó un análisis del Anuario de Estadística de Transporte 2018 (ANET), publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y del Anuario 2018, publicado por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.

1. Identificación de las opciones dominantes de movilidad en el DMQ

Para determinar los vehículos mayoritariamente utilizados en el DMQ (vehículo tipo), es necesario: (i) analizar fuentes de información al respecto de los procesos de matriculación vehicular tanto para la provincia de Pichincha como para la ciudad de Quito, esto para contrarrestar los resultados que se vayan obteniendo en primera parte; (ii) identificar los fabricantes de vehículos y modelos mayoritariamente utilizados para los siguientes tipos de transporte: automóviles, motocicletas y jeeps (SUVs). De acuerdo con el Balance Energético Nacional 2018, estos medios de transporte conforman el tipo de vehículo de pasajeros individual (EC Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2019, 31), propósito del presente estudio.

Por otra parte, a diferencia del análisis previsto para vehículos pequeños, en el cual es prioritario obtener y analizar información de matriculación vehicular; en lo correspondiente al servicio público de transporte (buses), se analiza información provista por la Secretaría de Movilidad del DMQ al respecto de consumo promedio de combustibles. Esto debido a que dicha institución coordina el sistema y dispone de información asociada a rutas, combustibles y otros.

Tabla 9
Vehículos motorizados matriculados en Pichincha según tipo de combustible y clase de vehículo, año 2018

Clase de vehículo	Tipo de combustible						Total
	Diésel	Eléct.	Glp	Gasolina	Híbrido	Otros	
Autobús	6.093			92		1	6.186
Automóvil	694	58	38	207.755	3.339	48	211.932
Camión	20.658			632		1	21.291
Camioneta	24.070	4	7	60.842	19	22	84.964
Furgoneta	7.555			7.437	1	3	14.996
Motocicleta	4	1	4	54.204		1	54.214
Otra clase	1.299			338		1	1.638
Suv	2.183	29	9	135.214	1.022	26	138.483
Tanquero	722			9			731
Tráiler	3.252			19			3.271
Volqueta	3.058			62		1	3.121
Total	69.588	92	58	466.604	4.381	104	540.827

Fuente: INEC

Elaboración propia

Tabla 10
Vehículos motorizados matriculados domiciliados en Quito según tipo de combustible y clase de vehículo, año 2018

Clase de vehículo	Tipo de combustible						Total
	Diésel	Elect.	Glp/GN	Gasolina	Híbrido	Otros	
Autobús	5.078			79		1	5.158
Automóvil	597	58	38	192.363	3.223	54	196.333
Camión	18.564			1.633		1	20.198
Camioneta	27.599	2	7	55.579	17	25	83.229
Especial	4.159			434		1	4.594
Motocicleta	3	1	4	45.335		3	45.346
Suv	2.250	26	9	125.963	983	32	129.263
Tanquero	17						17
Tráiler	294			1			295
Unicarga y remolque	2.278			16			2.294
Volqueta	237			2			239
Total	61.076	87	58	421.405	4.223	117	486.966

Fuente: ANT

Elaboración propia

De las tablas 9 y 10, se infiere aquellas clases de vehículos que, por su número, se los identifica circulando mayoritariamente en el DMQ. Además, si bien las camionetas no estaban consideradas en el alcance de la investigación, en esta sección se las incluye, debido a que su número se ubica en tercer lugar, por encima de las motocicletas.

Por otra parte, se evidencia la presencia de vehículos eléctricos e híbridos circulando en el DMQ, como alternativas tecnológicas de bajo impacto ambiental. Este tipo de movilidad no es de forma mayoritaria en el DMQ, pero sí con un número representativo.

De igual manera, se debe resaltar que la tabla 10 corresponde a vehículos motorizados matriculados en el Ecuador cuyos propietarios se encuentran domiciliados en Quito; es decir, con ayuda de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) se obtuvo información del DMQ que permite reducir la incertidumbre de las aproximaciones que se realizan.

Las bases de datos consultadas refieren a vehículos que efectivamente fueron matriculados en 2018, quedando exceptuados del estudio aquellos que no; es decir, existirá un grado de incertidumbre al respecto de los resultados que se obtengan. Sin embargo, dicha incertidumbre no afecta al estudio y se podría considerar que es casi nula y dentro de los rangos aceptables; toda vez que, el análisis corresponde al uso de la estadística inferencial, con la cual se obtendrá la tendencia de la población a partir de una muestra representativa (Mendenhall, Beaver y Beaver 2010, 5).

Al respecto de la venta de vehículos en la provincia de Pichincha, previamente se comentó que en el 2018 se comercializaron 52.894 vehículos, conforme al detalle indicado más adelante. Para dicho año, los cinco modelos más vendidos en Pichincha fueron: Chevrolet Sail con 2.988 unidades; Chevrolet Aveo 1.5L STD con 2.718 unidades; Kia Río 4P Sedan con 2.062 unidades; Kia Sportage R 2.0L GSL MT AC con 1.482 unidades; y, Chevrolet Spark GT AC 1.2 5P 4X2 TM con 1.223 unidades (Aeade 2019). Esta información se la expone de forma referencial, debido a que no se garantiza que un vehículo comercializado en Pichincha necesariamente circula en dicha provincia.

Tabla 11
Venta de vehículos en Pichincha por segmento - En unidades, período 2015-2018

Clase de vehículo	2015	2016	2017	2018
Automóviles	11.716	10.486	17.776	22.578
SUV	10.185	7.571	14.804	18.972
Camionetas	5.462	3.645	4.890	6.582
Camiones	2.979	1.391	1.905	2.603
Van	1.503	901	1.035	1.604
Buses	721	562	617	555
Total	32.566	24.556	41.027	52.894

Fuente y elaboración: Aeade

2. Análisis en vehículos de pasajeros individual

En esta sección se presenta el proceso sistemático realizado para identificar el vehículo “tipo”; así como, el recorrido promedio anual, conforme corresponda para cada clase de vehículo. Además, se hace referencia a las bases bibliográficas que detallan el rendimiento promedio del vehículo.

2.1. Identificación del vehículo “tipo”

El vehículo “tipo” corresponde a la categoría de los automóviles, jeeps, camionetas y motocicletas mayoritariamente matriculados y domiciliados en Quito. En primera parte, se identifica por clase dentro de la categoría indicada, posteriormente por marca de los vehículos con más presencia; y, finalmente el modelo específico más utilizado. Esto conforme a la base de datos de la ANT.

Con ello se revisa la información técnica para el modelo más utilizado a fin de determinar el rendimiento del combustible bajo los parámetros de distancia recorrida por volumen de combustible consumido, expresado en kilómetros por galón (km/gal). En las tablas 12, 13, 14 y 15 se señala lo correspondiente para cada tipo de vehículo en análisis:

Tabla 12

Ranking de los modelos de automóviles con mayor presencia en Quito

Marca	Modelo	Vehículos matriculados domiciliados en Quito
Chevrolet	Aveo	33.337
Chevrolet	Sail	15.806
Chevrolet	Spark	11.071
Kia	Rio	9.279
Nissan	Sentra	8.163
Chevrolet	Corsa	7.621
Hyundai	Accent	7.098
Volkswagen	Gol	6.071
Renault	Logan	5.001
Kia	Picanto	4.816

Fuente: ANT

Elaboración propia

Considerando la tabla 12, el vehículo “tipo” para automóviles corresponde al Chevrolet de la serie Aveo Family Std 1.5 4P 4X2 TM, de motor a gasolina con un total de 12.123 unidades matriculadas y domiciliadas en el DMQ. A manera de contrarrestar la información del Aeade con la de ANT, se identifica que dicho modelo se encuentra entre los cinco más vendidos en 2018. Este modelo tiene un rendimiento de 8,5 km/lt (32,18 km/gal) en ciudad, 15 km/lt (56,78 km/gal) en carretera y 11,75 km/lt (44,48 km/gal) en rendimiento combinado (Opinautos 2020, párr. 3).

Además, es importante considerar que los automóviles tienen también la particularidad de que una fracción es utilizada para el servicio de transporte tipo taxi. Es decir, cuando se analice el recorrido promedio anual, es fundamental discriminar aquellos vehículos utilizados por los hogares de los usados para el servicio de transporte tipo taxi.

Por otra parte, el vehículo “tipo” para automóviles resulta ser también el vehículo con mayor presencia en la ciudad. Esto se concluye al comparar con los resultados de los modelos de vehículos más utilizados en jeeps (SUV), camionetas y motocicletas, citadas a continuación.

Tabla 13
Ranking de los modelos de jeeps con mayor presencia en Quito

Marca	Modelo	Vehículos matriculados domiciliados en Quito
Chevrolet / Suzuki	Grand Vitara	36.108
Kia	Sportage	12.786
Hyundai	Tucson	9.563
Nissan	X-Trail	5.949
Toyota	Fortuner	4.668
Ford	Explorer	3.268
Toyota	Land Cruiser	2.968
Hyundai	Santa Fe	2.416
Suzuki	Scross	1.410

Fuente: ANT
 Elaboración propia

Considerando la tabla 13, el vehículo “tipo” para jeeps (SUV) corresponde al Chevrolet / Suzuki de la serie Grand Vitara SZ 2.0L 5P TM 4X2, de motor a gasolina, con un total de 9.393 unidades matriculadas y domiciliadas en el DMQ. Este modelo tiene un rendimiento de 28,00 km/gal en ciudad, 46,00 km/gal en carretera y 37,00 km/gal en rendimiento combinado (Placervial 2020, párr. 6). Para estos vehículos, la variedad es más extensa debido al cilindraje, transmisión y tracción principalmente.

Tabla 14
Ranking de los modelos de camionetas con mayor presencia en Quito

Marca	Modelo	Vehículos matriculados domiciliados en Quito
Chevrolet	Luv / Luv D-max	27.466
Mazda	BT-50	10.052
Toyota	Hilux	9.199
Ford	F 150	2.648
Nissan	Frontier	2.366

Fuente: ANT
 Elaboración propia

Considerando la tabla 14, el vehículo “tipo” para camionetas corresponde al Chevrolet de la serie Luv D-max 3.0 4X4 TM, de motor a diésel con un total de 7.455 unidades matriculadas y domiciliadas en el DMQ. Este modelo tiene un rendimiento de 34,41 km/gal en ciudad, 47,32 km/gal en carretera y 40,87 km/gal en rendimiento combinado (Placervial 2020, párr. 8). Al igual que lo presentado en los jeeps; para

estos vehículos la variedad es más extensa debido al cilindraje, transmisión y tracción principalmente.

Tabla 15
Ranking de los modelos de motocicletas con mayor presencia en Quito

Marca	Modelo	Cilindraje (CC)	Vehículos matriculados domiciliados en Quito
Honda	XR 250 Tornado	250	2.660
Suzuki	Gn 125	125	2.172
Bajaj	Pulsar 200	200	1.939
Suzuki	Gsx 150	155	1.075
Bajaj	Pulsar 135	135	653
Motor uno	Fx 200	200	411
Yamaha	Fz 16	160	406

Fuente: ANT
Elaboración propia.

Considerando la tabla 15, el vehículo “tipo” para motocicletas corresponde a la marca Honda de la serie XR 250 Tornado, de motor a gasolina de 0,25 lt, con un total de 2.660 unidades matriculadas y domiciliadas en el DMQ. Este modelo tiene un rendimiento promedio de 265 km en 11,5 lt, equivalente a 87,23 km/gal (Motos 0km 2020, párr. 13).

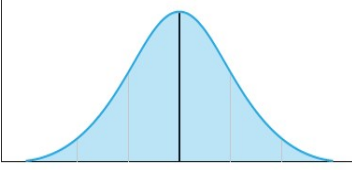
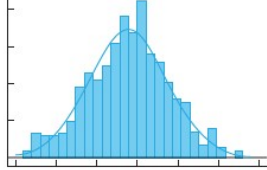
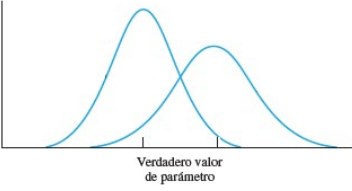
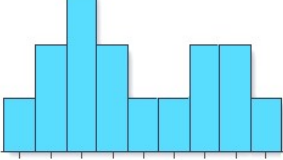
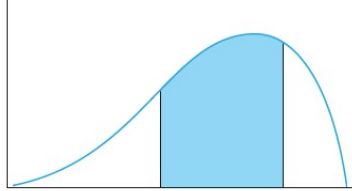
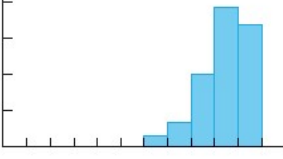
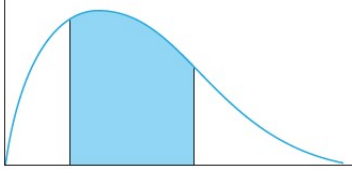
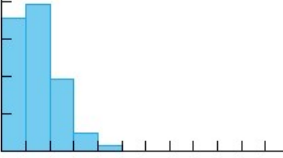
2.2. Recorrido promedio anual

Una vez que se dispone la información de aquellos vehículos con mayor presencia en Quito, se procede con el análisis de las distancias promedio que circulan anualmente. Esto se obtiene de la base de datos de la Agencia Metropolitana de Tránsito referente a la Revisión Técnica Vehicular del proceso de matriculación 2018; en la cual, se encuentra el valor del odómetro de cada vehículo al respecto del recorrido en kilómetros.

Con el uso de histogramas, se identifican valores atípicos que se omiten del estudio; es decir, lo que se presenta en esta sección refleja aquellos datos aceptables estadísticamente. Además, en lo que corresponde a identificar el tipo de distribución estadística a la que pertenecen los datos y con ello calcular el recorrido promedio anual, en primera instancia se analiza el histograma para cada caso y por inferencia al gráfico resultante, se lo clasifica conforme lo establece las herramientas de estadística para

medidas de tendencia central que se detallan en el recuadro 5 (Mendenhall, Beaver y Beaver 2010, 260).

Recuadro 5
Tipos de gráficas para medidas de tendencia central

Tipos de distribución	Representación por curva de tendencia	Representación por histograma
Distribución normal		
Distribución bimodal	 <p style="text-align: center;">Verdadero valor de parámetro</p>	
Distribución sesgada a la derecha (asimetría negativa)		
Distribución sesgada a la izquierda (asimetría positiva)		

Fuente: Mendenhall, Beaver y Beaver 2010

Elaboración propia

Para el caso de automóviles; a continuación, se presentan los datos del recorrido promedio anual de 41.619 vehículos matriculados en Quito, que cumplen con el ranking de los modelos con mayor presencia en Quito.

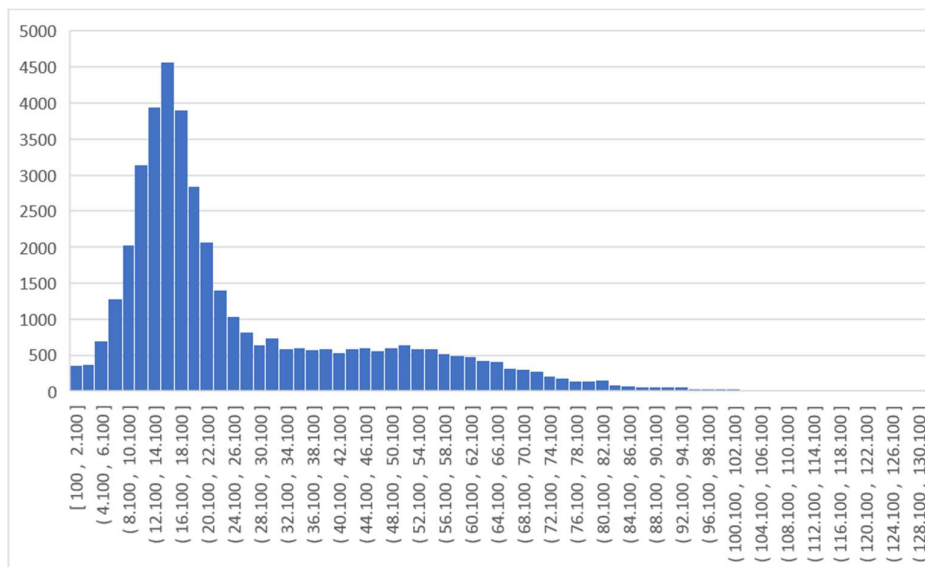


Gráfico 7. Histograma del recorrido anual para automóviles del DMQ

Fuente: AMT. Elaboración propia

Previamente, se había mencionado que una fracción de los automóviles tienen la finalidad de ser utilizados para el servicio de transporte tipo taxi. En la gráfica se puede ver claramente que existen dos tipos de tendencias o patrones para uso de este tipo de vehículos. La primera que mayoritariamente su promedio se ubica entre 12.000 y 18.000 km/año y la segunda en el rango de 40.000 a 66.000 km/año, que corresponde al servicio de transporte tipo taxi.

Para el caso puntual de automóviles no es viable analizar los datos como a una serie de distribución normal; sino más bien como una distribución de tipo bimodal, a la cual el promedio de todos los datos no refleja lo que sucede para ninguno de los patrones. Por esta razón, lo que se realizó es lo siguiente; en base al uso de histogramas se identificó el rango de recorridos anuales promedio con la mayor presencia de vehículos y posterior a ello se promedió los valores correspondientes al rango intercuartil de la muestra para el patrón correspondiente. Como resultado se tiene un recorrido promedio para automóviles de 15.377 km/año en el DMQ.

Afortunadamente, en la base de datos de la Agencia Nacional de Tránsito provista para el estudio, se identificó información específica al respecto del servicio de transporte tipo taxi y que se muestra en el siguiente histograma en base a 12.762 vehículos matriculados. Al igual que lo desarrollado previamente, se revisó valores atípicos que fueron omitidos, concluyendo que los datos corresponden a una distribución normal y que el recorrido promedio anual para taxis es de 56.199 km/año.

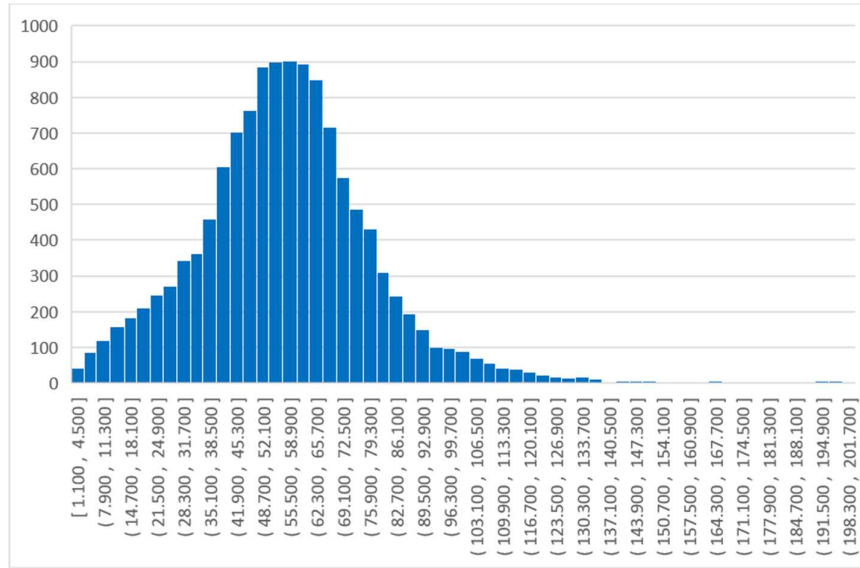


Gráfico 8. Histograma del recorrido anual para taxis del DMQ
Fuente: ANT. Elaboración propia

En lo correspondiente a jeeps (SUV); a continuación, se presenta los datos de recorrido promedio anual de 15.638 vehículos matriculados en Quito, que cumplen con el ranking de los modelos con mayor presencia en Quito. De acuerdo con el gráfico 9, los datos corresponden a una distribución normal y en promedio el recorrido anual para estos vehículos en el DMQ es de 14.814 km/año.

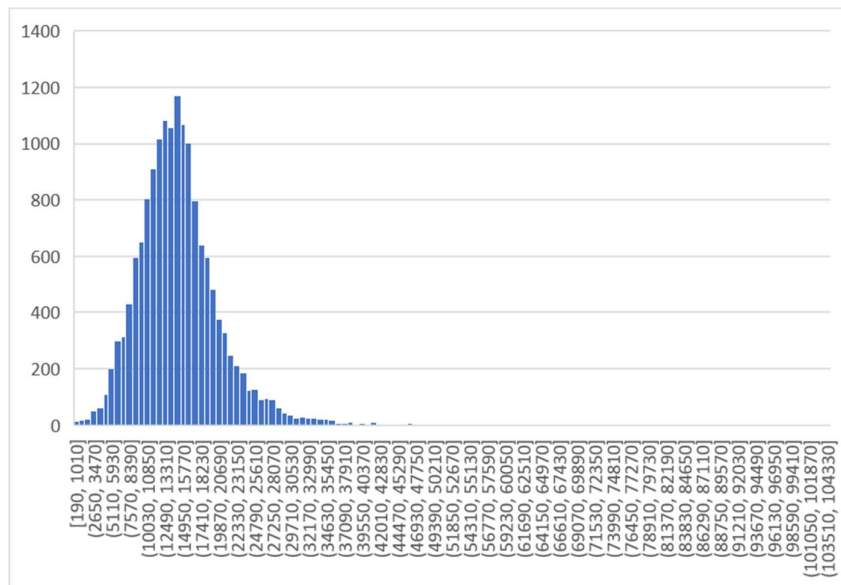


Gráfico 9. Histograma del recorrido anual para jeeps (SUV) del DMQ
Fuente: AMT. Elaboración propia.

En lo correspondiente a camionetas; a continuación, se procede al igual que lo previamente realizado. Se presenta los datos de recorrido promedio anual de 15.108

vehículos matriculados en Quito, cumpliendo con el ranking de los modelos con mayor presencia en Quito. Con ello, los datos corresponden a una distribución normal y el recorrido promedio anual para estos vehículos en el DMQ es de 19.065 km/año.

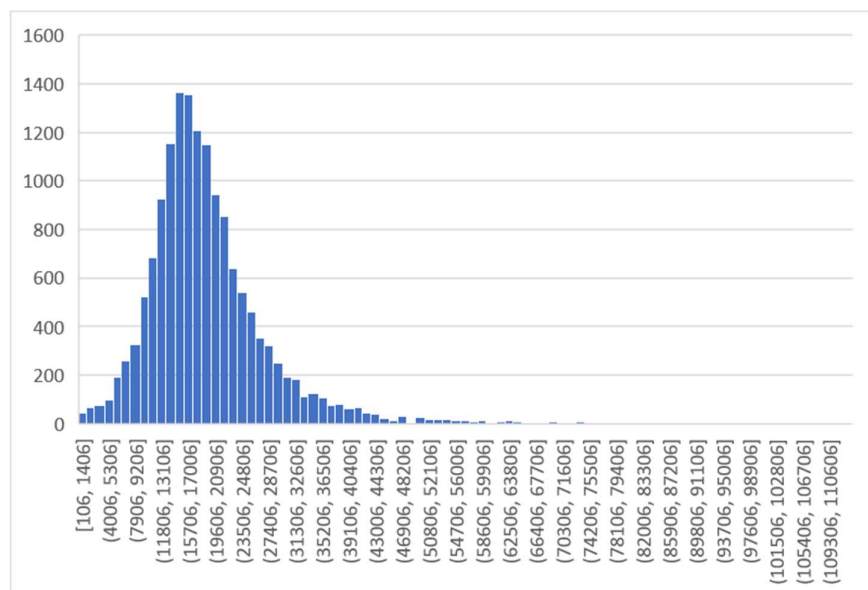


Gráfico 10. Histograma del recorrido anual para camionetas del DMQ
Fuente: AMT. Elaboración propia

Se debe agregar que, al igual que lo sucedido en los automóviles, para el caso de camionetas; muchas de ellas son utilizadas para servicio de transporte de carga liviana o como taxis ruta. En la gráfica anterior no se puede observar claramente esa particularidad en el uso de las camionetas y no refleja la existencia de un patrón adicional; sin embargo, ello corresponde a que cuantitativamente no hay una presencia representativa.

De las bases de información consultadas, se dispone lo correspondiente a camionetas matriculadas en Quito y pertenecientes a la Empresa Municipal de Servicios y Administración del Transporte (EMSAT), la cual se detalla en el siguiente histograma en base a 1.538 vehículos matriculados. Al igual que lo desarrollado previamente, se revisó valores atípicos que fueron omitidos, concluyendo que los datos corresponden a una distribución normal y que el recorrido promedio anual para estos vehículos corresponde a 41.504 km/año.

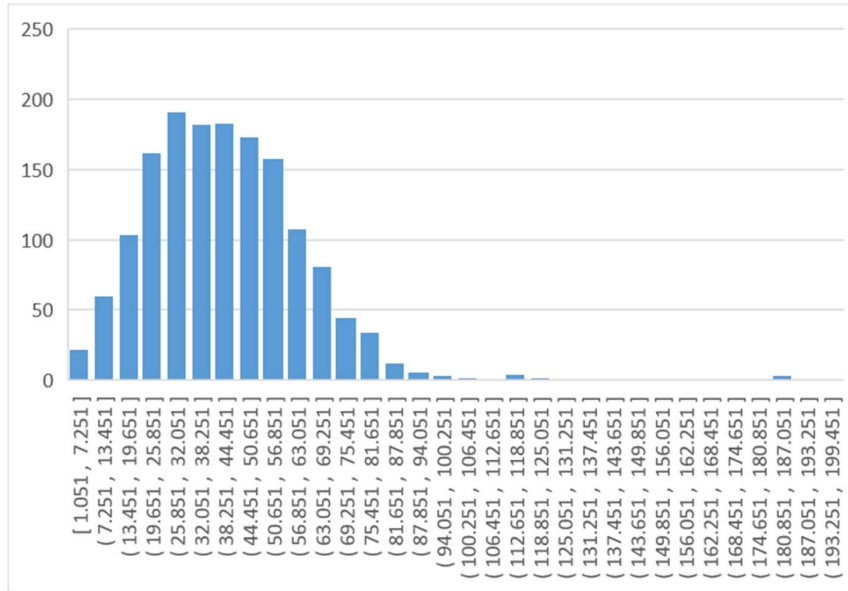


Gráfico 11. Histograma del recorrido anual para camionetas de carga del DMQ
 Fuente: ANT. Elaboración propia

En lo correspondiente a motocicletas; a continuación, se presentan los datos de recorrido promedio anual de 491 vehículos matriculados en Quito, que cumplen con el ranking de los modelos con mayor presencia en Quito. Con ello, los datos corresponden a una distribución normal y el recorrido promedio anual para estos vehículos en el DMQ es de 5.207 km/año.

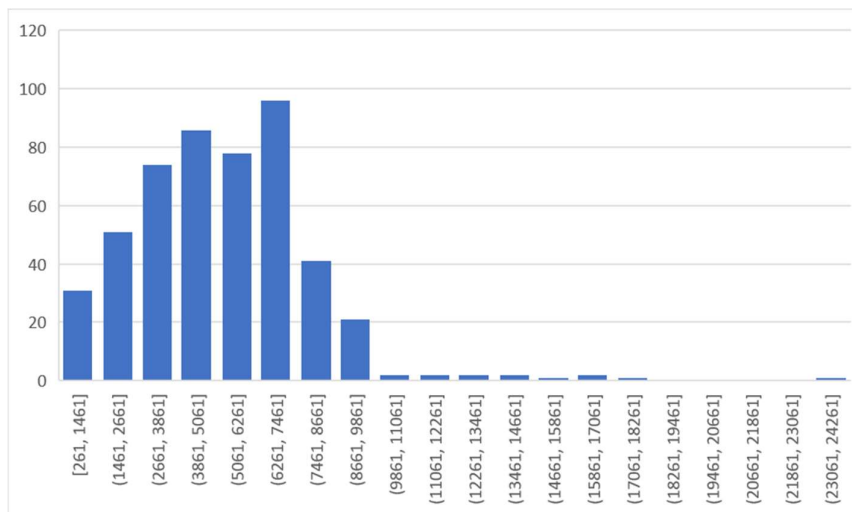


Gráfico 12. Histograma del recorrido anual para motocicletas del DMQ
 Fuente: AMT. Elaboración propia

2.3. Consumo promedio de combustible

En las secciones 2.1 y 2.2 de este capítulo se detalló las preferencias de movilidad de los habitantes de Quito (vehículos tipo) para las distintas clases, su rendimiento y se determinó el recorrido promedio anual. Esta información permite realizar una estimación del consumo de combustible que el vehículo “tipo” tendría en un período de un año. A manera de síntesis, la información obtenida de las secciones 2 y 3 de este capítulo para los vehículos con mayor presencia; así como, de la estimación del consumo de combustible se presenta en la tabla 16, a continuación:

Tabla 16
Consumo de combustible para vehículos livianos en el DMQ

Clase de vehículo	Marca / Modelo de vehículo “tipo” (1)	Combustible (1)	Recorrido promedio (km/año) (2)	Rendimiento promedio (km/gal)	Consumo promedio (gal/año) (7)
Automóviles	Chevrolet / Aveo Family STD 1.5 4P 4X2 TM	Gasolina	15.377,00	44,48 (3)	345,72
Taxis	Chevrolet / Aveo Family STD 1.5 4P 4X2 TM	Gasolina	56.199,00	44,48 (3)	1.263,51
Jeeps (SUV)	Chevrolet / Grand Vitara SZ 2.0L 5P TM 4X2	Gasolina	14.814,00	37,00 (4)	400,38
Camionetas	Chevrolet / Luv D-max 3.0 4X4 TM	Diésel	19.065,00	40,87 (5)	466,54
Camionetas de carga	Chevrolet / Luv D-max 3.0 4X4 TM	Diésel	41.504,00	40,87 (5)	1.015,64
Motocicletas	Honda / XR 250 Tornado	Gasolina	5.207,00	87,23 (6)	59,69

Referencias:

(1) Base de datos ANT de vehículos matriculados y domiciliados en Quito.

(2) Base de datos de revisión técnica vehicular en Quito.

(3) Publicación “Chevrolet Aveo – Consumo y Rendimiento Real” (Opinautos 2020, párr. 3).

(4) Publicación “Suzuki Grand Vitara: Prueba de consumo” (Placervial 2020, párr. 6)

(5) Publicación “Chevrolet D-max: Prueba de Manejo y Consumo” (Placervial 2020, párr. 8)

(6) Publicación “Honda XR 250 Tornado” (Motos 0km 2020, párr. 13)

(7) El consumo promedio de combustible es resultante de dividir el recorrido para el rendimiento.

Fuente: ANT, AMT, Opinautos, Placervial, Motos 0km
Elaboración propia

3. Análisis en vehículos de transporte público (buses)

En la sección 1 del presente capítulo se indicó que, a diferencia del análisis realizado en vehículos de pasajeros individual; en lo correspondiente al servicio de público de transporte (buses), se usaría directamente información de consumo promedio de combustibles provista por la Secretaría de Movilidad del DMQ. Es decir, no se incluirá información asociada al proceso de matriculación vehicular, ni de rendimiento.

3.1 Consumo promedio de combustible

Lo citado a continuación, no incluye los buses utilizados por empresas, industrias o instituciones educativas para servicio de transporte privado, sino únicamente aquellos de libre acceso a la ciudadanía. En ese sentido, los buses del servicio de transporte público que circulan en Quito se encuentran supervisados por la Secretaría de Movilidad del DMQ, la cual informó que, hasta finales del 2019, se dispone de un total de 3.392 unidades para cubrir un total de 243 rutas mediante los siguientes tipos de vehículos: minibuses (hasta 50 pasajeros), buses (60 a 90 pasajeros), buses articulados (160 a 180 pasajeros) y biarticulados (250 pasajeros). En la mayoría de estos vehículos se dispone de motores de combustión interna Euro II.⁹

Por otra parte, de acuerdo con la planificación, la flota de buses en el DMQ es renovaba cada 8 años y no se prevé que exista un aumento del parque en los siguientes años. En la tabla 17, se presenta a manera de síntesis los valores promedio de consumo de diésel que tienen las distintas opciones de buses por unidad.

⁹ La Unión Europea creó la norma Euro, vigente desde 1992, debido a la preocupación por el crecimiento de emisiones contaminantes producidos por el parque automotor. Dicha norma es actualizada periódicamente y principalmente limita exigencias en gases potencialmente peligrosos para la salud (p. ej.: óxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, entre otros). Su rigurosidad de menor a mayor respectivamente corresponde a la norma Euro I y la más reciente Euro VI (Cesvi Colombia 2019).

Tabla 17
Consumo de diésel para las distintas opciones de buses en el DMQ

Clases de buses	Consumo promedio (gal de diésel / año)
Intracantonal urbano	9.240,00
Intracantonal combinado	12.835,00
Intracantonal rural	7.232,00
Trolebús (híbrido)	11.088,00
Articulados	25.536,00
Biarticulados	25.872,00

Fuente: Secretaría de Movilidad del DMQ
 Elaboración propia

4. Cálculo de emisiones de GEI

4.1 GEI por unidad de diésel y gasolina

En la sección 3 del capítulo segundo se hizo referencia a las propiedades de los combustibles utilizados para la movilidad en el DMQ. En ese sentido, se realiza el cálculo de emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ respectivamente por galón de diésel y por galón de gasolina:

Recuadro 6
Metodología adoptada para cuantificar los GEI en la movilidad

$Emisión = Combustible_a \times EF_a$	
Donde:	
Emisión	= emisiones de CO ₂ , N ₂ O o CH ₄ .
Combustible _a	= combustible (TJ).
EF _a	= factor de emisión (kg/TJ).
a	= tipo de combustible (p. ej., gasolina, diésel).

Fuente: IPCC
 Elaboración propia

Recuadro 7
Cálculo de emisiones de GEI para el diésel

Datos para el cálculo	
<p style="text-align: center;"><u>Propiedades del diésel:</u></p> <p>$densidad = 0,88 \text{ t/m}^3$</p> <p>$poder \text{ calórico} = 41,80 \text{ TJ/Gg}$</p> <p>$EF = 74.100 \text{ kg}_{CO_2}/\text{TJ}$</p> <p>$EF = 3,9 \text{ kg}_{N_2O}/\text{TJ}$</p> <p>$EF = 3,9 \text{ kg}_{CH_4}/\text{TJ}$</p>	<p style="text-align: center;"><u>Equivalencias:</u></p> <p>$1 \text{ kt} = 10^3 \text{ t} = 1 \text{ Gg}$</p> <p>$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$</p> <p>$1 \text{ m}^3 = 264,172 \text{ gal}$</p> <p>$GWP_{CO_2} = 1$</p> <p>$GWP_{CH_4} = 28$</p> <p>$GWP_{N_2O} = 265$</p>
Emisiones de CO ₂	
<p>$Emisión = Combustible_a \times EF_a$</p> $Emisión = \left[\frac{1 \text{ m}^3}{264,172 \text{ gal}} \times \frac{0,88 \text{ t}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ Gg}}{10^3 \text{ t}} \times \frac{41,8 \text{ TJ}}{\text{Gg}} \right] \times \left[\frac{74,10 \times 10^6 \text{ g}_{CO_2}}{\text{TJ}} \right]$ <p>$\therefore Emisión_{diésel} = 10.317,88 \text{ g}_{CO_2}/\text{gal}$</p>	
Emisiones de N ₂ O y CH ₄	
$Emisión = \left[\frac{1 \text{ m}^3}{264,172 \text{ gal}} \times \frac{0,88 \text{ t}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ Gg}}{10^3 \text{ t}} \times \frac{41,8 \text{ TJ}}{1 \text{ Gg}} \right] \times \left[\frac{3,9 \times 10^3 \text{ g}_{N_2O}}{1 \text{ TJ}} \right]$ <p>$\therefore Emisión_{diésel} = 0,543 \text{ g}_{N_2O}/\text{gal}$</p> <p>$\therefore Emisión_{diésel} = 0,543 \text{ g}_{CH_4}/\text{gal}$</p>	
Emisiones de CO ₂ eq en términos del Potencial de Calentamiento Global GWP	
$Emisión = \left[\frac{10.317,88 \text{ g}_{CO_2}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ g}_{CO_2e}}{1 \text{ g}_{CO_2}} \right] + \left[\frac{0,543 \text{ g}_{CH_4}}{1 \text{ gal}} \times \frac{28 \text{ g}_{CO_2eq}}{1 \text{ g}_{CH_4}} \right] + \left[\frac{0,543 \text{ g}_{N_2O}}{1 \text{ gal}} \times \frac{265 \text{ g}_{CO_2eq}}{1 \text{ g}_{N_2O}} \right]$ <p>$\therefore Emisión_{diésel} = 10.476,99 \text{ g}_{CO_2eq}/\text{gal}$</p>	

Fuente: IPCC, Olade, Petroecuador EP
Elaboración propia

Recuadro 8
Cálculo de emisiones de GEI para la gasolina

Datos para el cálculo	
<u>Propiedades de la gasolina:</u>	<u>Equivalencias:</u>
$densidad = 0,75 \text{ t/m}^3$	$1 \text{ kt} = 10^3 \text{ t} = 1 \text{ Gg}$
$poder \text{ calórico} = 42,50 \text{ TJ/Gg}$	$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$
$EF = 69.300 \text{ kg}_{CO_2}/\text{TJ}$	$1 \text{ m}^3 = 264,172 \text{ gal}$
$EF = 3,2 \text{ kg}_{N_2O}/\text{TJ}$	$GWP_{CO_2} = 1$
$EF = 33,0 \text{ kg}_{CH_4}/\text{TJ}$	$GWP_{CH_4} = 28$
	$GWP_{N_2O} = 265$
Emisiones de CO ₂	
$Emisión = Combustible_a \times EF_a$	
$Emisión = \left[\frac{1 \text{ m}^3}{264,172 \text{ gal}} \times \frac{0,75 \text{ t}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ Gg}}{10^3 \text{ t}} \times \frac{42,5 \text{ TJ}}{1 \text{ Gg}} \right] \times \left[\frac{69,30 \times 10^6 \text{ g}_{CO_2}}{1 \text{ TJ}} \right]$	
$\therefore Emisión_{gasolina} = 8.361,74 \text{ g}_{CO_2}/\text{gal}$	
Emisiones de N ₂ O y CH ₄	
$Emisión = \left[\frac{1 \text{ m}^3}{264,172 \text{ gal}} \times \frac{0,75 \text{ t}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ Gg}}{10^3 \text{ t}} \times \frac{42,5 \text{ TJ}}{1 \text{ Gg}} \right] \times \left[\frac{3,2 \times 10^3 \text{ g}_{N_2O}}{1 \text{ TJ}} \right]$	
$\therefore Emisión_{gasolina} = 0,386 \text{ g}_{N_2O}/\text{gal}$	
$Emisión = \left[\frac{1 \text{ m}^3}{264,172 \text{ gal}} \times \frac{0,75 \text{ t}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ Gg}}{10^3 \text{ t}} \times \frac{42,5 \text{ TJ}}{1 \text{ Gg}} \right] \times \left[\frac{33,0 \times 10^3 \text{ g}_{CH_4}}{1 \text{ TJ}} \right]$	
$\therefore Emisión_{gasolina} = 3,982 \text{ g}_{CH_4}/\text{gal}$	
Emisiones de CO _{2eq} en términos del Potencial de Calentamiento Global GWP	
$Emisión = \left[\frac{8.361,74 \text{ g}_{CO_2}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ g}_{CO_2e}}{1 \text{ g}_{CO_2}} \right] + \left[\frac{3,982 \text{ g}_{CH_4}}{1 \text{ gal}} \times \frac{28 \text{ g}_{CO_2eq}}{1 \text{ g}_{CH_4}} \right] + \left[\frac{0,386 \text{ g}_{N_2O}}{1 \text{ gal}} \times \frac{265 \text{ g}_{CO_2eq}}{1 \text{ g}_{N_2O}} \right]$	
$\therefore Emisión_{gasolina} = 8.575,55 \text{ g}_{CO_2eq}/\text{gal}$	

Fuente: IPCC, Olade, Petroecuador EP
Elaboración propia

4.2 GEI en las opciones dominantes de movilidad en el DMQ

Con los valores obtenidos de emisiones de GEI para el diésel y para gasolina por galón; a continuación, se presenta a manera de síntesis los resultados correspondientes a las opciones dominantes de movilidad en el DMQ:

Tabla 18
GEI para vehículos livianos en el DMQ

Clase de vehículo	Combustible	Consumo promedio vehículo "tipo" (gal/año)	Emisiones de CO ₂ (kg/año)	Emisiones de N ₂ O (kg/año)	Emisiones de CH ₄ (kg/año)	Emisiones de CO _{2eq} (kg/año)
Automóviles	Gasolina	345,72	2.890,80	0,13	1,38	2.964,71
Taxis	Gasolina	1.263,51	10.565,12	0,49	5,03	10.835,27
Jeeps (SUV)	Gasolina	400,38	3.347,86	0,15	1,59	3.433,46
Camionetas	Diésel	466,54	4.813,66	0,25	0,25	4.887,89
Camionetas de carga	Diésel	1.015,64	10.479,22	0,55	0,55	10.640,82
Motocicletas	Gasolina	59,69	499,14	0,02	0,24	511,90

Fuente: IPCC, Olade, Petroecuador EP, AMT, ANT
Elaboración propia

En la sección 2.1. del presente capítulo se señaló que el vehículo "tipo" obtenido para automóviles resulta ser también el de mayor presencia en el DMQ. En ese sentido, de los resultados expuestos en tabla 18, el potencial de emisiones de GEI del vehículo estándar del DMQ, es de:

- 2.890,80 kilogramos de CO₂/año (2,89 toneladas de CO₂/año). Este resultado considera únicamente al CO₂.
- 2.964,71 kilogramos de CO_{2eq}/año (2,96 toneladas de CO_{2eq}/año). Este resultado considera CO₂, N₂O y CH₄ en términos de CO_{2eq}.

Tabla 19
GEI para las distintas opciones de buses en el DMQ

Clase de bus	Consumo promedio (gal _{diésel} /año)	Emisiones de CO ₂ (kg/año)	Emisiones de N ₂ O (kg/año)	Emisiones de CH ₄ (kg/año)	Emisiones de CO _{2eq} (kg/año)
Intracantonal urbano	9.240,00	95.337,19	5,02	5,02	96.807,39
Intracantonal combinado	12.835,00	132.429,96	6,97	6,97	134.472,17
Intracantonal rural	7.232,00	74.618,89	3,93	3,93	75.769,59
Trolebús (híbrido)	11.088,00	114.404,63	6,02	6,02	116.168,87
Articulados	25.536,00	263.477,33	13,87	13,87	267.540,42
Biarticulados	25.872,00	266.944,13	14,05	14,05	271.060,69

Fuente: IPCC, Olade, Petroecuador EP, SM
Elaboración propia

De lo expuesto en tabla 19, se puede identificar que, las emisiones de CO₂ para este tipo de movilidad se encuentran en el rango de 74.618,89 kilogramos de CO₂/año (74,62 toneladas de CO₂/año) a 266.944,13 kilogramos de CO₂/año (266,94 toneladas de CO₂/año). Este resultado considera únicamente al CO₂.

Si se compara el rango de emisiones resultante del análisis realizado para buses, con lo obtenido para el vehículo estándar del DMQ, se podría decir que dicho rango equivale a lo emitido entre 26 y 92 vehículos estándar.

4.3 Aplicabilidad de los resultados obtenidos

Realizar aproximaciones de la equivalencia de una estrategia de mitigación al cambio climático, es algo que muy a menudo se encuentra en publicaciones o es utilizado en conferencias en el ámbito de energía y ambiente. Por ese motivo, si se requiere cuantificar la disminución o emisión de GEI en términos de vehículos estándar, la presente investigación permite tener dicha cuantificación con datos propios del Ecuador, particularmente para la ciudad de Quito.

Para citar un ejemplo, previamente en la tabla 5 se había detallado los datos de movilidad para el DMQ, entre los cuales se encuentran valores asociados a emisiones de GEI. Tomando como referencia dicha tabla y particularmente las 3.004.296 toneladas de CO_{2eq} producidas por el sector transporte en el DMQ en año 2015 (incluye CO₂, CH₄ y N₂O); se puede concluir que dichas emisiones equivalen aproximadamente a las emitidas por 1.013.351 vehículos estándar.

Por otra parte, los resultados obtenidos al respecto del recorrido promedio anual y de la identificación del vehículo tipo para cada clase, permitirían realizar una estimación de la demanda de combustible del parque automotor. Lo cual, es un insumo importante para desarrollo de otras investigaciones o publicaciones; por ejemplo, para el desarrollo del Balance Energético Nacional, mismo que ha sido implementado en el Ecuador con periodicidad anual.

Vale indicar que, la información presentada, así como los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de GEI, permite desarrollar indicadores que pueden ser utilizados de manera referencial para otros estudios o publicaciones de impacto ambiental en el DMQ. A continuación, se enlista algunos de estos indicadores, asociados específicamente a contaminantes ambientales:

- Emisiones de GEI en un viaje “tipo”.

- Emisiones de GEI por vehículo-km.
- Comparación de GEI emitidos por distintas clases de vehículos.
- Potencial de calentamiento global (GWP) para 100 años por vehículo-km.
- Cálculo de la huella de carbono en movilidad para una empresa, familia o individual.

A manera de ejemplificar la aplicabilidad de los resultados y que el lector disponga de un análisis referencial puntual, se presenta a continuación las emisiones de GEI correspondientes a distintas clases de vehículos para una distancia de 10km:

Tabla 20
Emisiones de GEI para un viaje “tipo” de 10 km

Clase de vehículo	Combustible	Rendimiento promedio (km/gal)	Consumo en 10km (gal)	Emisiones de CO ₂ (g)	Emisiones de N ₂ O (g)	Emisiones de CH ₄ (g)	Emisiones de CO ₂ eq (g)
Automóvil	Gasolina	44,48	0,22	1.879,95	0,09	0,90	1.928,02
Jeep (SUV)	Gasolina	37,00	0,27	2.259,93	0,10	1,08	2.317,72
Camioneta	Diésel	40,87	0,24	2.524,87	0,13	0,13	2.563,81
Motocicleta	Gasolina	87,23	0,11	958,60	0,04	0,46	983,11

Fuente: Varios
Elaboración propia

La información presentada de emisiones totales de la tabla 20, se la ha trasladado a una infografía en términos de kg CO₂eq que permita tener facilidad de identificación y comprensión del mensaje por parte de cualquier lector. Dicho gráfico se expone a continuación:



Gráfico 13 Emisiones de GEI para un viaje “tipo” de 10 km
Fuente y elaboración: Propia

Es oportuno comentar que, la información proporcionada previamente al respecto de las emisiones de GEI por galón de diésel y por galón de gasolina en los cuadros 7 y 8 respectivamente, permite evaluar de forma indistinta la huella de carbono en movilidad para una empresa, familia o de forma individual. Esto con información propia del caso que se analice.

Capítulo cuarto

Discusión

Con el desarrollo de la presente investigación, se identificaron algunas particularidades que es necesario que sean contempladas tanto para futuras investigaciones; así como, para evaluar el aporte científico que tiene los resultados obtenidos.

Es por esto que, la planificación urbana y las directrices a la que esta se alinea en cuanto a movilidad; así como, la situación actual y problemática presente en dicho sector, permiten fijar el horizonte a donde se espera que vaya una ciudad con el respectivo punto de partida. Simultáneamente, las emisiones de gases contaminantes por tipo de combustible, la incertidumbre en el cálculo de emisiones, la calidad de los combustibles, el rendimiento y cilindraje de los motores, la situación del tráfico de la ciudad; es importante que sean tomados en cuenta al evaluar los impactos ambientales en la movilidad de una ciudad o país y con ello valorar el cumplimiento a una u otra política de desarrollo urbano.

A continuación, se sintetiza aquellos aspectos que permiten tener una mejor claridad cuando se habla de transporte y gases contaminantes:

Planificación en movilidad sustentable

La tendencia de desarrollar, adoptar o adaptar políticas en el ámbito de la movilidad; se orienta en que se genere responsabilidad ambiental, sin descuidar la transversalidad que tiene el transporte; ya que, hace posible que los ejes social y económico-productivo se encuentren articulados e interrelacionados.

Como se evidenció en el primer capítulo, en Ecuador se disponen directrices claras para desarrollo de la movilidad con responsabilidad ambiental; las cuales se encuentran amparadas tanto en la Constitución de la República, como en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (Cootad). Por otra parte, con la ratificación del Ecuador en acuerdos internacionales de desarrollo sustentable y de la lucha contra el cambio climático, se cuenta con lineamientos no limitantes que permiten dar una visión del futuro que se esperaría para el país desde

una perspectiva de planificación en los distintos ejes de desarrollo, entre ellos, la movilidad.

Al respecto, de la información referenciada en el presente estudio, se puede verificar que los instrumentos o guías de planificación, guardan relación en la necesidad de que se realice una transición desde la movilidad tradicional a la movilidad sustentable; sin descuidar que, dicha planificación debe sujetarse a las realidades de las ciudades y necesariamente debe ser estructurada de forma participativa y transparente.

Al mismo tiempo, al promover planes y políticas con enfoque orientado a la movilidad sustentable, es imprescindible identificar y analizar las barreras que deben ser abordadas de manera ordenada. Para el caso puntual de Quito, en el primer capítulo se evidenció que su mayor problemática se asocia a la fluidez del tráfico y que la capacidad vial tiende a colapsar.

Por este motivo, en el PMDOT es evidente la preocupación de dar respuesta a las necesidades de las personas y de implementar infraestructura que permita atender dichas necesidades. En ese sentido, por un lado, en el DMQ se mantiene como estrategia de movilidad centrada en el tráfico, el tener mecanismos de racionalización y desincentivo del uso del vehículo; y, de forma complementaria se invierte en infraestructura que permita suplir la necesidad. Este es el caso por ejemplo del proyecto Metro de Quito; el cual, de cierta manera fue planificado como la alternativa al uso de vehículos particulares debido a que conecta lugares de concentración en los que se realiza un sinnúmero de trámites. La planificación de dicho proyecto prevé tener una capacidad de transporte de aproximadamente 400.000 pasajeros con frecuencia de circulación de un tren cada cuatro minutos en un sistema totalmente eléctrico (EC Metro de Quito 2020, párr. 4); dicha capacidad de transporte es muy importante si se lo compara con el total de viajes motorizados diarios expuestos en la tabla 4 y que además puede aumentar al incrementar la frecuencia de circulación principalmente en horas pico.

En lo inherente a alternativas tecnológicas de bajo impacto ambiental, si bien los biocombustibles se promueven en el Ecuador desde el año 2010, estos no son empleados para uso en vehículos en el DMQ; además, no hay que dejar de lado que su utilización presenta desventajas asociadas al cambio en el uso de suelo y al manejo del agua. Por otra parte, en lo que corresponde a movilidad eléctrica, se evidenció que ya se encuentran vehículos circulando en el DMQ y que el proyecto Metro de Quito que

se encuentra próximo a su inauguración usa dicho energético; ello representa aprovechar la electricidad que mayoritariamente tiene origen hídrico en el Ecuador y se encuentra en la línea de atender la Agenda 2030. Al respecto de la movilidad eléctrica, vale considerar que se deben adoptar regulaciones asociadas a la disposición final y reciclaje de las baterías después de su vida útil.

Características del vehículo “tipo” del DMQ

En la introducción de este estudio se mencionó que la EPA había determinado en el 2014 que el potencial de emisiones de GEI del vehículo estándar en Estados Unidos, producto de la combustión de la gasolina como combustible mayoritariamente utilizado, es de 4,7 toneladas de CO₂/año. Ante lo cual, dicha agencia consideró lo siguiente: (i) el rendimiento del motor del vehículo “tipo” es de 21,6 millas por galón (34,76 km/gal); (ii) la distancia promedio que circulan los vehículos es de 11.400 millas por año (18.346,5 km/año); (iii) a partir de un galón de gasolina se producen 8.887 gCO₂ según su regulación 75FR25324, que establece los estándares de GEI para modelos de vehículos entre 2012 y 2016 (EPA 2014).

En el capítulo tercero se realizó el cálculo de emisiones para las distintas opciones de movilidad en el DMQ; teniendo entre ellas que, para el caso de los automóviles sin fines comerciales, que son los que circulan con mayor presencia en la ciudad, se emiten 2,89 toneladas de CO₂/año producto de la combustión de la gasolina. Para este resultado se consideró lo siguiente: (i) el rendimiento del motor del vehículo “tipo” es de 44,48 km/gal; (ii) la distancia promedio que circulan los vehículos es de 15.377 km/año; (iii) a partir de un galón de gasolina se producen 8.361,74 gCO₂ de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, considerando al valor calórico inferior de la gasolina y el factor de emisión por defecto para CO₂.

De los resultados obtenidos tanto en el estudio de la EPA como en el presente estudio, vale señalar que existe correlación en el combustible utilizado en los motores de los vehículos “tipo”; sin embargo, es necesario analizar las razones del porqué de las diferencias de los parámetros utilizados en cada estudio. Al respecto del rendimiento del motor, en ambos estudios se refiere al vehículo con mayor presencia; además, esta característica es propia para cada modelo en función de la tecnología del motor y de las facilidades del vehículo; la cual dependerá del lugar donde se moviliza

(ciudad o autopista), así como de la calidad de las vías. Además, si bien el rendimiento de vehículo “tipo” de EEUU es menor al obtenido para la ciudad de Quito, esto podría ser una consecuencia del costo de compra del vehículo en Ecuador y en EEUU, lo que puede afectar en las preferencias de las personas al seleccionar entre uno y otro.

En el mismo sentido, el Gobierno de los Estados Unidos a través de la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía, se gestiona el sitio oficial de información de economía del combustible (www.fueleconomy.gov); en el cual, se registran los parámetros mínimos de rendimiento y etiquetado vehicular para cada marca y modelo comercializado en dicho país. Entre los parámetros que se puede acceder por modelo están: el rendimiento vehicular para ciudad, autopista y combinado en términos de millas por galón (MPG) y en galones por cada 100 millas (gal/100 mi); emisiones de GEI a nivel de tubo de escape por milla recorrida; consumo de combustible anual promedio y los costos asociados a dicho consumo.

Al respecto de la información disponible en EEUU citada en el párrafo que antecede, para el desarrollo del presente estudio no fue posible encontrar este tipo de información de forma sintetizada y en una fuente gubernamental; por lo que, se procedió a levantar información de los fabricantes de vehículos y en blogs en los cuales se analizaba el rendimiento vehicular. Una alternativa para que esta falencia de información pueda solventarse en el Ecuador, sería que estos datos se incluyan en la publicación del Anuario de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador o se realicen estudios asociados al rendimiento vehicular. De manera referencial, en México, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) publica anualmente el documento “Rendimiento de combustible de vehículos ligeros de venta en México”, esto en cumplimiento del Catálogo de equipos y aparatos para los cuales los fabricantes, importadores, distribuidores y comercializadores deben incluir información sobre su consumo energético (Conuee, Sener 2020).

Por otra parte, previamente se había indicado que el rendimiento de un vehículo se ve afectado por el lugar donde se moviliza, así como de la calidad de las vías. Al respecto, vale mencionar que no todas las ciudades tienen un mismo esquema de movilidad y tráfico; es decir, por una parte, existen ciudades longitudinales como es el caso de Quito y otras que se extienden a la redonda; como ejemplo, Buenos Aires y Santiago de Chile, en las cuales se van formando anillos viales que las circunvalan conforme al crecimiento demográfico. Cabe señalar que, los tiempos de transporte y

distancias recorridas en algunas ciudades también están sujetas al tipo de vivienda, como se había indicado en la justificación de esta investigación para el caso de la ciudad de México.

Otros factores que también afectan directamente al rendimiento del vehículo son los hábitos de conducción de los choferes y el mantenimiento regular que se le da al vehículo. De aquí la importancia de mantenerse informado al respecto de cuáles son las condiciones óptimas de funcionamiento en cuanto a: (i) cambio oportuno de marchas; (ii) uso de aire acondicionado; (iii) estado de los filtros de aire y de combustible; (iv) velocidad crucero; (v) presión de las llantas, entre otras. Complementariamente, varios vehículos disponen de facilidades asociadas al aprovechamiento del combustible dentro del panel de instrumentos, como lo es el índice de rendimiento del combustible en kilómetros por galón y en galones por cada 100 kilómetros.

Finalmente, de lo expuesto, es válida la diferencia existente entre los resultados del presente estudio y de los obtenidos por la EPA por el simple hecho de ser realidades diferentes. Indiscutiblemente, un estudio asociado al vehículo “tipo”, en la cual se evalúe entre otras cosas el recorrido promedio anual, así como el consumo requerido para dicha actividad, es algo que escasamente se encuentra disponible y de acceso; por lo que, la replicabilidad de este estudio puede ser escalado a otras ciudades o incluso países.

Calidad de los combustibles y emisiones

El Plan de Acción Climático de Quito contempla entre las metas al 2025, que en el sector transporte el 10 % del parque vehicular implementa procesos de reducción gradual de emisiones provenientes de vehículos particulares, por la aplicación de movilidad sostenible. Además, que el 40 % de los buses están dentro de los valores máximos permisibles de opacidad y niveles de ruido (EC Secretaría de Ambiente del DMQ 2016b, 6).

Para poder alcanzar dichas metas, es necesario encaminar acciones que permitan dicho propósito; para lo cual, evaluar periódicamente el nivel de cumplimiento es fundamental para reorientar las acciones emprendidas y/o efectuar acciones complementarias, de ser necesario. Es por esto que, se ve indispensable

analizar lo que sucede en cada tipo de transporte y en los combustibles que se utilizan para tal fin.

Del presente estudio, en el capítulo segundo se mencionó que el Ecuador dispone de un reglamento técnico mediante el cual, se establecen los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres que empleen motores a gasolina o diésel; así como también, establece los límites máximos de emisiones permitidos. Además, se señalan normas técnicas que marcan los requisitos mínimos que debe tener la gasolina o el diésel para ser utilizados en el Ecuador en motores de combustión interna. Sin embargo, existe incertidumbre de si estos instrumentos técnicos son suficientes, desde el punto de vista normativo, para alcanzar los objetivos y metas propuestas. Esto debido a que, por ejemplo, del estudio realizado se indica que en la mayoría vehículos utilizados en el servicio de transporte público del DQM, disponen de motores de combustión interna Euro II.

Es necesario contemplar que, las normas Euro han tenido un nivel de desarrollo orientado a la exigencia a nivel de la tecnología del vehículo, tanto para los motores de ciclo Otto, como para los de ciclo Diésel. De manera esquemática, a continuación, se indican los resultados esperados por la aplicación de esta normativa (Cesvi Colombia 2019):

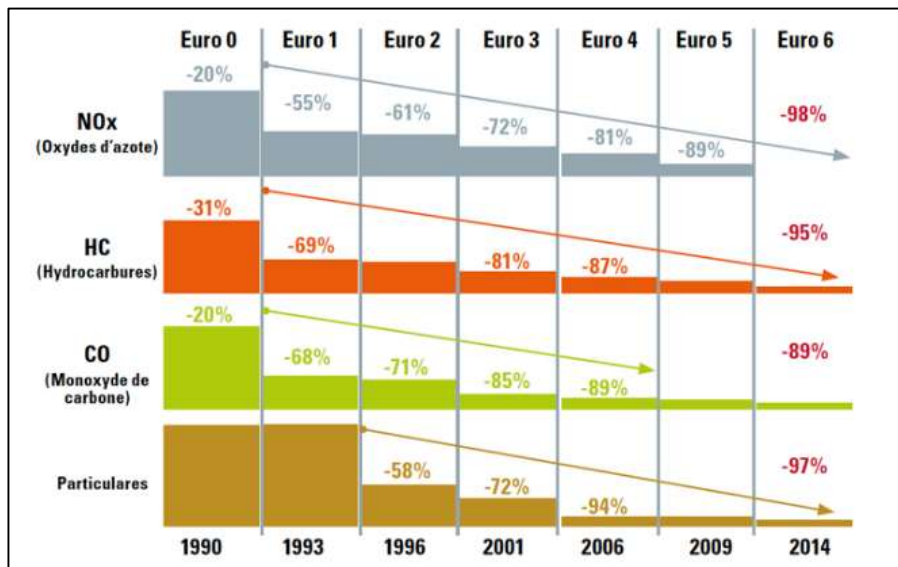


Gráfico 14. Reducción de gases con la implementación de las normas Euro
Fuente y elaboración: Cesvi Colombia

Para la aplicación de las normas Euro, debe existir correspondencia y complementariedad desde el lado de la calidad de los combustibles, a través del proceso de refinamiento del petróleo para la obtención del diésel y de la gasolina. Es

decir, que el combustible sea apropiado para un óptimo funcionamiento del motor; toda vez que el avance tecnológico vehicular que proponen las normas Euro, responde principalmente al tratamiento de gases y reducción del particulado por consecuencia de la combustión.

Por lo indicado en el párrafo anterior, una baja calidad del combustible, podría afectar el rendimiento del motor y producir una mayor periodicidad en el mantenimiento de un vehículo que cuente con la certificación de una norma Euro más reciente. Aquello podría ser una brecha para poder hacer una transición escalonada hacia vehículos menos contaminantes.

Por otra parte, vale señalar que, una calidad superior del combustible implica, entre otras cosas, innovar los procesos de refinamiento de petróleo y usar como materia prima el crudo liviano. Con esto se conseguiría que los combustibles tengan altos números de octano para el caso de la gasolina y de cetano en el caso del diésel; además, se mejoraría la lubricidad y la cantidad de azufre por unidad de volumen (Ortiz Vallejo 2014, 90). En otras palabras, disponer de combustibles de alta calidad afectaría en su costo final y para el caso del Ecuador, se requeriría: (i) importar crudo liviano del cual el país no es productor primario; (ii) implementar facilidades necesarias para refinamiento de crudo liviano; (iii) importar diésel y/o gasolina de alta calidad en función de las necesidades energéticas del país.

En lo inherente a las emisiones de gases contaminantes, producto de la quema de combustibles, en el capítulo tercero de esta investigación se realizó una cuantificación del potencial de emisiones al ambiente en las opciones dominantes de movilidad en el DMQ. De lo cual, se enfatiza que de los gases de efecto invernadero analizados, el CO₂ tiene una presencia mayoritaria durante la combustión frente al CH₄ y al N₂O; equivalente a 97,51 % en el caso de la gasolina y 98,48 % para el diésel. Se debe agregar que, en el capítulo tercero también se expuso la aplicabilidad de los resultados obtenidos; así como, su comparativa con datos de estudios ya realizados por la Secretaría de Ambiente del DMQ; de esa forma, este estudio permite cuantificar la disminución o emisión de GEI en términos del vehículo estándar de la ciudad de Quito.

Por otra parte, es necesario evaluar o señalar el nivel de incertidumbre de los resultados obtenidos. En la publicación “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”, se establece que los datos de valores calóricos netos y de contenido de carbono de los combustibles, proporcionados en las metodologías aplicadas para la actividad de transporte terrestre, tiene intervalos

de confianza del 95 %, valor calculado a través de un análisis de Monte Carlo (IPCC 2006, 1.26). Debido a la presencia mayoritaria del CO₂, se infiere que, en lo inherente a la incertidumbre, la que corresponde al CO₂ viene siendo la incertidumbre del total de emisiones provocadas.

De acuerdo con el IPCC, en el caso de haber utilizado datos propios del país al respecto de la composición de la gasolina y del diésel, la incertidumbre de las estimaciones de CO₂ serían inferiores al 2 %; sin embargo, considerando que los factores empleados corresponden mayoritariamente a las directrices del IPCC, se concluye que los datos de emisiones del presente estudio tendrían una incertidumbre alrededor del 5 % sobre los parámetros evaluados; dicho valor no incluye lo correspondiente al rendimiento de los vehículos.

Finalmente, las alternativas de transporte propósito del estudio, pertenecen a las opciones dominantes de movilidad en el DMQ referente al tipo de vehículo de pasajeros individual, servicio de transporte público; además, de manera muy puntual se incluyó a las camionetas. En ese sentido, quedaría como propuesta para un estudio posterior, analizar lo que sucede en cuanto a furgonetas de pasajeros y en las distintas opciones de carga liviana y carga pesada.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La planificación y las estrategias que se adopten en cualquier ciudad en lo inherente a la movilidad, deben considerar la responsabilidad ambiental, sin descuidar la transversalidad que tiene el transporte al permitir el desarrollo social y económico-productivo; además, dicha planificación debe ser estructurada de forma participativa y sujetarse a las limitaciones propias de las ciudades. Por otra parte, como lo indicó el IEA, para lograr mejoras en el sistema de transporte, el primer paso es recopilar data que permita el levantamiento, seguimiento y evaluación sistemática de indicadores.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten un sinnúmero de aplicaciones; entre ellas, mejorar las aproximaciones metodológicas para el procesamiento de información en el desarrollo del Balance Energético Nacional, realizar aproximaciones de GEI en el Ecuador en términos de vehículos estándar. Además, es posible desarrollar indicadores para ser utilizados de manera referencial en estudios o publicaciones de impacto ambiental del DMQ; como por ejemplo: (i) Emisiones de GEI en un viaje “tipo”; (ii) Emisiones de GEI por vehículo-km; (iii) Comparación de GEI emitidos por distintas clases de vehículos; (iv) Potencial de calentamiento global (GWP) para 100 años por vehículo-km; (v) Cálculo de la huella de carbono en movilidad para una empresa, familia o individual, entre otros.

Se alcanzaron los objetivos de la investigación al respecto de identificar los vehículos “tipo” y de cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito. Esto a través de la determinación de las preferencias de movilidad de los habitantes de la capital ecuatoriana y de la aplicación de las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

La replicabilidad del estudio puede ser escalado a otras ciudades o incluso países; por lo que, identificar el vehículo “tipo”, determinar el recorrido promedio anual de un vehículo, así como, el consumo requerido para dicha actividad, deben ser consideradas como información de base para evaluar el cumplimiento de objetivos y metas ambientales que se lleguen a proponer o planificar.

El uso comercial de las distintas clases de vehículos hace que el estudio tenga un nivel de incertidumbre que pueda afectar levemente los resultados obtenidos. En este sentido, se hace necesario que, para este tipo de estudios, las bases de datos indiquen específicamente el uso que se da al vehículo.

Entre muchas características de los combustibles, una muy importante al analizar su calidad refiere al contenido de azufre; la cual permite, entre otras cosas, cumplir con regulaciones de bajo impacto ambiental.

El uso de biocombustibles y otras energías sustentables deben ser incorporadas en las políticas públicas, con el fin de sustituir progresivamente el uso de combustibles fósiles. La renovación del parque vehicular debe contemplar que las reservas de petróleo se agotarán en algún momento y por ello la necesidad de investigar, desarrollar e impulsar tecnologías alternativas para la movilidad; las cuales, por consiguiente, ayuden a lograr los objetivos de reducción de emisiones de GEI.

Al promover alternativas de bajo impacto ambiental, es necesario analizar los aspectos positivos y negativos que estas presentan; así también, es imprescindible elaborar de manera paralela o anticipada, la regulación que permita su promoción de manera sustentable y de esa forma garantizar una adecuada implementación.

Existen combustibles fósiles que producen menos emisiones de GEI al ambiente que las resultantes del diésel o gasolina y que pueden ser utilizados en el sector transporte. Ese es el caso del gas natural o del gas licuado de petróleo, los cuales entre sus propiedades presentan menor contenido de carbono; y, que han sido utilizados en muchos países como alternativa para reducir los impactos ambientales.

Uno de los mayores retos es, sin duda, el político; ya que, la voluntad política marcará el nuevo caminar hacia las diferentes alternativas de movilidad sustentable, basada en los biocombustibles, el hidrógeno y la energía eléctrica. Si se pretende avizorar un futuro, donde las emisiones de CO₂ en la atmósfera se reduzcan y así se garanticen las condiciones para el desarrollo, es necesario que los países adopten políticas que permitan, a mediano plazo, desplazar la movilidad tradicional basada en los recursos no renovables.

De la información del IEA presentada en la introducción de la investigación se indica que, para lograr los objetivos de reducción de emisiones, se requieren mejoras tecnológicas que reduzcan en un 50 % el consumo de combustible en vehículos convencionales entre 2005 y 2030. Es decir, la ingeniería en diseño de los motores debe perfeccionarse a fin de que los combustibles provean mayores rendimientos.

Recomendaciones

Al respecto de estudios asociados al sector transporte, se ve la necesidad de contar con una investigación que identifique el rendimiento promedio de los distintos vehículos que circulan en la ciudad de Quito o de manera general para el Ecuador.

Para investigaciones en las cuales el objetivo es cuantificar las emisiones de GEI, se ve indispensable contar con información oficial de consumo energético; así como, de las propiedades de los combustibles utilizados. De esa forma se reduce la incertidumbre en los cálculos o aproximaciones que se realicen. Se puede tomar como referencia a los intervalos de confianza provistos por el IPCC en las Directrices 2006.

Considerando que el estudio realizado corresponde a las opciones dominantes de movilidad en el DMQ, quedaría como propuesta el analizar lo propio para furgonetas de pasajeros y en las distintas opciones de carga liviana y de carga pesada.

En lo inherente a la reglamentación y normativa técnica vigente en el Ecuador, en cuanto a emisiones de gases contaminantes y de requisitos mínimos que deben tener los combustibles para comercializarse en el Ecuador, sería importante que se investigue dicha temática; profundizando lo asociado a calidad de los combustibles.

Es necesario impulsar políticas fiscales que promuevan las alternativas de movilidad sustentable, de tal forma que estas tecnologías sean atractivas para ser adquiridas por la población, aprovechando así los recursos renovables del país. Al tratarse de tecnologías relativamente nuevas, los costos asociados a su adquisición y operación siguen siendo superiores frente a vehículos que usan gasolina o diésel. Además, las regulaciones que permitan la adopción de estas tecnologías deberían orientarse a garantizar una adecuada implementación, sin afectar otros sectores.

Al respecto de la transición entre planificar la movilidad de la forma tradicional y la sostenible, es evidente que el PMDOT se busca un equilibrio que se ajuste a la situación del DMQ; incluso, como se vio en el capítulo primero, hay un porcentaje muy representativo de viajes realizados mediante transporte no motorizado y que se ve reflejado en las políticas y objetivos. En ese sentido, se podría encuestar a la ciudadanía al respecto de las condiciones necesarias para que más gente utilice dichas opciones.

Bibliografía

- ACEA, Auto Alliance, EMA, y JAMA. 2013. *Worldwide Fuel Charter fifth edition*. Bruselas: ACEA.
- Aeade. 2019. *Anuario 2018*. Quito: Editorial Ecuador.
- Bennaceur, Kamel, Brian Clark, T.S. Ramakrishan, Franklin Orr, Claude Roulet, y Ellen Stout. 2005. “El hidrógeno: ¿Un futuro portador energético?”. *Oilfield review*: 24-47.
- Blumberg, Katherine, Michael Walsh, y Charlotte Pera. 2003. *Gasolina y diésel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares*. San Francisco CA: Fundación Hewlett.
- Boranat, Rafael, y Maité García. 2011. *El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Barcelona: Libbooks.
- Castillo, Fernanda, Jorge González, Karla Ibarra, Keila Tarango, y Víctor Vázquez. 2017. *El impacto de la gasolina en el medio ambiente*. Chihuahua: Colegio de bachilleres del estado de Chihuahua.
- Cesvi Colombia. 2019. “¿Qué son las Normas EURO y por qué evolucionan?”. *Auto Crash*: 38-9.
- Clarke, Jasson. 2017. “Un átomo revolucionará el transporte en Costa Rica”. *De acuerdo*: 14-6.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. 2015. *Manejo ambientalmente adecuado de baterías para vehículos de propulsión eléctrica al final de su vida útil en América del Norte*. Montreal: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Conuee. 2013. “Carta mundial de combustibles”. *Conuee*. <https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/fichastecnicas/carta19.pdf>.
- Conuee, Sener. 2020. *Rendimiento de combustible de vehículos ligeros de venta en México - 2020*. Ciudad de México: Conuee.
- EC. 2008. *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449, 20 de octubre
- EC. 2010. *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (Cootad)*. Registro Oficial 303, Suplemento 12 de octubre.

- EC Alcaldía Metropolitana de Quito. 2015a. *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - Volumen I Enfoque y metodología*. Quito: Alcaldía Metropolitana de Quito.
- . 2015b. *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - Volumen II Propuesta Componente Estratégico*. Quito: Alcaldía Metropolitana de Quito.
- . 2020. “Quito por temas: Movilidad”. *Alcaldía Metropolitana de Quito*. Accedido 7 de agosto. <https://www.quito.gob.ec/index.php/quito-por-temas/movilidad>.
- EC Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador. 2019. *Informe de Gestión – Rendición de Cuentas 2018*. Quito: Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador.
- EC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2019. *Anuario de Estadísticas de Transporte 2018*. Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- EC Metro de Quito. 2020. “METRO: Estudios de Soporte”. *Metro de Quito*. Accedido 10 de agosto. <https://www.metrodequito.gob.ec/el-proyecto/estudios/>.
- EC Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. 2019. *Balance Energético Nacional 2018*. Quito: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- EC Ministerio del Ambiente. 2017. *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- EC Secretaría de Ambiente del DMQ. 2016a. *Inventario huella de carbono sectores: energía estacionaria, transporte y residuos, año base 2015*. Quito: Secretaría de Ambiente del DMQ.
- . 2016b. *Plan de Acción Climático de Quito*. Quito: Alcaldía Metropolitana de Quito.
- EC Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2017. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Ecologistas en acción. 2007. “Movilidad sostenible”. *Ecologistas en acción*. 16 de noviembre. <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=9844>.
- EPA. 2014. *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. Michigan: U. S. Environmental Protection Agency.

- European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. 2014. *Guía - Desarrollo e implementación de planes de movilidad urbana sostenible*. Bruselas: Eltis.
- Garabetyan, Enrique. 2017. “La carrera de los biocombustibles”. *De acuerdo*: 27-9.
- Gerschler, Stuttgart, Max Bohner, Hellmut Gerschler, Heinz Hobweiler, Siegfried Leyer, Wolfram Pichler, Wolfgang Saier, Harro Schmidt, y Heinz Zwickel. 1985. *Tecnología del automóvil Tomo 2*. Barcelona: Editorial Reverté SA.
- Greenpeace. 2009. *Transporte: El motor del cambio climático*. Madrid: Artegraf.
- Guerra, Fúnez, E. Almansa, y D. Ferrera. 2010. “El hidrógeno: Vector energético del futuro”. *Energía & Minas*: 20-7.
- IDAE. 2006. *Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Madrid: IDAE.
- IEA. 2015. *Energy Technology Perspectives 2015, Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*. Paris: International Energy Agency.
- . 2017. *Key world energy statistics 2017*. Paris: International Energy Agency.
- . 2013. *Policy pathway - A tale of renewed cities*. Paris: International Energy Agency.
- . 2012. *Technology Roadmap - Fuel Economy of Road Vehicles*. Paris: International Energy Agency.
- IICA, Arpel. 2009. *Manual de biocombustibles*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Inrix Research. 2019. *Inrix 2018 Global Traffic Scorecard*. Kirkland: Inrix.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volumen Energía*. Hayama: IGES.
- . 2015. *Cambio Climático 2014 - Informe de Síntesis*. Ginebra: IPCC - WMO.
- ITDP. 2013. *Desarrollo orientado al transporte*. México DF: ITDP México.
- Mendenhall, William, Robert Beaver, y Barbara Beaver. *Introducción a la probabilidad y estadística*, 13.^a ed. Florida: Cengage, 2010.
- Moreno, Francisco. 2016. “Vehículos eléctricos: Historia, estado actual y retos futuros”. *European Scientific Journal*: 118-31.
- Motos 0km. 2020. “Honda XR 250 Tornado”. *Motos 0km*. Accedido 9 de agosto. <https://motos0km.com.ar/fichas-tecnicas/honda/xr-250-tornado/>.
- ONU Asamblea General. 2017. *Nueva Agenda Urbana - Habitat III*. 23 de diciembre de 2016. A/RES/71/256.
- Olade. 2017. *Manual de Estadísticas Energéticas 2017*. Quito: Olade.

- Opinautos. 2020. “Chevrolet Aveo – Consumo y Rendimiento Real”. *Opinautos*, Accedido 9 de agosto. <https://www.opinautos.com/chevrolet/aveo/defectos/consumo>.
- Ortiz, Miguel. 2010. “Reducción de las emisiones de CO2 en vehículos de transporte”. *Energía & Minas*: 28-33.
- Ortiz Vallejo, Mario Andrés. 2014. “Estudio Comparativo del Uso del Diesel Entre Europa y Ecuador, Utilizado para Motores de Vehículos”. Tesis de Ingeniería, Universidad Internacional del Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/610>.
- Otero, Alejandra. 2018. “Coches de hidrógeno: así funciona esta tecnología de cero emisiones contaminantes”. *Motor Pasión*. 18 de febrero. <https://www.motorpasion.com/tecnologia/coches-de-hidrogeno-asi-funciona-esta-tecnologia-de-cero-emisiones>.
- Páez, Carlos. 2016. “Diseño de un esquema piloto para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte público de pasajeros en Ecuador”. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. <http://hdl.handle.net/10644/5050>.
- Placervial. 2020. “Chevrolet D-max: Prueba de Manejo y Consumo”. *Placervial*. Accedido 9 de agosto. <http://www.placervial.com/2/vehiculos/chevrolet/d-max/8/pick-up/4x4-5497>.
- . 2020. “Suzuki Grand Vitara: Prueba de consumo”. *Placervial*. Accedido 9 de agosto. <http://www.placervial.com/2/vehiculos/suzuki/grand-vitara/3/suv/24-4x4-7551>.
- Querol, Xavier, Andrés Alastuey, Teresa Moreno, María del Mar Viana, Jesús Casanova, Laura Pérez, Jordi Sunyer, y Nino Künzli. 2016. *Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado*. Barcelona: Fundación Gas Natural.
- Romaní, Javier, José Manuel Casado, y Adelaida Lillo. 2017. “Explorando las relaciones entre el desplazamiento al trabajo y los cambios de residencia en España: Un análisis con datos individuales”. *La relevancia social de la movilidad residencial*: 705-725. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/papers.2417>
- Sanz Acebes, Santiago. 2011. “Vehículos híbridos y eléctricos”. *Motores*. Madrid: Editorial Editex.

- Serna, Fabiola, Luis Barrera, y Héctor Montiel. 2011. “Impacto Social y Económico en el Uso de Biocombustibles”. *Journal of Technology Management & Innovation*: 100-114.
- Stefanelli, Eduardo. 2020. “Comparación del Ciclo Diésel con Otto en el motor de cuatro tiempos”. *Stefanelli*. Accedido 15 de junio. <https://www.stefanelli.eng.br/es/comparacion-ciclo-diesel-otto-motor/>.
- Tesla. 2020. “Tesla Model 3”. *Tesla*. Accedido 9 de agosto. <https://www.tesla.com/model3>.
- Toyota. 2020. “Toyota Mirai - Todo lo que necesitas saber sobre nuestro vehículo de hidrógeno”. *Toyota*. Accedido 9 de agosto. <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/new-toyota-mirai>.